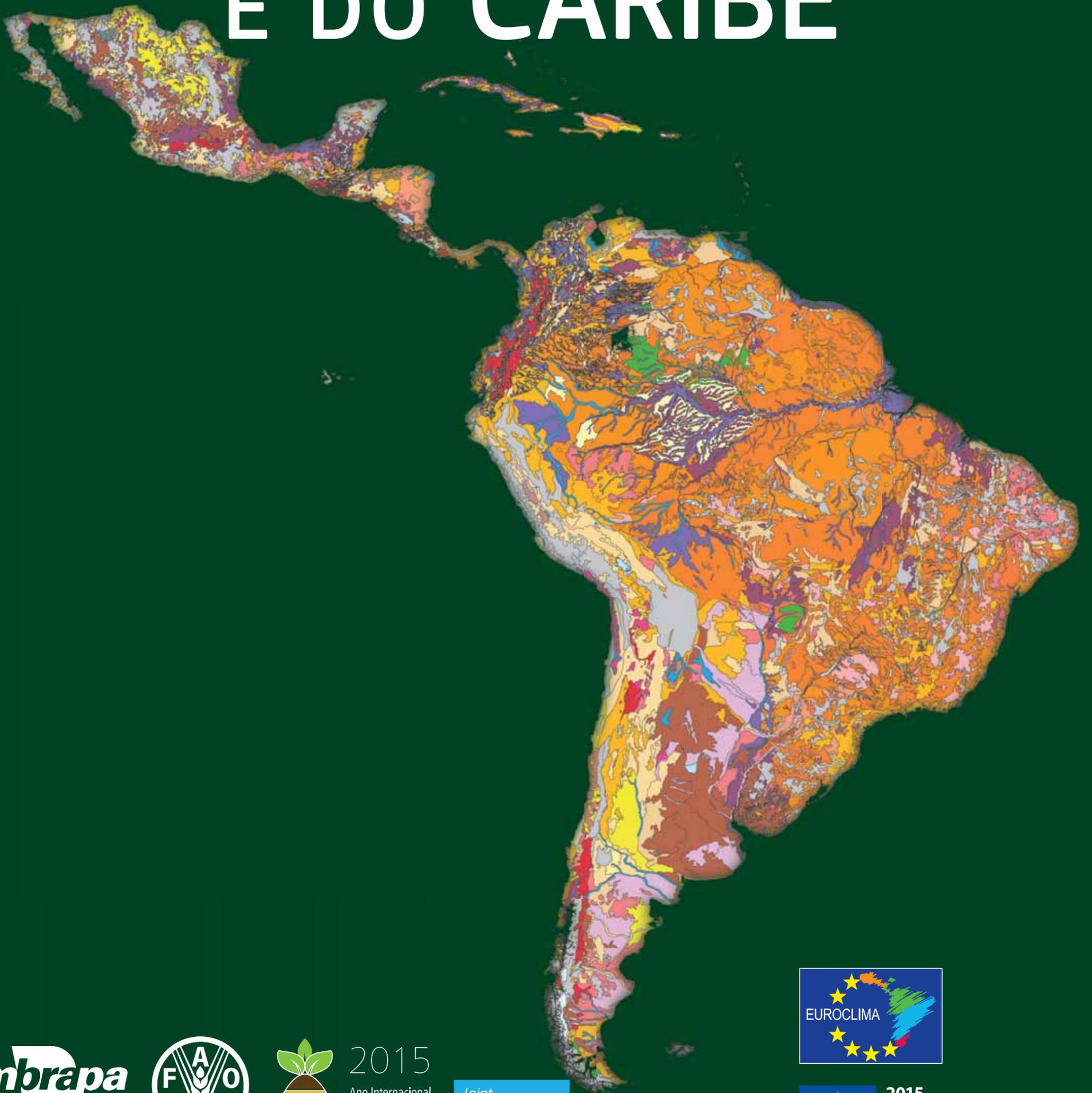




# ATLAS DE SOLOS DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE



2015  
Ano Internacional  
dos Solos

Joint  
Research  
Centre



2015  
Ano Europeu  
para o Desenvolvimento



# ATLAS DE SOLOS DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE



**2015**  
Ano Europeu  
para o Desenvolvimento

Realizado no marco do programa EUROCLIMA

Financiado pela Comissão Europeia.

Direção Geral de Cooperação Internacional e Desenvolvimento – EuropeAid.

Direção-Geral do Centro Comum de Investigação.



**2015**  
Ano Internacional  
dos Solos

## Detalhes da publicação

Este documento se deve citar como:

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça- Santos, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R., Ravina da Silva, M. (eds), 2015. Atlas de solos de América Latina e do Caribe, Comissão Europeia – Serviço das Publicações da União Europeia, L-2995 Luxembourg, 176 pp.

© União Europeia, 2015

Se autoriza a reprodução total ou parcial desta publicação para fins educativos, sempre que a fonte bibliográfica for citada.

Publicado pelo Serviço das Publicações da União Europeia, L-2995 Luxemburgo, Luxemburgo.

**EUR 25402 ES – Atlas de solos da América Latina e do Caribe**

### Versão impressa

ISBN: 978-92-79-46515-4

ISSN :1018-5593

doi:10.2788/237332

Número de catálogo: LB-NA-25402-PT-C

### Versão em linha

ISBN: 978-92-79-46514-7

ISSN: 1831-9424

doi:10.2788/960580

Número de catálogo: LB-NA-25402-PT-N

2015 – 176 pp. – 30,1 x 42,4 cm



Printed in Belgium.

Esta publicação foi impressa em papel processado livre de cloro.

## COMO OBTER AS PUBLICAÇÕES DA UE

- EU Bookshop (<http://bookshop.europa.eu>);
- em livraria, proporcionando título, editorial e/ou código ISBN;
- contato direto aos nossos agentes de vendas:
  - por internet (<http://bookshop.europa.eu>);
  - ou por fax: +352 2929-42758.

## PARA OBTER MAIS INFORMAÇÃO SOBRE A UE

Informações sobre a União Europeia estão disponíveis no site:

<http://europa.eu>

O serviço de informação central Europe Direct responde suas perguntas sobre a União Europeia:

### Número de telefone gratuito (\*):

**00 800 6 7 8 9 10 11**

(\* Alguns operadores de telefonia móvel não permitem o acesso a números que se iniciam com 00 800, ou aplicam custo na chamada.

## Aviso legal

Nem a Comissão Europeia, nem qualquer pessoa agindo em nome da Comissão se responsabiliza pelo uso que possa ser feito da presente publicação.

## Capa

O mapa na capa revela os principais tipos de solo da América Latina e do Caribe (LAC) de acordo com a Base de Dados de Referência Mundial do Solo. A América latina e o Caribe podem ser divididos em mais de 20 regiões diferentes no continente, de acordo com o tipo de solo predominante. Esta diversidade de tipos de solo é o resultado da interação entre história geológica, topografia, clima e a vegetação. Em termos gerais, podem ser agrupados em três zonas principais: as planícies, montanhas e os Andes.

De um ponto de vista agrônomico os solos dos trópicos úmidos caracterizam-se pela sua baixa fertilidade inerente. Por outro lado, cobrem uma quinta parte do continente os solos áridos, onde a agricultura de sequeiro é impossível na prática sem irrigação. Em outras áreas (aproximadamente o 10% da superfície da América Latina) existem problemas de drenagem no solo. Por último, para resumir os constrangimentos agrícolas encontrados na ALC se inclui as encostas íngremes e os solos rasos formados por fragmentos de rocha, ambos característicos da região andina. No entanto, nos vales interandinos e em algumas áreas no sopé das montanhas, são encontrados os solos rasos com depósitos de lagos eutróficos, ou seja, muito ricos em nutrientes, apesar de serem sujeitos a deficiência de oxigênio sazonalmente. Os solos férteis compõem cerca de 10% da superfície da ALC. O Pampa argentino consiste a área mais fértil no continente, coberta por loess, um material geológico sedimentar depositado pelo vento, muito rico em minerais, misturado com sedimentos vulcânicos. O desenvolvimento agrícola na América do Sul reflete a distribuição dos solos em função da sua fertilidade: Nas áreas mais orientais, nas planícies, concentra-se a produção de cereais e pecuária, enquanto nas zonas subtropicais e temperadas dos Andes, de Colômbia ao Chile, os solos são pastoreados e plantados com uma ampla variedade de espécies agrícolas. No leste e sudeste do Brasil podem-se encontrar cultivos de café, cacau, soja e cana de açúcar, enquanto que nas terras interiores a produção pecuária é a mais implementada.

A degradação do solo tem causado danos em grande parte do continente. Estima-se que em vários países da região, pelo menos metade da terra arável tem sido gravemente danificada devido ao pobre manejo do solo, ao que em sua vez tem favorecido aos processos de degradação. Os problemas mais acentuados de erosão ocorrem nas áreas montanhosas, enquanto que nos terrenos relativamente aplainados os processos de erosão e degradação do solo resultam ser menos severos. No entanto, a maioria dos países contam com campanhas de conservação e/ou restauração do solo.



## Programa EUROCLIMA

Todas as atividades para a realização do Atlas de Solos da América Latina e do Caribe foram patrocinadas pelo programa EUROCLIMA, financiado e gerido pela Direção-Geral de Cooperação Internacional e Desenvolvimento – EuropeAid da Comissão Europeia (Unidade Programas Regionais da América Latina e do Caribe).

<http://www.euroclima.org/en/>

## Ilustrações cartográficas

Os elementos cartográficos incluídos nos mapas do Atlas são derivados da Carta Digital do Mundo (DCW, em inglês: Digital Chart of the World) e da base cartográfica de Lovell Johns. Estes dados não contam com algum estatuto legal explícito, de modo que não existem questões legais que deveriam derivar-se da informação apresentada em qualquer dos mapas ilustrados nesta publicação.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Chart\\_of\\_the\\_World](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Chart_of_the_World)  
<http://www.lovelljohns.com>

## Os dados do solo

Os mapas de solos que se apresenta este atlas são derivados de vários projetos destinados para a elaboração de um banco de dados de solos harmonizada para a América do Sul e Central e o Caribe.

Os mapas que ilustram os tipos de solo de acordo com a Base Referencial Mundial (WRB) são derivados a partir da integração dos dados de Soterlac V. 2.0 e mapas de solo elaborados pelos seguintes países: México, Cuba, Costa Rica, Guatemala, Panamá, Colômbia, Venezuela, Equador, Brasil e o Uruguai.

O mapa que ilustra a distribuição das propriedades do solo elaborado a partir das bases de dados de Soterlac V. 2.0.

Estes dados devem ser citados da seguinte maneira:

- Dijkshoorn JA, Huting JRM and Tempel P 2005. Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, Holanda.

Os mapas de solos foram elaborados pelo equipo Soil Action da Unidade “Land Resources Management” do IES (\*), juntamente com Lovell Johns Ltd. Reino Unido.

(\* O IES (em inglês: Institute for Environment and Sustainability) é um dos institutos científicos que opera no Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia (JRC, em inglês: Joint Research Centre), Ispra (Italia).

## Cláusula de isenção de responsabilidade

A Comissão Europeia tem elaborado com atenção a informação apresentada neste atlas. As fronteiras políticas surgidas nos mapas apresentam-se apenas de maneira indicativa. A Comissão Europeia não assume nenhuma responsabilidade por qualquer conteúdo nesta publicação.

## Versão do atlas em português

Este Atlas foi traduzido da versão original em Espanhol para o Português por Manuela Ravina da Silva (JRC), Maria de Lourdes Mendonça-Santos, Maurício Rizzato Coelho, Lúcia Raquel Queiroz Pereira da Luz e Humberto Gonçalves dos Santos (Embrapa Solos, Brasil). O grupo da Embrapa Solos também realizou a edição técnica da obra. Este trabalho foi coordenado por Arwyn Jones (JRC). A tradução, o suporte gráfico e a impressão da versão portuguesa do atlas foi financiada pelo Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia, como contribuição para o Ano Internacional dos Solos 2015.

O desenho final e suporte gráfico foi realizado por Lovell Johns Limited, 10 Hanborough Business Park, Long Hanborough, Witney, Oxfordshire, OX29 8RU, Reino Unido.

<http://www.lovelljohns.com>



## Comitê Editorial

Ciro Gardi<sup>1/11</sup> (Coordenador), Marcos Angelini<sup>2</sup>, Sara Barceló<sup>1</sup>, Juan Comerma<sup>3</sup>, Carlos Cruz Gaistardo<sup>4</sup>, Arnulfo Encina Rojas<sup>5</sup>, Arwyn Jones<sup>1</sup>, Pavel Krasilnikov<sup>6</sup>, Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin<sup>7</sup>, Luca Montanarella<sup>1</sup>, Olegario Muñiz Ugarte<sup>8</sup>, Peter Schad<sup>9</sup>, María Isabel Vara Rodríguez<sup>1</sup>, Ronald Vargas<sup>10</sup> (editores principais).

- <sup>1</sup> Comissão Europeia, JRC, Itália
- <sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária (INTA), Argentina
- <sup>3</sup> Sociedad Venezolana de Ciencias del Suelo (SVCS), Venezuela
- <sup>4</sup> Programa Mexicano del Carbono, México
- <sup>5</sup> SOPACIS, Paraguai
- <sup>6</sup> Eurasian Centre for Food Security (ECFS), Rússia
- <sup>7</sup> Embrapa/Solos – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/centro Nacional de Pesquisa de Solos Brasil
- <sup>8</sup> Instituto de Suelos (IS), Cuba
- <sup>9</sup> Technische Universität München (TUM), Alemanha
- <sup>10</sup> Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO)
- <sup>11</sup> Universidade de Parma, Itália



Alguns dos membros do Comitê Editorial durante a sua segunda reunião. Ispra (Itália), julho de 2011. (HA)

## Autores

Marcos Angelini, INTA, Argentina  
 Julio César Alegre Orihuela, UNALM, Peru  
 Alicia Aleksa, INTA, Argentina  
 Alfredo Altamirano, MGAP, Uruguai  
 Álvaro Califra, UDELAR, Uruguai  
 Gloria Arevalo, UAPZ, Honduras  
 Jesús Argumedo Espinosa, INEGI, México  
 Durán Artigas, UDELAR, Uruguai  
 Sara Barceló, Comissão Europeia, JRC, Itália  
 Francisco Bautista, UNAM, México  
 Laura Bertha Reyes Sánchez, SLCS, México  
 Jose Irán Bojórquez, Universidad Autónoma de Nayarit, México  
 Dalmacio Bosch Infante, Instituto de Suelos, Cuba  
 Javier Burgos, CISTEL, Bolívia  
 Libardo Antonio Burgos Revelo, IGAC, Colômbia  
 Priscila Carrasco Molina, CIREN, Chile  
 Aracely Castro Zúñiga, CIAT, Colômbia  
 José Luis Colocho Ortega, ASCS, El Salvador  
 Juan Comerma, SVCS, Venezuela  
 Francisco de la Trinidad Cabrera, INEGI, México  
 Ricardo de Oliveira Dart, Embrapa-Solos, Brasil  
 Hector Del Valle, CENPAT, Argentina  
 Martin Dell'Acqua, MGAP, Uruguai  
 Mário Luis Diamante Aglio, Embrapa-Solos, Brasil  
 Vicente Díaz Núñez, Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes, México  
 Emma Fuentes Alfonso, Instituto de Suelos, Cuba  
 Gonzalo Gajardo Escobar, CIREN, Chile  
 Jorge Dionisio Etchevers Barra, SAGARPA, México  
 Carlos Omar Cruz Gaistardo, Programa Mexicano del Carbono, México  
 Sady García, UNALM, Peru  
 Ciro Gardi, Comissão Europeia, JRC / Universidade de Parma, Itália  
 Humberto Gonçalves dos Santos, Embrapa-Solos, Brasil  
 Augusto González Artieda, CLIRSEN, Equador  
 Juan Guerrero, UNALM, Peru  
 Renato Haro, CLIRSEN, Equador  
 Alberto Hernández Jiménez, INCA, Cuba  
 Luis Carlos Hernani, Embrapa-Solos, Brasil  
 Mariana Hill, MGAP, Uruguai  
 Patrocinio Alonso Jara, SOPACIS, Paraguai  
 Juan Jiménez, IPE-CSIC, Espanha  
 Arwyn Jones, Comissão Europeia, JRC, Itália  
 Pavel Krasilnikov, ECFS, Rússia  
 Braulio La Torre, UNALM, Peru  
 Ana Lía Larrosa, MGAP, Uruguai  
 Raúl Marsán Bartolomé, IS, Cuba  
 Rafael Mata, Universidad de Costa Rica, Costa Rica  
 Maria de Lourdes Mendonça Santos, Embrapa-Solos, Brasil  
 Reynaldo Mendoza Bismark, UNA, Nicarágua  
 José Merlo, CLIRSEN, Equador  
 Luca Montanarella, Comissão Europeia, JRC, Itália  
 Olegario Muñiz Ugarte, IS, Cuba  
 Julio César Nazario, UNALM, Peru  
 Marco Nocita, Comissão Europeia, JRC, Itália  
 Pedro Antonio Núñez Ramos, IDIAF, República Dominicana  
 Federico Olmedo, INTA, Argentina  
 Ronald Ontiveros, Universidad Autónoma Chapingo, México  
 Lily Paniagua, Costa Rica  
 Juan Miguel Pérez Jiménez, IS, Cuba  
 Cecilia Petraglia, MGAP, Uruguai  
 Lúcia Raquel Queiroz Pereira, da Luz, Embrapa-Solos, Brasil  
 Carlos Alberto Quesada, RAINFOR, Brasil  
 Thomas Reinsch, USDA, EUA  
 Gerardo Reyes Calvo, CIREN, Chile  
 Lucas Ruiz, IANIGLA-CONICET, Argentina  
 Riekhath Sanchit, NPO, Suriname  
 Luis Rivero Ramos, IS, Cuba  
 Mauricio Rizzato Coelho, Embrapa-Solos, Brasil  
 Andrés Felipe Rodríguez Vásquez, IGAC, Colômbia  
 Arnulfo Encina Rojas, SOPACIS, Paraguai  
 Víctor Manuel Romero Benitez, INEGI, México  
 Lucas Ruiz, IANIGLA-CONICET, Argentina

Darwin Sanchez, CLIRSEN, Equador  
 Peter Schad, TUM, Alemanha  
 Gustavo Sevillano, CLIRSEN, Equador  
 Ricardo Siachoque Bernal, IGAC, Colômbia  
 José de Souza Silva, Embrapa-Solos, Brasil  
 Constantino Soto, UMSS, Bolívia  
 Wenceslau Geraldes Teixeira, Embrapa-Solos, Brasil  
 Hugo Antonio Tobías Vásquez, FAUSAC, Guatemala  
 María Isabel Vara Rodríguez, Comissão Europeia, JRC, Itália  
 Ronald Vargas, FAO  
 José Ezequiel Villarreal, IDIAP, Panamá  
 Gilberto Román Xix Aké, INEGI, México  
 Darwin Yáñez, CLIRSEN, Equador  
 Yusuf Ygini, Comissão Europeia, JRC, Itália

No final da seção Glossário (pagina 173) surge uma relação com os acrônimos das distintas instituições e as suas definições.

## Agradecimentos

Este Atlas foi realizado com a contribuição dos principais cientistas de solos da América Latina e do Caribe, da Europa e da América do Norte, juntamente com as suas organizações nacionais e internacionais. Todas as atividades foram realizadas sob o auspício do programa EUROCLIMA, financiado pela Direção-Geral do Cooperação Internacional e Desenvolvimento – EuropeAid, em particular através do apoio de José María González y González, Catherine Ghyoot, Susana Campo y Folgoso, Jan Karremans e Melina Blanc. O compromisso entre o Centro Comum de Investigação (Joint Research Centre, JRC) e a FAO levou à formação da Rede de Cientistas do Solo da ALC, que mais tarde se tornou a Aliança Latino-Americana pelo Solo, cuja atividade espera-se a prosseguir após a conclusão deste projeto.

Por último, todos os esforços foram realizados para localizar os titulares dos direitos autorais. O comitê editorial se desculpa antecipadamente por qualquer omissão de forma involuntária e compromete-se a concertá-las nas futuras edições do Atlas.

## Fotografias

O Conselho Editorial deseja agradecer aos fornecedores de elementos gráficos (fotografias, diagramas, mapas ilustrativos), pela sua permissão para usar seu material no Atlas. Os colaboradores são:

(AC) Achumafriski - Wikicommons; (AER) A. Encina Rojas; (Afsis) African Soil Information System; (AGA) A. González Artieda; (AHJ) A. Hernández Jiménez; (Al) Alfredobi - Wikicommons; (APH) A.P. Hiram - Flickr; (AZ) A. Zimmerman; (BC) B. Cruz; (BQ) B. Quesada; (BR) B. Rosende - Flickr; (BRCP) Bigal River Conservation Project - Flickr; (BT) B. Torre; (C) Chelys S.r.l.; (CC) C. Castilla; (CAOS) C.A. Ortiz Solorio (CCG); C. Cruz Gaistardo; (CG) C. Gardi; (CGZ) C. Gutiérrez; (CH) C. van der Herst; (Ch) Cheesy24 - Flickr; (CIESIN) Columbia University Center for International Earth Science Information Network; (CP) C.L. Ping; (CSA) C. Saracco Álvarez; (CSS) Cooperative Soil Survey; (D) Dragondeluz - Wikicommons; (DA) David - Wikicommons; (DG) D. García - Wikicommons; (DR) D. Rembegg; (ESA) European Space Agency; (EC) E. Caetano; (ECOM) European Commission; (EHN) E.H. Novotny; (EM) E. Micheli; (EMBRAPA) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; (ER) E. van Ranst; (F) Fastily - Wikicommons; (FAO) UN Food and Agriculture Organization; (FB) F. Beinroth; (FG) F. Grau; (FNF) F. Niño Farfán; (GD) G. Durán; (GG) G. Gómez - Wikicommons; (GN) G. Naumann; (GS) G. Schultz; (GW) Wolf - Wikicommons; (HA) H. Atter; (HLB) H. Larrain Barros; (HS) H. Santos; (HTV) H. Tobias Vásquez; (IAM) I. Aguilera Miralles; (IDP) Imagen de Dominio Público; (INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía; (IRD) L'Institut de recherche pour le développement; (ISRIC) ISRIC World Soil Information; (J) Jflo23 - Wikicommons; (JA) J. Arkesteijn - Wikicommons; (JAO) J. Alegre Orihuela; (JC) J. Comerma; (JCAF) J.C. De Araujo Filho; (JEM) J. Espinosa Marroquín; (JEVP) J.E. Villarreal de Panamá; (JJJ) J.J. Jiménez; (JLCO) J.L. Colocho Ortega; (JLMR) J.L. Martínez Rayo; (JLP) J.L. Panigatti; (JM) J. Martínez; (JNR) J.C. Nazario Ríos; (JSR) J.S. Ruiz; (JRC) Joint Research Centre; (JV) J. Vicente - Flickr; (JZ) J. Zúñiga; (KK) K. Kolo; (KP) K. de la Paz; (LA) Lazarte - Wikicommons; (LC) L. Chang; (LE) Leaflet - Wikicommons; (LG) L. Galuzzi; (LI) Libertinus - Wikicommons; (LJ) Lovell Johns Ltd; (LMSB) M.L. Mendonça Santos Brefin; (LR) L. Ruiz; (LS) L. Siebert; (MA) M. Angelini; (MB) M. Beeman - Wikicommons; (MBON) M.B. de Oliveira Neto; (MC) M. Chédel - Wikicommons; (MDO) Museo del Oro, Bogotá; (MEA) Millenium Ecosystem Assessment; (MF) M. Fuchs; (MGM) M. García Moya; (MH) M. Hsu - Flickr; (Mh) M. Hill; (MIAF) M.I. Alvarado Flores; (MP) M. Parrilla; (MVR) M.I. Vara Rodríguez; (NASA) National Aeronautics and Space Administration; (NSF) US National Science Foundation; (OMU) O. Muñiz Ugarte; (P) Pgbk87 - Wikicommons; (PAJ) P.A. Jara; (PC) P. Cruz; (PK) P. Krasilnikov; (PMV) P. Mena Vascónez; (PNR) P. Núñez Ramos; (PNUMA) Programa NU para el Medio Ambiente-UNEP; (PS) P. Schad; (R) Rufus - Wikicommons; (RB) R. Bonnefoy - Wikicommons; (RFC) R.F. del Castillo; (RG) R. García; (RH) R. Hille - Wikicommons; (RK) R. Kaupp - Wikicommons; (RS) R. Siachoque; (RV) R. Vargas; (S) Shao - Wikicommons; (SC) S. Calderano - Wikicommons; (SG) S. Grabow - Wikicommons; (SLCS) Sociedad Latinoamericana de Ciencias del Suelo; (SMCS) Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo; (ST) S. Torres; (SZ) S. Zona - Flickr; (T) Thrigruner - Wikicommons; (TA) Tim & Annette - Wikicommons; (TDS) T. Dos Santos - Wikicommons; (TI) Tizianok - Wikicommons; (UNFCCC) UN Framework Convention on Climate Change; (USDA) US Department of Agriculture; (USGS) US Geological Service; (W) Wolmadrian - Wikicommons; (WGT) W. Geraldes Teixeira; (ZC) Z. Clark - Wikicommons.



# Índice

<b>Detalhes da publicação</b>	<b>2</b>
<b>Comitê Editorial, Autores, Agradecimentos e Fotografias</b>	<b>3</b>
<b>Índice</b>	<b>4</b>
<b>Prefácio</b>	<b>7</b>
<b>Introdução</b>	<b>8</b>
Enfoque do Atlas	8
Cooperação entre a União Europeia e a América Latina: o programa EUROCLIMA	9
As ciências do solo na ALC	10
<b>Solos e meio ambiente na ALC</b>	<b>12</b>
O que é o solo?	12
A importância do solo	13
Do que é feito o solo?	14
De onde vêm os solos da ALC? - fatores de formação do solo	15
Processos de formação do solo	23
Processos de formação do solo na ALC	31
Funções chave do solo	34
A vida no solo e biodiversidade	37
O solo e o patrimônio cultural	38
<b>A classificação de solos</b>	<b>40</b>
A classificação de solos: denominação e agrupamento	40
Elaboração da classificação de solos na ALC	41
Base de Referência Mundial para Recursos de Solos (WRB)	44
Principais tipos de solos na ALC	46
Os solos da ALC: fortalezas, oportunidades, fraquezas e ameaças	54
<b>Cartografia ou Mapeamento de Solos</b>	<b>56</b>
Por que mapear os solos?	57
Legenda	58
Índice das folhas cartográficas	61
Principais tipos de solos da América Latina e Caribe	62
O território da ALC: visão política e geológica	64
ALC vista do espaço	65
Os solos da ALC	66
Mapas de propriedades dos solos da ALC	110
Elaboração dos mapas de solo do Atlas	114
O mapeamento digital de solos - MDS	115

<b>Os solos e o uso da terra na ALC</b>	<b>116</b>
Uso atual da terra	119
Uso potencial da terra	121
Conhecimento e usos tradicionais da terra na ALC	122
<i>Terra Preta de Índio: uma técnica ancestral para a captura de carbono</i>	124
Solos e água: sistemas agrícolas tradicionais da América Central e da região do Caribe	125
Degradação dos solos	126
Degradação do solo nos países da ALC	130
Boas práticas de gestão e manejo dos solos	132
<b>Os solos e as mudanças climáticas na ALC</b>	<b>134</b>
As mudanças climáticas na ALC	135
O ciclo do carbono	136
Degradação do solo e mudanças climáticas na ALC	138
Métodos para a mensuração e estimativa do carbono orgânico do solo	139
Impactos das mudanças climáticas	141
Medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas	142
O efeito das mudanças climáticas nos solos da ALC	143
<b>Solos e grandes paisagens</b>	<b>144</b>
Biomassas, ecorregiões e solos	144
1. Florestas tropicais e subtropicais úmidas	145
2. Florestas tropicais e subtropicais secas	146
3. Florestas tropicais e subtropicais de coníferas	147
4. Florestas mistas temperadas	148
5. Desertos e matagais xéricos	149
6. Pastagens, savanas tropicais e subtropicais	150
7. Savanas e campos inundado	151
8. Pastagens, savanas e matagais temperados	152
9. Pastagens e matagais de montanha	153
10. Floresta mediterrânea de bosques e arbustos	154
11. Manguezais	155
<b>Os solos da ALC: uma perspectiva nacional</b>	<b>156</b>
<b>Conclusões</b>	<b>168</b>
<b>Informação adicional</b>	<b>170</b>
Glossário	170
Contatos e bibliografia	173
A Comissão Europeia	176
A série de Atlas de Solos de JRC	176



Tanto no continente latinoamericano como nas suas ilhas, pode-se observar uma ampla gama de tipos de solos, os quais fornecem uma multidão de benefícios e serviços ambientais de importância vital para o ser humano. A imagem acima corresponde a encostas cultivadas no Equador. As potencialidades agrícolas dos solos dependem de sua evolução, de suas características e dos materiais de origem e grau de declive do terreno. (LC)



Perfil típico de um solo pouco diferenciado, com produção de *Pinus occidentalis* em Jarabacoa, República Dominicana. (PNR)

### Mensagens-chave

- A região da América Latina e do Caribe (ALC) apresenta uma ampla diversidade pedológica, incluindo solos muito férteis. Como resultado de sua história geológica, topografia, clima e vegetação, pode-se encontrar mais de 30 tipos de solos diferentes.
- Os solos na ALC sustentam a maior biodiversidade do planeta. Na ALC encontram-se 6 dos 17 países megadiversos do mundo (países que abrigam os maiores índices de biodiversidade da Terra).
- Quase a metade do território na ALC apresenta solos pobres em nutrientes; dentre eles, destacam-se as vastas áreas de solos amarelos ou vermelhos dos trópicos úmidos, muito ácidos e pobres em nutrientes, caracterizados pela lavagem da sílica e pelas altas concentrações de óxidos de ferro e alumínio.
- Cerca de 20% da região possuem solos áridos, onde a agricultura sem irrigação é uma prática desaconselhável, enquanto que 10% apresentam limitações de drenagem, por tratar-se de solos argilosos. As encostas íngremes dos Andes são caracterizadas por solos rasos, formados por fragmentos de rochas. Nos vales interandinos aparecem os solos salinos e ricos em nutrientes, desenvolvidos sobre bacias sedimentares.
- Os solos naturalmente férteis cobrem apenas cerca de 10% da superfície da ALC. Destacam-se os solos escuros e profundos das pradarias características do Pampa argentino.
- Os solos da ALC sustentam a produção de um grande número e variedade de produtos alimentícios: por exemplo, mais da metade da produção mundial de café, cana-de-açúcar, soja e quase um quarto de carne e de bananas. Somente o Brasil produz um terço do café do mundo.
- No primeiro metro de profundidade dos solos da ALC, encontra-se armazenado, cerca de 185 Gt de carbono orgânico. Esta quantidade equivale a quase o dobro das reservas de carbono acumuladas na vegetação da Amazônia.
- A FAO estima que 14% das terras degradadas do mundo, encontram-se na ALC, afetando 150 milhões de pessoas. Na Mesoamérica (América Central), a proporção aumenta para 26% do território. A erosão do solo como processo de degradação tem afetado uma grande parte do continente. Em vários países, mais da metade das terras aráveis encontra-se em estado de degradação, devido às práticas de manejo inadequadas.
- A mudança no uso do solo (especificamente no que diz respeito ao desmatamento), a exploração excessiva dos recursos naturais, as mudanças climáticas e as desigualdades sociais são as principais causas da degradação da terra.
- Como avanço positivo, destaca-se a implementação de campanhas para a conservação ou recuperação do recurso solo na maioria dos países.

## Prefácio

### Comissão Europeia

O solo é um recurso de grande importância em âmbito global, e no caso da América Latina e do Caribe (ALC), é considerado como um recurso fundamental para atender às necessidades de uma população humana em contínuo e rápido crescimento. Estima-se que o potencial agrícola da ALC é de 576 milhões de hectares, embora os processos de degradação afetam 45% das terras agrícolas na América do Sul e 74% na América Central e no México. As mudanças climáticas e a pressão antropogênica são os principais fatores que impulsionam tais processos de degradação do solo.

A União Europeia (UE) está comprometida no apoio em atingir os "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável", com a finalidade de combater a pobreza e apoiar o desenvolvimento sustentável a nível global. Um dos pontos-chave da V Cúpula da União Europeia - América Latina e o Caribe, foi o "Desenvolvimento Sustentável: Meio Ambiente, Mudanças Climáticas e Energia". A Comissão Europeia (CE) respondeu a esse respeito, lançando o programa EUROCLIMA, com o objetivo de ampliar o conhecimento dos tomadores de decisão e da comunidade científica latino-americana sobre as questões relacionadas às mudanças climáticas. O programa, gerido pela Direção Geral do Desenvolvimento e Cooperação-EuropeAid, apresenta um componente científico que foi desenvolvido pelo Joint Research Centre (JRC). Este engloba os temas água, bioenergia, agricultura, solos e seca e desertificação.

Com a finalidade de aumentar a conscientização sobre a importância do solo, um meio essencial do capital natural, e para ampliar o conhecimento do impacto das mudanças climáticas sobre o mesmo, o Centro Comum de Investigação (DG Joint Research Centre, JRC), a pedido da Direção-Geral para o Desenvolvimento e Cooperação-EuropeAid, responsabilizou-se pela elaboração do primeiro Atlas de Solos da América Latina e do Caribe. Isto levou à cooperação entre os cientistas do solo da ALC, da Europa e dos Estados Unidos, e de tal modo estimulou a colaboração entre os cientistas latino-americanos. A parceria foi formalizada com a criação da Rede Latino-Americana de Cientistas do Solo, consolidada no Rio de Janeiro em julho de 2011.

Este Atlas é dirigido ao público em geral, ao setor educativo, aos responsáveis pelas políticas ambientais, agrícolas e sociais, a fim de ampliar a conscientização sobre a importância do recurso solo na ALC. Acreditamos que esta publicação inovadora, especialmente no contexto deste Ano Internacional dos Solos, torne-se numa base de referência amplamente utilizada e que seja um elemento-chave para melhorar o conhecimento do recurso solo na ALC.



**Máire Geoghegan-Quinn**  
Comissário da UE para  
Pesquisa, Inovação e Ciência



**Andris Piebalgs**  
Comissário da UE para  
Desenvolvimento

### Direção Geral do Centro Comum de Investigação (JRC)

Como serviço científico interno da Comissão Europeia, o Centro Comum de Investigação (Joint Research Centre, JRC) tem a capacidade de fornecer apoio científico para as políticas europeias. Nesse contexto, o JRC participa da coleta de dados e da recopilação de avaliações sobre o estado dos solos no âmbito europeu e mundial. O Atlas de Solos da América Latina e do Caribe representa um passo importante nesse esforço, sendo o resultado de uma frutífera colaboração entre os principais especialistas no tema solo, da Europa, México, Caribe, América Central e América do Sul. Este Atlas faz parte de uma série de Atlas de solos elaborados pelo

### Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO)

O solo é um recurso natural único, embora muitas vezes ignorado na implementação de políticas e na agenda de desenvolvimento, apesar de ser o principal recurso natural que sustenta as economias agrícolas mundiais. Mas, além do seu papel fundamental nos ecossistemas e na economia, ao contrário da água e do ar, não é um recurso infinito na nossa escala humana, embora tende-se a tratá-lo como tal. Vários estudos demonstram que a América Latina e o Caribe apresentam solos férteis que constituem a base para a tão importante produção de alimentos; no entanto, a degradação destes representa uma ameaça latente. Estima-se que o crescimento populacional irá aumentar a demanda de produção de alimentos e de serviços ambientais, aumentando assim a pressão sobre o solo. Por essa razão, se torna evidente a importância de se contar com solos férteis.

Embora seja necessário aumentar a conscientização sobre o papel crucial do recurso solo, faz-se prioritário contar com informação relevante sobre as suas propriedades e sobre seu estado. Este conhecimento constitui a base científica para o planejamento e implementação de conservação e manejo sustentável deste recurso silencioso. Por meio de vários projetos, programas e iniciativas, a Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO) tem apoiado a região na geração de informações sobre os solos e no fomento de práticas de manejo sustentável dos solos, levando em conta, as boas práticas locais. Em resposta à importância do solo como recurso na luta contra a fome e a insegurança alimentar, a FAO, em conjunto com seus estados-membros, estabeleceu a Aliança Mundial para o Solo para promover o manejo sustentável do solo e incluí-lo nas várias agendas de desenvolvimento.

A FAO, juntamente com a Comissão Europeia e outros parceiros, continuará a promover eventos de informação, projetos de pesquisa, capacitação de jovens pesquisadores e a integração do solo como tema nas políticas de decisão para o desenvolvimento agrícola e a agenda de segurança alimentar da América Latina e Caribe. Este documento surpreendente e oportuno, é o resultado de um esforço de cooperação regional e parceria de cientistas do solo latinoamericanos, sob a liderança da Comissão Europeia, que apoia perfeitamente as ideias da Aliança Mundial do Solo. Espero que vocês encontrem neste Atlas, um documento esclarecedor e útil como referência científica e como fonte de informação geral sobre a vasta variedade e riqueza dos solos encontrados na América Latina e Caribe.



**Prof. José Graziano da Silva**  
Organização das Nações Unidas para  
Alimentação e a Agricultura  
Diretor-geral



**Vladimir Šucha**  
Comissão Europeia  
DG Centro Comum de Investigação  
Diretor-geral

### Sociedade Latino-americana de Ciência do Solo (SLCS)

A América Latina atualmente enfrenta muitos e graves problemas, dentre os quais destacam-se a conservação de seus recursos não renováveis e indispensáveis para a produção de alimentos e para a obtenção de uma produção que garanta o abastecimento de nossas populações e seus requerimentos nutricionais - isto é, a própria vida. Ambos os problemas são também uma preocupação mundial. No entanto, para os países latino-americanos constituem prioridade e uma questão de soberania nacional.

As possíveis vias de solução envolvem diretamente o solo e o tornam um recurso natural indispensável de preservar. Além alimentos, é fonte de biodiversidade, uma vez que constitui o habitat de uma imensa quantidade de organismos e microrganismos; filtra, recircula e define a distribuição da água; é o depósito de resíduos, o suporte de todas as estruturas e o regulador de todos os ciclos biogeoquímicos que tornam possível a função dos ecossistemas.

Contudo, apesar da grande importância deste recurso para sustentar o desenvolvimento da vida na Terra, existe uma falta de conhecimento geral dos cidadãos, tanto no que se refere aos recursos naturais que a América Latina possui, como com relação ao valor dos mesmos. No entanto, apesar de ser certo que esta falta de conhecimento seja comum no mundo da política e da comunicação, na realidade os governos não desconhecem o valor real do recurso solo para a vida, mas o que ocorre, e que antepõem os seus interesses pessoais, políticos e econômicos aos da sociedade. É por isso que a solução encontra-se na informação e educação dos cidadãos, uma vez que apenas através do conhecimento, da conscientização, da gestão e da exigência por parte dos cidadãos aos seus governos para empreender e ser parte de toda a ação necessária para preservar o solo e prevenir a sua degradação, será garantida a sua preservação.

Neste sentido o Atlas, constitui um caminho possível para, através da informação, construir uma consciência coletiva transcendental sobre o papel vital do recurso solo para a existência da vida no planeta. É também um meio que pretende informar e chamar a atenção da comunidade científica latino-americana para que, a partir das suas disciplinas diversas, abandonem a indiferença aos problemas atuais e participem na busca de soluções criativas e inovadoras. Deste modo, através da prática de diálogos inter-, multi- e transdisciplinares, preservaremos o recurso solo e construiremos um modelo de desenvolvimento que possa garantir a preservação da vida na Terra.

O fato de não possuímos um solo fértil que nos forneça alimentos e água, já resulta num grave problema, mais grave ainda são as situações sociais que seu déficit de conservação engendra: a pobreza, a migração, a desigualdade, a violência e a injustiça. Frente a tudo isso, a educação sobre o solo e o meio ambiente pode ser parte da solução. Tal tarefa é hoje um compromisso indesculpável dos cientistas do solo, e é por essa razão que, para a Sociedade Latino-Americana da Ciência do Solo, é de grande importância o projeto "Assim são os solos da minha Nação" de Educação e Ensino da Ciência do Solo para crianças e jovens, impulsionado pela Rede Latino-Americana de Educação e Formação em Ciência do Solo. Este Atlas também traz aos docentes e cientistas de todos os níveis, a oportunidade de conhecer os recursos naturais de toda a região e de praticar uma educação integradora, criativa e inovadora, que leve a contribuir para a valorização dos nossos recursos naturais e para a geração de novos quadros conceituais, éticos e culturais de preservação, nos cidadãos do futuro.

A SLCS durante o seu 50º aniversário aprovou uma proposta de ação conjunta entre as Sociedades Nacionais da Ciência do Solo para criar um espaço adequado em nível governamental, educativo e do cidadão, que permita conhecer, valorizar, preservar e defender o recurso pedológico como um benefício comum para todas as nações do continente.



**Julio Alegre Orihuela**  
Presidente da SLCS



**Laura Bertha Reyes Sánchez**  
Secretaria-Geral da SLCS

## Enfoque do Atlas

*"A nação que destrói seu solo destrói a si mesma."*

*Franklin D. Roosevelt, político, diplomata, advogado e 32o presidente dos EUA.*

O Atlas de Solos da América Latina e do Caribe é uma iniciativa do marco do programa EUROCLIMA e é financiado pela mesma, em colaboração com as instituições regionais de solos. O programa visa fomentar a cooperação entre a América Latina e a União Europeia (UE), em matéria de mudanças climáticas.

O objetivo do Atlas é apoiar o uso sustentável do solo, fornecendo uma ferramenta útil para o conhecimento do seu estado e chamar a atenção sobre sua importância. Estes aspectos constituem o ponto de partida para promover a conservação deste valioso recurso natural [1, 2, 3, 4]. É por isso que, a fim de melhorar a comunicação e sensibilização da sociedade, dos políticos e dos cientistas sobre a importância do solo na América Latina, o Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia (JRC, em inglês: Joint Research Center) elaborou o primeiro Atlas de Solos da América Latina e do Caribe.

O Atlas unifica as informações existentes sobre diferentes tipos de solos mediante mapas de fácil interpretação, tanto em escala regional (ecorregiões) como continental. Também ilustra a diversidade de solos existente, desde os trópicos úmidos até os desertos, através de uma série de mapas com textos explicativos, fotos e gráficos. Os textos descrevem os principais tipos de solo, juntamente com suas características e processos de formação mais importantes.

Este Atlas representa um dos produtos do programa EUROCLIMA que enfatiza o tema das mudanças climáticas. Os mapas de solos apresentados neste trabalho baseiam-se na base de dados Soterlac 1:5. 000.000, atualizada e validada em função das informações encaminhadas pelos países da América Latina e do Caribe, parceiros deste projeto. Os solos são tratados tanto em âmbito regional, de acordo com as distintas ecorregiões, como em âmbito nacional. Também se inclui neste Atlas, textos sobre a integração do conhecimento indígena sobre a Ciência do Solo (Etnopedologia).



A cor vermelha deste solo tropical em Cuba indica a presença de quantidades importantes de óxidos de ferro e a ausência de carbonatos. (AHJ)

## Os solos e a segurança alimentar

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o conceito de segurança alimentar surgiu nos anos setenta e tem evoluído com base em considerações quantitativas. Em meados da década de 1970 era definida como "a capacidade em todos os momentos para abastecer todo o mundo com produtos básicos, para poder sustentar o crescimento do consumo de alimentos, suportando as flutuações e os preços." Em 1990, a definição incluía a capacidade de assegurar que o sistema de alimentação pudesse fornecer a toda a população, o abastecimento de alimentos nutricionalmente adequados e a longo prazo.



Os solos da América Latina são frequentemente associados com aqueles das florestas tropicais - vermelhos e muito intemperizados. No entanto, desde o norte até o sul do subcontinente, podemos encontrar diversos tipos de solos que fornecem inúmeros bens e serviços ambientais de importância vital para os seres humanos e para o planeta como um todo. (RG)

As questões relativas ao acesso à propriedade e ao uso da terra, juntamente com a degradação ambiental, podem originar, em conjunto ou individualmente, a uma situação de insegurança alimentar.

Na América Latina, durante as últimas décadas, o aumento da pressão humana sobre o meio ambiente, somado ao manejo inadequado do território, tem levado à degradação dos solos e de muitos de seus serviços ambientais [5,6].

O solo é um recurso fundamental para satisfazer às necessidades de alimentos, forragem, fibras e energia, para uma população humana em rápido crescimento. A FAO e a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) [7] estimam que seria possível duplicar a área agrícola de cultivo, em nível mundial, somando 1,6 milhões de hectares à atual - principalmente na América Latina e na África - sem afetar as áreas florestais, as áreas protegidas ou as terras urbanas. No entanto, vários especialistas, como a Sociedade Real da Grã-Bretanha [8] não aconselham este incremento, devido ao prejuízo que poderia causar aos ecossistemas e à biodiversidade. Uma solução intermediária seria a denominada "intensificação sustentável", a qual se tornou prioridade para muitas agências

de pesquisa agrícola. Por exemplo, a FAO prevê que a produção agrícola do Brasil crescerá mais rápida do que qualquer outro país do mundo na próxima década (aumentando em uns 40% em 2019). Este aumento da pressão sobre o solo, requer uma abordagem preventiva na hora de fazer sua gestão, a fim de evitar, ou pelo menos manter dentro de um nível sustentável, os processos de degradação.

## Intensificação sustentável da produção agrícola

A necessidade de alimentar uma população global crescente coloca uma pressão cada vez maior sobre a produção agrícola e o meio ambiente. Isto levou à definição de um novo paradigma: a intensificação sustentável da produção agrícola. Esta ideia consiste em otimizar a produção agrícola por unidade de superfície, sem negligenciar as questões de sustentabilidade e incluindo o potencial e/ou os impactos sociais, políticos, econômicos e ambientais reais. A produção agrícola sustentável tem como objetivo maximizar as opções de intensificação da produção agrícola por meio da gestão dos serviços ecossistêmicos.



A Região do Pampa Húmida da Argentina desempenha um papel importante como produtor de plantas forrageiras destinadas à produção de carne e leite. (CG)

## Cooperação entre a União Europeia e a América Latina: o programa EUROCLIMA

### O que é EUROCLIMA?

A América Latina e a União Europeia são aliados naturais, unidos por fortes laços históricos, culturais e econômicos. Ambos compartilham um compromisso em âmbito internacional de estabilidade política e multilateralismo. Desde a década de setenta, as relações entre ambas as regiões têm se intensificado, e na atualidade a União Europeia é o maior doador de ajuda ao desenvolvimento da América Latina, além de ser o seu segundo investidor estrangeiro e sócio comercial.

Neste quadro de colaboração, foram realizadas as Cúpulas de Chefes de Estado e do Governo da UE e América Latina e Caribe (ALC), que são os principais encontros entre os líderes de ambas as regiões, com o objetivo de intensificar e melhorar o diálogo político e chegar a um acordo sobre as futuras prioridades para a cooperação. Na V Cúpula UE-ALC, realizada em maio de 2008, foi assinada a Declaração de Lima, na qual se estabeleceu o desenvolvimento sustentável (com foco no meio ambiente, mudanças climáticas e energia) como um dos assuntos-chave para a cooperação bi-regional, e estabeleceu-se o programa EUROCLIMA como uma das ferramentas para fortalecer a luta conjunta contra o desafio do aquecimento global. O objetivo de EUROCLIMA é compartilhar os conhecimentos, reforçar o diálogo político e assegurar a sinergia e a coordenação ações atuais e futuras na América Latina no âmbito das mudanças climáticas. Deste modo, ambas as regiões formalizaram seu compromisso de enfrentar em conjunto os desafios das mudanças climáticas na América Latina.

Em âmbito regional, a América Latina está em processo de crescimento econômico, mas existem diferenças dramáticas entre as sub-regiões e países, bem como grande desigualdade social em muitos países. O fenômeno das mudanças climáticas constitui uma ameaça para os recursos naturais, a biodiversidade e o desenvolvimento sustentável. Expõe a região a desastres naturais cada vez mais frequentes, como secas e inundações, desertificação, insegurança alimentar e ao impacto que estes têm sobre as populações mais vulneráveis, pondo assim em risco o combate à pobreza no continente e seu caminho em direção à igualdade, bem-estar social e prosperidade econômica.

A União Europeia está comprometida a lutar contra as mudanças climáticas, e uma parte integral deste compromisso implica em manter um papel de liderança, tanto na cooperação ao desenvolvimento quanto nas políticas globais de mudanças climáticas. Deste modo, a UE trabalha especificamente com países em desenvolvimento, ajudando-os a enfrentar as consequências do aquecimento global e as suas causas, a fim de alcançar os Objetivos do Milênio, contribuindo para a luta contra a pobreza e ao desenvolvimento global sustentável.

O Programa regional EUROCLIMA, financiado pela Comissão Europeia-EuropeAid, beneficia a todos os países da América Latina e pretende melhorar o conhecimento dos problemas e as consequências das mudanças climáticas por parte dos que formulam as políticas na América Latina e da comunidade científica, com o objetivo de integrar essas questões nas políticas de desenvolvimento sustentável. O compromisso, a participação e a implicação dos países beneficiários no Programa, tanto em nível operacional como institucional, são condições indispensáveis para alcançar uma cooperação entre as regiões da América Latina e da União Europeia. Em seu enfoque multi-setorial, o EUROCLIMA pretende destacar a importância da participação da comunidade científica na luta contra o desafio das mudanças climáticas, propondo atividades de coleta e consolidação de bases de dados e ferramentas de modelagem, mapeamentos, capacitações, troca de informações e experiências, bem como a difusão de resultados obtidos sobre as questões de estudos socioeconômicos, solos, a segurança alimentar, recursos hídricos, sustentabilidade da bioenergia e desertificação. O Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia (JRC), por meio do Instituto do Meio Ambiente e Sustentabilidade (IES), executa o componente de Ciências Biofísicas do programa EUROCLIMA. O objetivo deste bloco é de identificar, coletar e integrar dados biofísicos susceptíveis de serem afetados pelas mudanças climáticas na América Latina.

### A União Europeia

A União Europeia é composta por 28 países europeus e foi estabelecida em 1 de novembro de 1993, com a entrada em vigor do Tratado da União Europeia (TUE). O Tratado é também conhecido como Tratado de Maastricht, já que foi assinado na dita cidade holandesa em 1992.

### Mudanças Climáticas: eventos extremos e a degradação na ALC

Os ecossistemas, a agricultura, os recursos hídricos e a saúde humana na América Latina foram afetadas nos últimos anos, por fenômenos meteorológicos extremos. Por exemplo, a floresta tropical da bacia do rio Amazonas está cada vez mais suscetível aos incêndios, devido ao aumento das secas relacionados com o fenômeno El Niño, enquanto que na zona central ocidental da Argentina e na zona central do Chile (localizadas entre 25°S e 40°S), as secas relacionadas com La Niña criam severas restrições para as demandas de água potável e irrigação.

No caso da Colômbia, as secas relacionadas com o impacto do El Niño no fluxo das bacias da região andina (especialmente na bacia do rio Cauca) são a causa de uma redução do 30% no fluxo médio, com uma perda máxima de 80% em alguns afluentes, enquanto que a bacia do rio Magdalena também mostra uma alta vulnerabilidade (perda de 55% no fluxo médio). Consequentemente, a umidade do solo e a atividade da vegetação veem-se reduzidas ou aumentadas por ambos fenômenos meteorológicos.

A energia hidráulica é a principal fonte de energia elétrica em muitos países da América Latina e é vulnerável às anomalias de precipitações em grande escala, causadas por El Niño e La Niña. A combinação do aumento da demanda de energia com a seca, causou uma interrupção na geração de energia provenientes de hidrelétricas, na maior parte do Brasil, em 2001, o que contribuiu para uma redução do Produto Interno Bruto (PIB) de 1,5%.

Por outro lado, a migração devido à degradação ambiental, pode disseminar doenças de forma inesperada.



O segundo encontro da Rede de Agências de Solos da América Latina e do Caribe, Mar del Plata, Argentina, Abril 2012. (CG)



Andrés Aguilar Santelises (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo - SMCS), Presidente Mundial da Ciência do Solo 1990-1994. (SMCS)

No nordeste semiárido do Brasil, as secas prolongadas têm provocado a migração de agricultores de subsistência para as cidades e, com isso, tem havido um reaparecimento da leishmaniose visceral. Também se tem notícias de um aumento significativo desta doença na Bahia (Brasil), após o El Niño de 1989 e 1995. Devido ao aumento da pobreza nas áreas urbanas, o desmatamento e a degradação ambiental nas áreas rurais, podem surgir novos lugares de reprodução dos vetores (roedores e insetos). As secas têm favorecido o desenvolvimento de epidemias na Colômbia e Guiana e têm produzido surtos de síndrome pulmonar pelo hantavírus na Argentina, Bolívia, Chile,

Paraguai, Panamá e Brasil. As intensas chuvas e inundações que se seguem às secas, aumentam a quantidade de alimentos disponíveis para os roedores, hospedeiros do vírus que vivem tanto dentro como fora das casas.

Acredita-se que as secas se intensificarão no século XXI em certas regiões da ALC, tais como no México, algumas zonas da América Central e no nordeste do Brasil, devido à diminuição das chuvas. As previsões para outras regiões são pouco confiáveis, uma vez que os dados são escassos e os modelos climáticos limitados.

Quanto à cobertura vegetal, o efeito combinado das atividades humanas com as mudanças climáticas, têm provocado uma diminuição contínua desta. Concretamente, as taxas de desmatamento da floresta tropical têm aumentado desde 2002. Com a finalidade de converter terras para o uso agrícola e pecuário, provocam-se incêndios. Esta é uma prática comum na América Latina que pode gerar mudanças nas temperaturas e na frequência das precipitações (como ocorre na zona sul da Amazônia). A queima da biomassa também afeta a qualidade do ar, com implicações para a saúde humana.

As mudanças de uso, juntamente com as consequências das mudanças climáticas, favorecem a degradação do solo, ao exacerbar em muitos casos, estes processos (devido por exemplo, a incêndios mais intensos e frequentes). Quase 75% das zonas áridas na ALC estão moderadamente ou severamente degradadas.

Os futuros projetos de desenvolvimento sustentável deveriam incluir estratégias de adaptação para melhorar a integração das mudanças climáticas nas políticas de desenvolvimento. Alguns países têm feito esforços para se adaptar, principalmente por meio da conservação de ecossistemas-chave, dos sistemas de alerta precoce, da gestão de riscos na agricultura, das estratégias para as inundações e as secas e da gestão costeira e dos sistemas de controle de doenças. No entanto, a eficácia dos tais esforços é superada pela ausência dos sistemas básicos de informação, observação e monitoramento; a falta de desenvolvimento de capacitação e de marcos políticos, institucionais e tecnológicos adequados; os baixos ingressos da população e os assentamentos em áreas vulneráveis. Os objetivos do desenvolvimento sustentável dos países latino-americanos estarão seriamente comprometidos se não forem realizadas melhorias nestas áreas, o que afetaria de forma negativa, entre outras coisas, a sua capacidade para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio [58].

### A Rede de Instituições de Solos da ALC

A Rede de Instituições de Solo da América Latina e do Caribe foi estabelecida formalmente durante uma reunião realizada na Embrapa Solos no Rio de Janeiro em julho de 2010, organizada conjuntamente pela Embrapa e o JRC. A reunião contou com 59 participantes, dos quais 22 eram representantes de 19 países da ALC.

A segunda reunião teve lugar em Mar del Plata, Argentina, em -Abril 2012, durante o XIX Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo. Contou com um total de 35 participantes de 20 países latino-americanos, dois países europeus e duas organizações internacionais. As atividades organizadas em Mar del Plata incluíram a oportunidade de apresentar as iniciativas do programa EUROCLIMA a um grande grupo de cientistas do solo, atualizar o estado do Atlas (em desenvolvimento, na época) e apresentar a Rede de Instituições de Solos da América Latina e do Caribe, a qual passou a contribuir significativamente no âmbito regional para a ALC, da Aliança Mundial para o Solo (em inglês, Global Soil Partnership), uma iniciativa liderada pela FAO e JRC que busca juntar esforços em escala global, para melhorar o conhecimento e promover o manejo sustentável do recurso solo.

Durante a reunião de Mar del Plata organizou-se um workshop sobre mapeamento digital de solos, oferecido pela Embrapa Solos, como uma atividade conjunta do programa EUROCLIMA e da Rede de Agências do Solo de ALC. Neste workshop, onde participaram mais de 40 pessoas ativamente envolvidas na ciência do solo, e também foram apresentaram exemplos de MDS dos países: Argentina (Marcos Angelini, Federico Olmedo), Brasil (Lourdes Mendonça, Ricardo Dart), México (Carlos Cruz Gaistardo), EUA (Porto Rico, Thomas Reinsch) e Colômbia (Ricardo F. Siachoque Bernal).

## As ciências do solo na ALC

A Pedologia é a subdisciplina da Ciência do Solo que estuda a distribuição, morfologia, gênese e classificação dos solos como um componente natural da paisagem. O interesse sobre esta ciência esteve em crise na década de 1990, nos países desenvolvidos por devido a diversas causas, entre elas, a conclusão dos inventários de solos em escalas detalhadas e a falta de interesse dos políticos sobre a importância do solo como um recurso natural; no entanto, atualmente, com a União Europeia já constituída, está se trabalhando para harmonizar os diversos esquemas de classificação em vigor— já que existem países que desenvolveram seu próprio sistema de classificação de solos - além de ter gerado inventários e mapas de solos. Nesses países, as principais preocupações quanto à degradação do solo são a erosão e a contaminação de origem industrial e urbana.

Pelo contrário, somente alguns países da América Latina dispõem de mapas de solos em nível de reconhecimento, em escala 1:250.000. Somente Cuba dispõe, para todo o país, de mapas de solo em nível detalhado (escala 1:25.000) e mapas em nível de parcelas, em muitos casos, para as propriedades. No caso do México, existe cartografia em escala 1:50.000 para um terço do território. Em outros países só existe a cartografia de solos para áreas de interesse agrícola, uma vez que, do ponto de vista da gestão agrícola, não são necessárias as áreas de montanha. Este é o caso do Chile, onde existem mapas em grande escala (1:20.000) para as áreas de agrícola.

Esta situação gera oportunidades de desenvolvimento neste campo de estudo: existe uma necessidade de informação pedológica para usos distintos e são escassos os profissionais nesta área de atuação. Aliás, como ocorre em âmbito global, os mapas existentes são de difícil interpretação e manipulação para a maioria dos usuários, incluindo os agrônomos e os planejadores, ou seja, não se elaboram mapas interpretativos, o que faz com que os mapas de solo sejam uma referência pouco utilizada para a maioria das aplicações atuais.

Dito em outras palavras, na América Latina, nem os responsáveis pelo ordenamento do território, nem os produtores agrícolas, florestais e pecuários, têm à sua disposição, informação suficiente—em quantidade e qualidade— para a adequada execução de seus projetos.

A Sociedade Latino-americana de Ciência do Solo (SLCS) foi fundada em 1954 com o objetivo de gerar, difundir, incentivar e promover ações científicas, tecnológicas e educativas que contribuam para a preservação do solo como recurso natural. Esta instituição é formada por numerosas sociedades científicas de toda a América Latina e, devido aos laços históricos existentes, nela também participam a Espanha e Portugal.

Por tratar-se de um enlace permanente com as 18 sociedades nacionais que a formam, a SLCS procura criar espaços próprios de cooperação e crescimento da Ciência do Solo na região, a fim de promover um desenvolvimento sustentável para a América Latina. Outra de suas funções é de interagir com outras sociedades em âmbito internacional, atuando como um elo de ligação latino-americano com a União Internacional da Ciência do Solo (conhecida como IUSS, em inglês: International Union of Soil Science) e com a European Soil Bureau Network (rede europeia de sociedades de Ciência do Solo a cargo da coleta, harmonização, organização e disseminação de dados na Europa). A elaboração deste Atlas é um exemplo de cooperação entre ambas as sociedades, latino-americana e europeia.

Não obstante, apesar da existência de tais iniciativas deste tipo, na maioria dos países da América Latina e do Caribe existem restrições de orçamento que dificultam e, em alguns casos, impedem a realização de inventários de recursos naturais, entre eles o solo.

### A Sociedade Latino-americana da Ciência do Solo

A SLCS é composta atualmente por uma presidência, uma secretaria e 18 Sociedades científicas correspondentes a 18 países da região. Mais informações sobre a SLCS podem ser encontradas no seu site:

[www.slcs.org.mx](http://www.slcs.org.mx)



Saída de campo, organizada pelo XIX Congresso de Ciência do Solo da América Latina, na estância "El Volcán" (Balcarce, Argentina). Os participantes observam um maquinário usado nas práticas de conservação do solo para limitar a erosão hídrica. (CG)

Um problema generalizado na região é a escassa demanda por parte das entidades governamentais, de informação pedológica para o planejamento do uso da terra a longo prazo.

Em alguns países que conseguiram completar o seu inventário de solos em escalas grandes (1:50.000), os esforços têm sido concentrados na integração da informação de solos em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e suas aplicações, deixando suspensos ou restringidos, os inventários pedológicos.

Assim, dentre as principais razões estruturais da escassez de informação pedológica destacam-se:

- a. a difícil interpretação da informação pedológica existente,
- b. a escassa precisão dos mapas de solos e,
- c. os altos custos dos inventários.

### O conhecimento local dos solos: Etnopedologia

A informação sobre o solo nem sempre tem a sua origem de pesquisas realizadas por cientistas ou pessoal técnico. Na América Latina, os médios produtores têm experimentado tecnologias intermédias ou avançadas, adaptando várias delas às condições particulares de cada localidade. Os pequenos produtores locais, por sua vez, sejam camponeses, indígenas ou mestiços, através de sua experiência, acumularam de outras formas, conhecimento sobre as propriedades, funcionamento e manejo dos recursos naturais. O conhecimento local apresenta as seguintes características: está geograficamente restringido, considera a dinâmica temporal, é coletivo, diacrônico e holístico, produto de uma longa história de observação, análise e manejo dos recursos naturais. Além disso, é transmitido de geração em geração.

O conhecimento local sobre os recursos naturais é amplo; engloba informação sobre a paisagem, geoformas, tipos de vegetação, plantas, animais, fungos, alguns microrganismos, minerais, solos, rios e aquíferos entre outros aspectos.

Os sistemas produtivos baseados no conhecimento local se sustentam, principalmente, pelas interações ecológicas (as quais, muitas vezes, são energeticamente eficientes); no entanto, apresentam limitações econômicas, por não serem dirigidas ao mercado, mas sim ao autoconsumo. Na América Latina, as populações locais, através de sua experiência, acumularam um conhecimento sobre as propriedades, funcionamento e manejo dos solos, que podem ser utilizadas na elaboração dos planos de desenvolvimento e na melhoria dos sistemas locais de classificação do solo.

Uma revisão global dos estudos publicados sobre Etnopedologia no ano 2000, relata que 25% (259) do total, ocorrem na América Latina, sendo os seis países seguintes, os mais importantes de acordo com o número de estudos realizados: México, Peru,

Bolívia, Brasil, Equador e Venezuela.

Neste contexto, o conhecimento local sobre os solos baseado na percepção, classificação e aproveitamento, deve ser um recurso utilizado para a melhoria das práticas de manejo e uso do solo e para planejar novos agroecossistemas com maiores possibilidades de inserção no mercado, conservando ao mesmo tempo, as vantagens ecológicas e os sistemas tradicionais.

O conhecimento local sobre o solo muitas vezes complementa os estudos técnicos. Muitas das deficiências que afetam a agricultura moderna podem ser corrigidas se forem aplicados os elementos tradicionais, como o uso de recursos locais (com energia humana e animal) ou a combinação no espaço e no tempo de uma variedade de cultivos para maximizar a colheita, mesmo com níveis baixos de mecanização da agricultura.

### Grupos indígenas no México

No México existe um grande potencial para o desenvolvimento da Etnopedologia, já que existe uma grande quantidade de grupos indígenas no país, com mais de 85 idiomas e uma experiência histórica acumulada ao longo de mais de quatro milênios, assim como diversas e grandes comunidades campesinas, com uma população em crescimento; entre eles destacam-se as comunidades *náhuatl* e *maya*, com uma população de 1.376.026 e 759.000 de habitantes, respectivamente. Outras comunidades indígenas com populações que superam os 100.000 habitantes, que também são de interesse etnopedológico, são as seguintes: *chol*, *huasteca*, *chinanteca*, *mixteca*, *zapoteca*, *mazahua*, *mazateca*, *mixe*, *otomí*, *purépecha*, *totonaca*, *tzeltal* e *tzotzil*.

Na página 43 pode-se encontrar mais informação sobre o conhecimento e o uso do solo por parte das comunidades indígenas.



Mulheres huastecas na comunidade Ricardo Flores Magón, município de Benito Juárez, Veracruz, México, 2008. (KP)



Fotografia selecionada no II Concurso de Fotografia da Associação Argentina de Ciência do Solo 2012. O uso da fotografia como forma de expressão pessoal é uma forma adequada para divulgar a conscientização sobre o recurso solo. O tema deste concurso era "Pensar o Solo a partir da América Latina, Espanha e Portugal". Título da foto: Maria e a colheita do milho. Comunidade indígena Kariña. Tirada em El Guamo, Estado de Monagas, Venezuela. (MGM)

## O que é o solo?

O termo "solo" ter distintas acepções, dependendo a quem perguntarmos. Ao ouvir falar de solo, muitos habitantes da cidade pensam na sujeira, poeira ou barro. Ao contrário, para um agricultor ou engenheiro agrônomo, o solo é sinônimo de "terra", para o engenheiro civil ou arquiteto o solo é uma área de trabalho, uma base para infraestruturas, o qual deve ser modelado ou eliminado; o biólogo encontra no solo, um ambiente de interesse, muitas vezes pouco conhecido e explorado, enquanto que o ecólogo reconhece no solo um cenário essencial para multitude de ciclos biogeoquímicos e a chave para a restauração de ecossistemas; do ponto de vista do hidrólogo, o solo funciona como um reservatório de água potável e filtro natural, mitigador de inundações e regulador dos volumes dos rios, entre outras funções importantes para a vida humana. Nenhuma destas visões é incorreta; contudo, o solo é muito mais do que isso: deve ser considerado como "a pele" de nosso planeta. É essencial para a vida e extremamente frágil. Uma definição universalmente aceita, é aquela que define o solo como "qualquer material solto na superfície da Terra capaz de sustentar a vida".

*"Não é por acaso que o nosso planeta se chama Terra. Toda a vida terrestre depende da frágil e friável crosta de solo recobre os continentes. Sem ela, os seres vivos nunca poderiam ter saído dos oceanos: não haveria plantas, nem cultivos, nem florestas, nem animais...nem o ser humano."* (1)

O solo é uma formação natural que se encontra na interseção da litosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera. Resulta da ação conjunta dos processos físicos, químicos e biológicos (intemperismo) sobre o meio original (a rocha matriz). Estes processos transformam o material originário até desenvolver-se uma morfologia e propriedades características. O solo é composto de elementos minerais e orgânicos no estado sólido, líquido e gasoso, os quais se interrelacionam dando lugar a diferentes níveis de organização, com variações tanto espaciais (verticais e laterais) quanto temporais (horárias, sazonais, centenárias, e até milenares). É um sistema complexo, no qual se sucedem de maneira contínua, processos químicos, físicos e biológicos. A ciência que estuda a composição e a natureza do solo em relação com as plantas e o ambiente circundante, é denominada Edafologia, enquanto que a Pedologia é o estudo da formação, classificação, morfologia e taxonomia dos solos, além da interação destes com os demais fatores geográficos restantes.



Vista de um perfil de solo característico, rico em carbonatos e matéria orgânica na Serra Madre Oriental do México. (CCG)

Do ponto de vista pedológico, o solo é um corpo natural organizado e independente, com constituintes, propriedades e gênese, que são o resultado da ação de uma série de fatores ativos (clima, organismos vivos) que atuam sobre os fatores passivos (a rocha-mãe e o relevo), num determinado tempo.

O solo é um meio que fornece os nutrientes necessários para o crescimento das plantas, na forma de matéria orgânica e minerais e é o substrato que as serve de suporte para o desenvolvimento de suas raízes.

Com todas estas características, o solo constitui um ambiente ideal para o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas, independentemente de outras condições de manejo, como por exemplo o cultivo em viveiros.



Cultivo de pimentas em viveiro na República Dominicana. (PNR)

Ao falar da "terra" se faz referência à combinação de solo e clima. Esta constitui a base mais importante para a produção agrícola e de alimentos. Quando se pratica a agricultura com métodos tradicionais, a terra e a mão-de-obra representam todos os recursos disponíveis.



Estabelecimento de cultivo de milho em campo aberto, com o manejo adequado do solo. (JLCO)

Neste texto, se apresenta dois exemplos que ilustram a importância dos serviços prestados pelo solo. Em primeiro lugar, observa-se um viveiro onde as plantas de pimentas crescem em condições protegidas.

A imagem seguinte corresponde a um cultivo de milho com solo preparado, em campo aberto. O solo está sendo utilizado como uma base e fornece os nutrientes requeridos pelas plantas.

Quanto à sua classificação, os solos apresentam grandes diferenças em suas características físicas, químicas e biológicas, tais como a cor, a profundidade ou a fertilidade. Essa variabilidade faz com que existam solos muito produtivos a pouco férteis, o que dá lugar a paisagens diferentes (vegetações com características diferenciadas em cor, altura ou densidade). Estas diferenças, as quais podem ocorrer em curtas distâncias, são devidas principalmente, aos fatores de formação e/ou intemperismo do solo (rocha matriz, clima, topografia, organismos e tempo) atuando com diferentes intensidades. Por exemplo, os solos da zona sul da República Dominicana apresentam uma grande variabilidade quanto à profundidade dos seus horizontes e outras características.

## Pachamama, ou "Mãe Terra"

Os povos indígenas quechuas, aimaras e outras etnias da região andina, realizam desde os tempos ancestrais, oferendas em homenagem à Mãe Terra ou Pachamama (em línguas indígenas, *Pacha* significa "terra", "mundo" ou "cosmos" e *mama*, "mãe"). É o centro do sistema de crença e de atuação ecológica-social entre os povos indígenas da região dos Andes Centrais.

Existe numerosas festas em homenagem à Pachamama ao longo do ano, mas Agosto é o mês dedicado à Mãe Terra. Segundo a crença, após a colheita a terra descansa e desperta em Agosto com fome. Para que ela não coma as sementes de plantio, que se inicia em 21 de agosto, deve-se alimentá-la simbolicamente. Durante todo o mês, os povos andinos lhe fazem oferendas, com o significado de devolver de maneira ritual, o que lhes deu ao longo do ano: alimentos, água, coca, chicha e vinho, entre outros. Além disso, é uma oportunidade para pedir prosperidade e saúde para o resto do ano.

É o cultivo da terra que marca o ritmo de vida dos indígenas. Honrar a Pachamama é uma tradição profundamente enraizada no campo, embora nas últimas décadas tenha atingido também as cidades.



Representação de Pachamama num mural, no centro de Bogotá, Colômbia. (CG)



As trincheiras ou perfis de solo, são uma das técnicas de prospecção usadas para facilitar o estudo dos solos. São escavações de pequena a média profundidade, realizadas normalmente com o uso de uma pá ou com retro-escavadeira. (CG)

(1) vide "Con los pies en la Tierra. Guía simplificada de la Convención de Lucha contra la Desertificación, para saber por qué es necesaria y qué tiene de importante y diferente". CCD, AEI, 1995.

## A importância do solo

O solo é um importante recurso natural, com grande influência no meio ambiente, na economia local, regional e mundial, e dele depende em grande medida, a sobrevivência e o bem-estar da população atual e das gerações futuras. Além disso, como a sua recuperação é muito lenta, o solo deve ser considerado como um recurso não renovável e cada vez mais escasso, ser devido ao fato de estar submetido a constantes processos de degradação e destruição de origem natural ou antrópica.

Ao dispor da maior extensão de solos melhor conservados do mundo, a América Latina constitui na atualidade, uma zona de alta importância para diversas funções, como a conservação da biodiversidade e dos aquíferos —o maior do mundo encontra-se no Brasil—, além da produção agropecuária para exportação. A seguir descreve-se as funções mais importantes do solo:

### Produção de biomassa

Entre as várias funções atribuídas ao solo, a produção de biomassa em geral, e de alimentos em particular, é umas das mais importantes. Segundo o Anuário Estatístico 2007-2008 da OECD-FAO [9], o solo fornece (diretamente ou indiretamente), mais de 95% da produção mundial de alimentos.



Arrozais de Castañuela, Monte Cristi (República Dominicana), em um entorno florestal, favorecendo a diversidade da paisagem. (PNR)

Devido à abundância de solos, os solos da América Latina terão certamente, uma contribuição fundamental para abastecer de alimentos, uma população humana em contínuo crescimento no mundo. Apesar disto, no seio da comunidade científica, existem aqueles que são contra a expansão da superfície de cultivo na região, defendendo que muitos dos solos da ALC apresentam sérias limitações para a exploração agrícola (por exemplo, são demasiado rasos, demasiado húmidos, muito secos ou pobres em nutrientes).

As variações nos mercados resultam num forte impacto sobre as práticas agrícolas, de modo que o aumento recente da expansão das terras agrícolas tem sido acompanhado por uma mudança de tipos de produtos cultivados. Deste modo, embora a produção de alimentos básicos seja primordial tradicionalmente, e importante para a segurança alimentar, que é hoje um tema que vem ganhando cada vez mais importância tanto na ALC como em âmbito mundial, a maior parte da região está transformando a sua produção agrícola para responder a um novo modelo econômico que favorece o comércio. A produção agropecuária destinada à exportação desempenha um papel vital nas economias de muitos países na ALC, como é o caso da Argentina e Brasil.

Simultaneamente, evidencia-se uma debilidade crescente da capacidade da região para a produzir alimentos básicos, uma vez que a maioria destes são destinados à exportação.

### Suporte das atividades humanas e fonte de matérias-primas

Os solos próximos às cidades se revalorizam rapidamente quando se convertem em terrenos urbanizáveis, sobre os quais se desenvolvem atividades industriais, zonas residenciais, infraestrutura turística, construção de estradas ou depósitos de resíduos sólidos, entre outros. Além disso, o solo é uma fonte de matérias-primas, tais como turfa, cascalho, areia, argila ou rochas, destinadas à construção.

### Sequestro ou captura de carbono

O solo possui um grande potencial como sumidouro de carbono. O sequestro ou captura deste elemento reduz o efeito estufa e as possíveis mudanças climáticas no nosso planeta. Isto é possível graças à absorção do dióxido de carbono da atmosfera pelas plantas, que é convertido em matéria orgânica, sendo uma parte desta, retida e acumulada no solo. Conforme o tipo de ecossistema, o carbono é armazenado principalmente na cobertura vegetal (como acontece nas florestas tropicais), ou no solo (por exemplo, nas pradarias).

No contexto das futuras estratégias de mitigação das mudanças climáticas, a América Latina é considerada uma região importante em termos de captura de carbono. Isso deve-se principalmente ao fato que 60% das florestas tropicais do planeta encontram-se neste continente. Em 2006, a FAO [10] publicou que o estoque de biomassa do planeta nas florestas correspondia a 529,5 gigatoneladas de carbono. Deste total, as florestas da América Latina e Caribe armazenam 170 gigatoneladas. Quando este número é ponderado pela área, observa-se que a América Latina e o Caribe armazenam 32% do carbono existente nas florestas do planeta, numa área que é de apenas 15% da superfície terrestre. Isto ilustra a importância das florestas como fontes globais de armazenamento de carbono, não só para os habitantes da ALC, mas também para o resto do planeta. Segundo os dados da FAO de 1996, as taxas de sequestro de carbono para a América Latina são mais altas que as da América do Norte.

O potencial de sequestro de carbono para a América Latina é de 0,1 a 0,2 Pg C/ano, contando com a Amazônia e se forem adotadas medidas adequadas com relação à gestão do território nas ecorregiões do Cerrado, Llanos e Pampas (p. ex. posio natural ou reflorestamento). Nestas regiões, diferentemente do que sucede na bacia amazônica, o maior potencial de acumulação de carbono reside no solo, mais do que na cobertura arbórea.

### Armazém de patrimônio geológico e arqueológico

Uma grande parte dos remanescentes que nos informam sobre o patrimônio humano e da história ambiental recente do nosso planeta, estão enterrados no solo, à espera de serem descobertos por arqueólogos e paleoecólogos. A função do solo de armazenar o patrimônio geológico e arqueológico, será de melhor qualidade quanto menos se deteriore o solo, ou seja, quanto menos se degrade as condições ambientais. O patrimônio geológico, por exemplo, se conserva melhor quanto menos intensos forem os processos de formação do solo e/ou os processos de degradação. Esta abordagem também pode ser aplicada ao patrimônio arqueológico; por exemplo, entre os fatores que mais influenciam a preservação deste patrimônio destacam-se a atividade biológica, a infiltração de água sazonal, o desmatamento ou a oxidação.

As paisagens atuais constituem a herança de processos climáticos, geomorfológicos e edafopedológicos, que a natureza tem moldado durante milhares ou milhões de anos. Sobre esses cenários, o homem desenvolveu numerosas atividades agrícolas, pecuárias, culturais e recreativas. Os solos preservam os lugares arqueológicos, registrando o momento de abandono do lugar através da cobertura destes com a adição de uma nova camada de solo. Isto permite a consolidação cronológica da paisagem, a gênese e a evolução de um novo solo.

### Reserva de água, filtro e ciclagem de nutrientes

O solo desempenha uma função fundamental no ciclo hidrológico, ao favorecer a captação e infiltração de água e, assim, a recarga dos aquíferos. Também interfere nos ciclos dos diferentes elementos químicos, assim como nas transformações de energia e resíduos materiais dos ecossistemas. A maior parte da energia armazenada pela matéria orgânica do solo provém da energia obtida do sol mediante a fotossíntese.

### Reserva de biodiversidade

O solo representa uma das reservas mais importantes de biodiversidade. A diversidade biológica no solo é maior do que a que existe sobre ele, e é vista como a última fronteira para a investigação da biodiversidade na superfície terrestre.

No entanto, os estudos sobre a biodiversidade do solo são escassos ou inexistentes, especialmente nas regiões menos exploradas do planeta.

A maioria dos organismos do solo ainda são desconhecidos: estima-se que a fauna atualmente descrita de nemátodos, ácaros e protozoários representam menos de 5% do número total de espécies existentes.

A relação entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema é particularmente evidente no solo. Os solos fornecem um grande número de serviços ecossistêmicos, graças às comunidades complexas de organismos que habitam neles. A biota do solo contribui direta ou indiretamente com a ciclagem dos nutrientes e a decomposição da matéria orgânica, a formação da estrutura do solo e o controle do regime hídrico.



Ruínas arqueológicas da cultura maia, construídas sobre solos calcários. Tulum, Yucatán, México. (CG)

## O solo e a água

A *infiltração* é o processo físico que implica no movimento de água através da superfície do solo. A capacidade de infiltração da água está relacionada com a porosidade (a quantidade de espaço dentro do solo) e a permeabilidade (a capacidade do solo para ser atravessado por líquidos). Por sua vez, esses fatores são determinados pela textura e estrutura do solo, pelo conteúdo de umidade inicial, pela composição e capacidade de expansão dos minerais de argila, os quais podem causar fendilhamentos. A água que se infiltrou no solo, pode ser liberada através da evapotranspiração ou através de fluxo subsuperficial.

A *percolação* define a passagem lenta de um fluido através de um material poroso, neste caso, o movimento de água através do solo, como consequência da gravidade e de forças capilares. A zona do solo em que os poros se encontram saturados com água, é onde se acumulam as águas subterrâneas. Estas podem mover-se tanto vertical como horizontalmente. O limite superior da zona saturada de água é conhecido como lençol freático.

Quando o lençol freático atinge a superfície, a água brota de maneira natural, através de fontes nas encostas ou nos fundos dos vales (nascentes). As águas subterrâneas alimentam o fluxo de base de rios e córregos durante os períodos secos.



A única fonte de água doce que dispõe a Península de Yucatán (México) são as suas águas subterrâneas. Os cenotes são janelas abertas para estas águas. Alguns deles eram sagrados para os maias, há mais de 500 anos. (MVR)

## Do que é feito o solo?

O solo é composto de uma mistura complexa de partículas minerais e orgânicas que representam os produtos do intemperismo e dos processos bioquímicos. As rochas são fragmentadas pela erosão, enquanto que a vegetação e os organismos mortos transformam-se em matéria orgânica do solo. Além destes elementos sólidos, também encontramos líquidos e gases neste sistema complexo.

A fração líquida do solo está formada por uma solução aquosa de sais e íons mais comuns (p. ex., Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>) e por uma ampla série de compostos orgânicos. Esta fase líquida do solo desempenha um papel importante no sistema, como veículo das substâncias químicas. Os poros e as fendas do solo abrigam a fração gasosa, constituída principalmente pelos gases atmosféricos, embora com uma maior concentração de dióxido de carbono do que o existente na atmosfera. Isto se deve ao metabolismo respiratório dos seres vivos do solo, incluindo-se as raízes e os fungos. Também podem aparecer gases como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ambos comuns nos solos mal drenados.

### Textura e estrutura do solo

A textura do solo descreve a proporção das partículas minerais presentes no solo em função do seu tamanho [11]. As principais classes de partículas, seguindo a classificação da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) são: argila (<0,002 mm), silte (0,002-0,63 mm) e areia (0,063 - 2,0 mm). O valor dos tamanhos para cada classe, pode variar entre os países, de acordo com suas classificações. As partículas de areia são por sua vez, subdivididas em grossa, média e fina.

A estrutura do solo diz respeito ao modo de arranjo ou disposição física das partículas do solo (também chamadas agregados) e o espaço entre elas. A estrutura do solo tem uma grande influência no movimento da água e ar, e também no crescimento das raízes. Ela depende de fatores tais como o material parental, a mineralogia, a atividade biológica, as condições ambientais, o manejo do solo e a quantidade de argila e matéria orgânica do solo.

### O solo visto “de perfil”

Se cavarmos um buraco no chão e observamos a seção vertical que aparece, tem-se o “perfil”

do solo. Neste, encontramos na maioria dos casos, uma série de camadas mais ou menos paralelas à superfície. Estas camadas são denominadas “horizontes” e são o resultado de processos geológicos, químicos e biológicos atuando sobre o material parental durante o ciclo de vida do solo. Os solos relativamente jovens, como os que se originam a partir de sedimentos de rios, dunas ou cinzas vulcânicas, possuem horizontes pouco diferenciados ou mesmo, nem tê-los. À medida que a idade do solo aumenta, os horizontes são geralmente mais fáceis de serem observados (há exceções como por exemplo, nos solos tropicais e nos permafrost).

A maioria dos solos apresentam geralmente, três ou quatro horizontes (podem ter mais ou menos) definidos pela cor, textura, estrutura, teor de matéria orgânica e presença de carbonatos (suas características químicas podem ser medidas em laboratório). Alguns solos apresentam mudança gradual de um horizonte a outro, enquanto que em outros solos essas transições entre os horizontes variam de forma mais abrupta.

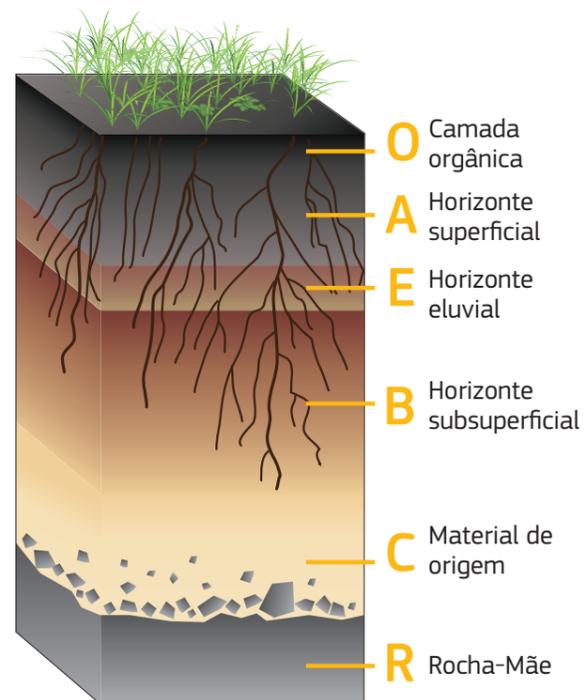
A identificação e descrição dos horizontes de um perfil de solo, é uma parte importante do estudo dos solos para sua classificação. Nestas, os horizontes principais são representados com uma letra maiúscula, geralmente seguida de vários caracteres alfanuméricos, indicadores das características do solo.

### O que se entende por solo pesado ou leveiro?

Os termos pesados ou leveiro são utilizados no contexto agrícola. Referem-se à facilidade com que se pode trabalhar um solo, o que por sua vez, depende da textura. Os solos pesados contêm uma maior proporção de argila ou partículas de silte e retêm mais umidade que os solos com partículas maiores, como a areia. Consequentemente, os solos de textura argilosa são mais difíceis de serem arados do que os solos de textura arenosa ou leveira.

### O ABC dos solos

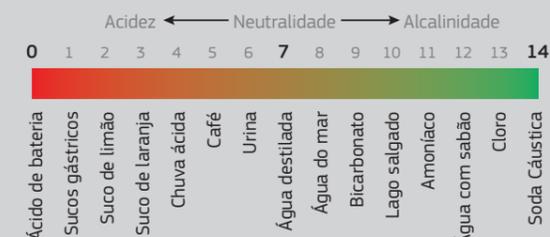
Ao examinar um perfil de solo, normalmente encontramos detritos vegetais na camada superficial, também designada de horizonte orgânico (“horizonte O”). Sob o horizonte O, costuma aparecer uma camada escura que contém uma mistura de matéria orgânica e minerais. Este horizonte, identificado com a letra A, contém a maior parte da matéria orgânica do solo (daí sua cor mais escura). É nesse horizonte onde acontece a maioria dos processos biogeoquímicos (crescimento da biomassa, decomposição dos resíduos orgânicos e liberação de nutrientes, formação de ácidos orgânicos e reações destes com os minerais). Se essa camada superficial do solo é removida por causa da erosão ou da atividade humana, com ela desaparece a maior parte do potencial ecológico dos solos. Embora esta camada superficial do solo possa regenerar-se ao longo do tempo, pode ser necessário centenas ou milhares de anos para que seja recuperada sua condição original (o que nem sempre é possível!). Abaixo da camada superior do solo (horizontes O e A), encontra-se o subsolo mineral, composto por uma ou mais horizontes de cores brilhantes, identificados pela letra B. Em todos os solos, exceto nos Podzols, os horizontes B são os mais pobres em matéria orgânica do que o horizonte superficial (daí sua tonalidade diferente) A cor marrom, amarela ou avermelhada desse horizonte, indica a sua origem a partir de óxidos de ferro ou minerais de argila, enquanto que tons cinza ou verde azulados evidenciam uma formação desse horizonte sob condições de redução (excesso de água). Ao avançar na profundidade, a estrutura do solo tende a ser menos evidente, à medida que diminui a influência dos fatores formadores e a matéria orgânica. É então quando encontramos a camada identificada como horizonte C. Este horizonte se encontra geralmente, acima da rocha dura e as suas características diferem muito daquelas dos horizontes precedentes, A e B. Pode conter fragmentos da rocha subjacente. Por último, denomina-se horizonte R, a camada de rocha mais dura, abaixo do solo.



Este perfil teórico esquemático, ilustra os horizontes mais importantes do solo e a sua relação com o material de origem ou parental, o desenvolvimento de raízes e os processos formadores do solo. O horizonte E ocorre em solos minerais, quando os materiais argilosos, ferro e alumínio, foram destruídos ou lavados para camadas mais profundas pela água de percolação. Os horizontes E costumam ser de tonalidades mais claras e de textura solta. Podemos encontrar também horizontes I (presença de fragmentos de gelo), L (sedimentos depositados num corpo d'água) e W (presença de lâminas de água). (LJ)

### O que é o pH?

Os solos podem ser divididos segundo o seu valor do pH (potencial de Hidrogênio), em ácidos ou básicos (alcalinos). O índice de pH é um número que indica o grau de acidez e baseia-se na concentração de íons de hidrogênio numa solução. O pH do solo é medido através da mistura de uma amostra de solo com água deionizada, KCl ou CaCl. A escala de pH varia de 0 a 14, embora os solos apresentem tipicamente, valores entre pH 4 e 8. Um solo neutro apresenta um pH de 7. Os índices de pH dos solos alcalinos variam de 8 a 11 (fortemente alcalino), enquanto que os solos fortemente ácidos possuem valor de pH inferior a 4.

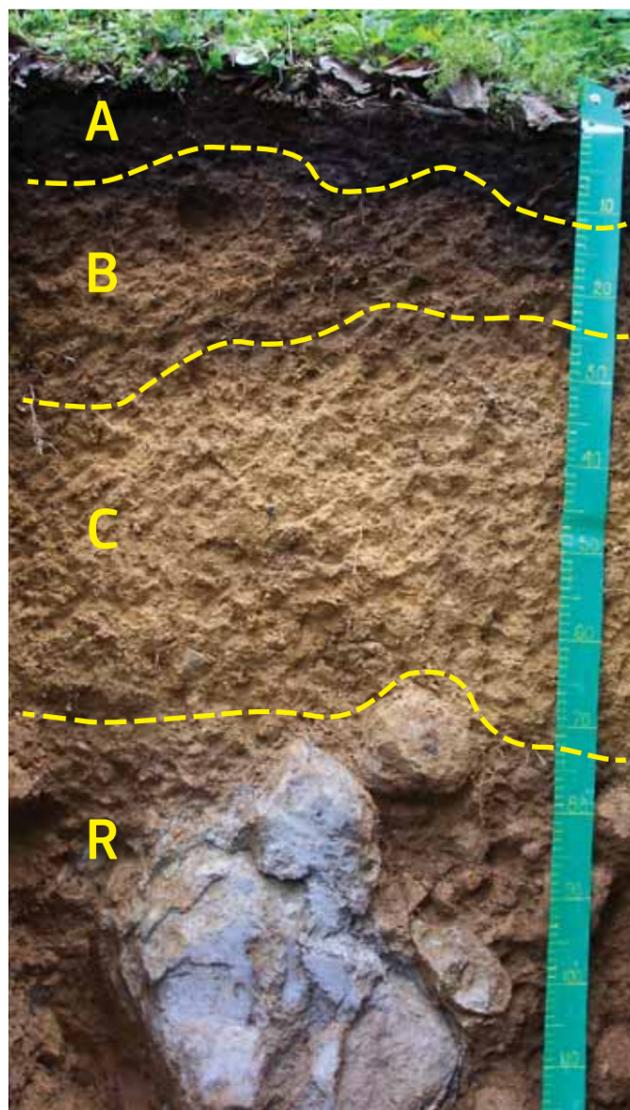


### O pH e a cor das flores

As hortênsias (gênero *Hydrangea*) podem possuir flores rosas, brancas, ou azuis, de acordo com o pH do solo. Nos solos relativamente ácidos (pH entre 4,5 e 5) as flores são azuis, enquanto que nos solos menos ácidos (pH entre 6 e 6,5) adquirem a cor rosa e nos alcalinos (pH ao redor de 8), as flores são brancas.



A cor azul das hortênsias está relacionada com a presença de potássio, ferro e alumínio no solo, enquanto que as altas concentrações de fósforo e nitrogênio favorecem as tonalidades rosadas e vermelhas. (F)



A foto ilustra um Andosol úmbrico (em Nayarit, México), com a clássica sequência de horizontes (A,B,C). O horizonte C (28-69 cm) é de cor amarela pálida, originado do intemperismo da rocha andesita (R), que aporta o material mineral necessário para o desenvolvimento dos horizontes A e B. O horizonte superior (0-12cm), denominado A, tem uma cor mais escura, como consequência de um alto conteúdo de matéria orgânica, principalmente nos primeiros 10 cm de espessura. Abaixo deste horizonte situa-se o horizonte B (12-28cm), de cor parda amarelada, devido ao enriquecimento das argilas com materiais de ferro, alumínio, silício e cinza vulcânica. Em geral, o horizonte orgânico (O), de espessura variável, encontra-se acima do horizonte A (ausente quando o solo é arado). (CSA)

## De onde vêm os solos da ALC? – fatores de formação do solo

As características do solo podem variar de maneira considerável de um lugar para o outro, como se pode observar nas imagens à direita. A seguir, são descritos os principais fatores de formação dos solos, que determinam as propriedades dos mesmos.

### A origem da Pedologia

Vasili Vasilievich Dokucháyev, considerado o pai da Pedologia, era um destacado geógrafo e geólogo russo, e a primeira pessoa que propôs que as variações geográficas nas características do solo estavam também relacionadas com as variações climáticas e topográficas, assim como com fatores geológicos (material de origem ou rocha matriz). As suas ideias foram desenvolvidas por outros cientistas, como Hans Jenny, que em 1941 publicou o seu trabalho de formação *“Fatores de Formação do Solo”* (*Factors of soil formation*) onde estabeleceu que as propriedades observadas no solo eram resultantes da interação de muitas variáveis [12]. As mais importantes são: material originário (material de origem ou rocha matriz), clima, organismos vivos, especialmente vegetação, topografia ou situação na paisagem e tempo. Jenny expressou essa relação através da seguinte equação denominada c.l.o.r.p.t:

solo = f (clima, organismos, relevo, material parental ou de origem, tempo...)

Deste modo, as variações no material de origem, clima ou idade do solo, determinam as suas propriedades específicas. Por exemplo, o intemperismo de uma rocha matriz sólida através dos ciclos de aquecimento-resfriamento ou gelo-degelo (determinados pela topografia e pelo clima), dão lugar a uma matriz de fragmentos de rocha conhecida como regolito. Se a alteração for contínua, os fragmentos irão formar sedimentos mais finos, contendo minerais cristalinos que provenientes da rocha. Estes sedimentos de textura fina apresentam condições favoráveis para a germinação de sementes e para o estabelecimento de líquens e musgos. O crescimento da vegetação é favorecido pela decomposição do material mineral em moléculas ou componentes servirão de nutrientes às plantas. Depois que as plantas tenham se estabelecido com êxito, as folhas mortas irão cair sobre a superfície e contribuir para a formação de camadas finas de matéria orgânica, as quais irão alimentar o próximo ciclo de crescimento da planta. Com o passar do tempo, o material originário vai sendo coberto com as camadas de matéria orgânica, permitindo assim que se estabeleçam plantas de maior porte. O grau do declive e a orientação irão determinar a drenagem e o aporte e/ou remoção do material. Deste modo, forma-se um solo com propriedades que refletem a interação entre vários fatores.

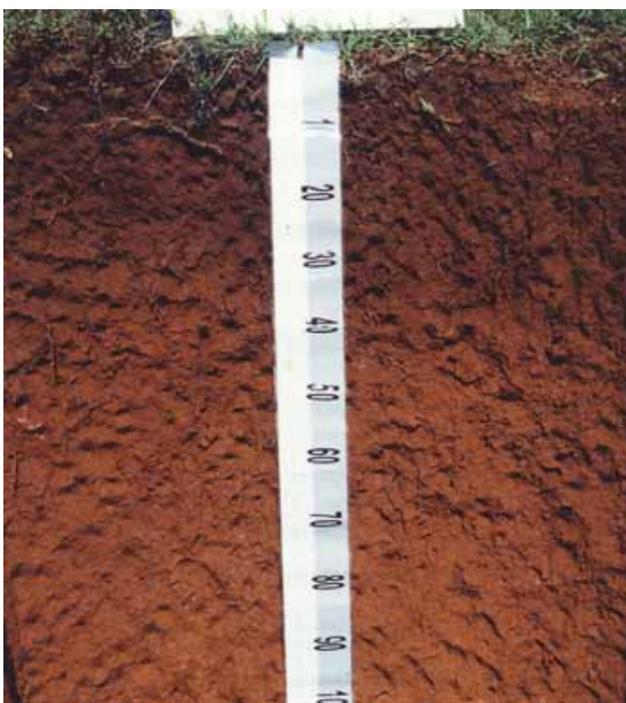
No entanto, se as condições climáticas mudam, o intemperismo pode ser diminuído e, juntamente com ele, o fornecimento de material parental e a liberação de minerais. Por outro lado, sob outras condições climáticas também poderá se desenvolver uma vegetação mais exuberante, aportando maiores acumulações de matéria orgânica ao solo e permitindo o desenvolvimento de camadas mais profundas. Em ambos os casos, as características finais do solo seriam distintas.

Apesar de que os princípios básicos da formação do solo, descritos anteriormente, sejam plenamente aceitos hoje em dia, existem algumas controvérsias a respeito das interrelações dos fatores de formação do solo. O clima tem uma clara influência sobre os organismos vivos, os quais são parte dos processos de formação do solo. No entanto, em certas ocasiões o microclima encontrado na superfície do solo, é muito diferente do clima regional. O microclima pode estar determinado pela topografia, a qual resulta do efeito combinado do clima com a geologia subjacente.

Um fator adicional importante que não deve ser ignorado é a influência das atividades humanas. Os processos e características do solo podem ser fortemente alterados como resultado do manejo e do uso do solo. A remoção da vegetação natural ou a drenagem ou fertilização química do solo, são apenas alguns exemplos de intervenções humanas que podem alterar as propriedades do solo.

### A menor unidade do solo

O *pedon* é a menor unidade tridimensional para o estudo do solo, e não deve ter menos de 1 m<sup>2</sup>, para poder permitir a observação da variabilidade lateral.



Nestes três exemplos de perfis de solos, pode-se observar características distintas do solo, produto da interação entre os diferentes fatores de formação. A imagem acima mostra um solo profundo, de textura grosseira, rico em ferro, desenvolvido sob clima tropical. Por encontrar-se numa planície, sob inundação periódica, desenvolve um padrão característico mosqueado abaixo dos 100 cm. (CCG)



Na imagem acima observa-se um solo de textura fina com alto teor de argilas expansíveis, oriundas da alteração da rocha-mãe (basalto). A cor cinza é um indicador da ausência de ferro. (CCG)



Este solo desenvolveu-se sobre sedimentos ricos em calcário sob um clima árido. Igualmente aos anteriores, encontra-se num terreno predominantemente plano. As variações fundamentais, em comparação com os outros exemplos, devem-se às diferenças nas propriedades do material de origem. (CCG)

## América Latina e Caribe

O termo América Latina e Caribe (abreviado neste atlas como ALC) é usado para designar todos os territórios do Hemisfério Ocidental que se estendem ao sul dos Estados Unidos. Estes territórios formam parte do continente americano, com uma extensão de cerca de 22 milhões de km<sup>2</sup> e com uma população de 577 milhões de habitantes. De norte a sul, encontramos primeiramente, a República Mexicana, seguida da América Central, região cercada pelos oceanos Atlântico e Pacífico e unida ao México pelo estreito de Tehuantepec. O canal do Panamá marca o extremo sul da região.

O Caribe é a região formada pelo Mar do Caribe, suas ilhas e as costas que o rodeiam. Localiza-se a sudeste do golfo do México e da América do Norte, a leste da América Central e ao norte da América do Sul.



Este mapa ilustra os principais elementos geográficos da ALC. (LJ)

A América do Sul é atravessada pela linha do equador na sua extremidade norte, ficando assim com a maior parte do seu território no Hemisfério Sul. Está situada entre os oceanos Atlântico e Pacífico, enquanto que delimita-se ao norte pelo Mar do Caribe e pela Antártida em seu extremo sul. Representa 42% do continente americano e é habitada por 6% da população mundial. O ponto mais alto da ALC é o Aconcágua (com 6.961 m de altitude), uma montanha localizada na Cordilheira dos Andes (Argentina). Os países localizados no denominado "Anel de Fogo do Pacífico" apresentam uns dos maiores níveis de sismicidade e vulcanismo do mundo, fenômenos relacionados entre si, que surgem como efeitos secundários, provocados pela convergência das placas tectônicas de Nazca e a placa Continental. O Chile tem a maior cadeia de vulcões no mundo, depois da Indonésia, com cerca de 2.000 vulcões identificados, sendo 500 potencialmente ativos e com várias erupções recentes.

## «América Latina»

- O termo "América Latina" faz referência ao sentido cultural e exclusivamente, aos países de língua espanhola e portuguesa do continente americano, incluindo Porto Rico, apesar deste ser um Estado Livre Associado aos Estados Unidos da América. O Haiti somente é incluído ocasionalmente, porque compartilha a ilha Espanhola com a República Dominicana.
- De acordo com a definição da Real Academia Espanhola, «América Latina» é o conjunto de países do continente americano onde são faladas as línguas romanas (castelhano, português e francês).
- Na América do Sul, existem dois países com outras línguas oficiais: holandeses (Suriname) e inglês (Guiana).
- Na região do Caribe existem seis línguas oficiais, que reflete a diversidade histórica e cultural da região, a saber: espanhol (Cuba, República Dominicana e Porto Rico), francês (Guadalupe, Haiti, Martinica, São Bartolomeu e São Martinho), inglês (Anguilla, Antígua e Barbuda, Bahamas, Barbados, Ilhas Virgens Britânicas, Ilhas Cayman, Dominica, Granada, Jamaica, Montserrat, Porto Rico, Saba, Santo Eustáquio, São Cristóvão e Névis, Santa Lúcia, São Martinho, São Vincent e Granadinas, Trindade e Tobago, Turcas e Caicos e Ilhas Virgens dos EUA), holandeses (Aruba, Bonaire, Curaçao, Saba, Santo Eustáquio e São Martinho), crioulo haitiano (língua oficial do Haiti) e papiamento (língua oficial de Aruba, Curaçao e Bonaire).

## 1. Material de origem

O material geológico inalterado representado geralmente pela rocha matriz ou por um material transportado e depositado, é conhecido como material parental ou de origem ou rocha-mãe. Este é composto por minerais, o quais podem estar consolidados ou não, que sofrem a ação de outros fatores ao longo do tempo, mantendo-se em parte inalterados e em parte, submetidos ao intemperismo físico, químico e biológico. A influência do material de parental como fonte de minerais é mais evidente nos solos jovens e menos nos solos mais desenvolvidos.

A composição mineralógica, a granulometria e a permeabilidade dos solos, são as características mais importantes originadas a partir do material de origem. Portanto, são a fonte mais clara de informação sobre a formação e evolução dos solos.

As rochas com maior conteúdo de minerais mais facilmente degradáveis, evoluem mais rapidamente do que as formadas por minerais estáveis como o quartzo. A granulometria e a porosidade do material parental marcam o ritmo do intemperismo e da edafização (formação do solo), uma vez que estão relacionados com a penetração e a circulação do ar e da água, acondicionando a fragmentação da rocha e os processos biogeoquímicos.



A imagem mostra um fragmento de basalto expulso (à esquerda), que é o material de origem do solo rico em argilas do tipo esmectita (à direita). A variação na cor reflete os diferentes minerais presentes em ambas as rochas. (CCG)

### Tipos de rochas

**Ígneas ou Magmáticas:** são formadas pela solidificação do magma e encontram-se na origem das demais rochas. Distinguem-se normalmente pelo seu conteúdo de quartzo, relacionado com o grau de acidez que apresentam. Alguns exemplos de rochas ígneas são o granito (ácido), a dolerita e o basalto (básico).

**Sedimentares:** formam-se na superfície da crosta terrestre, a partir de materiais depositados em camadas ou estratos. Denominam-se detríticas ou clásticas se forem originadas de fragmentos de outras rochas (p. ex. conglomerados e arenitos); evaporíticas, formadas pela concentração e precipitação de sais (p. ex. o gesso); orgânicas, formadas pelo acúmulo de restos de seres vivos (p. ex. dolomita) e por último, carbonáticas, formadas pela precipitação de sais de carbonato (p. ex. rocha calcária).

**Metamórficas:** são as rochas ígneas ou sedimentares que, sem chegar a fundir-se, foram submetidas a altas pressões e temperaturas, sofrendo como resultado, transformações mineralógicas e estruturais. Exemplos de rochas metamórficas são gnaisse (ácido) e mármore (básico).

### Os Arenitos colunares

As fraturas (diaclasses) em colunas, é um processo frequente nos basaltos, assim como nas áreas áridas ou em ambientes evaporíticos, onde os solos são argilosos e desenvolvendo fendas de dissecação na superfície, com tendência a adquirir formas geométricas.

Não obstante, em rochas arenosas, este tipo de formação é muito raro. Na imagem abaixo ilustra-se um exemplo no Paraguai. Estas formações manifestam-se em vários países do mundo (p. ex., Israel, Líbia, Alemanha ou Escócia).



Diaclise colunar, Paraguai. (AER)

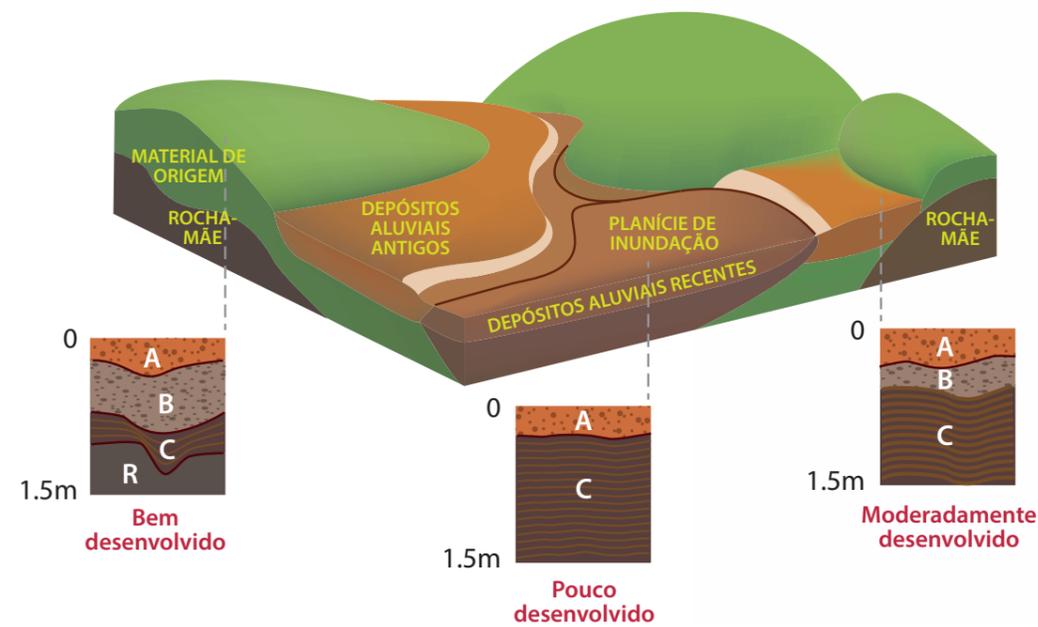


O mapa ilustra a litologia superficial da ALC. Esta é formada por rochas (material mineral consolidado) e por depósitos ou materiais não consolidados (coluvial, eólico, fluvial, glacial, lacustre, marinho e orgânico). A categoria piroclástica engloba o material consolidado (p. ex. lavas) e não consolidado (p. ex., cinzas vulcânicas). (ISRIC /JRC)

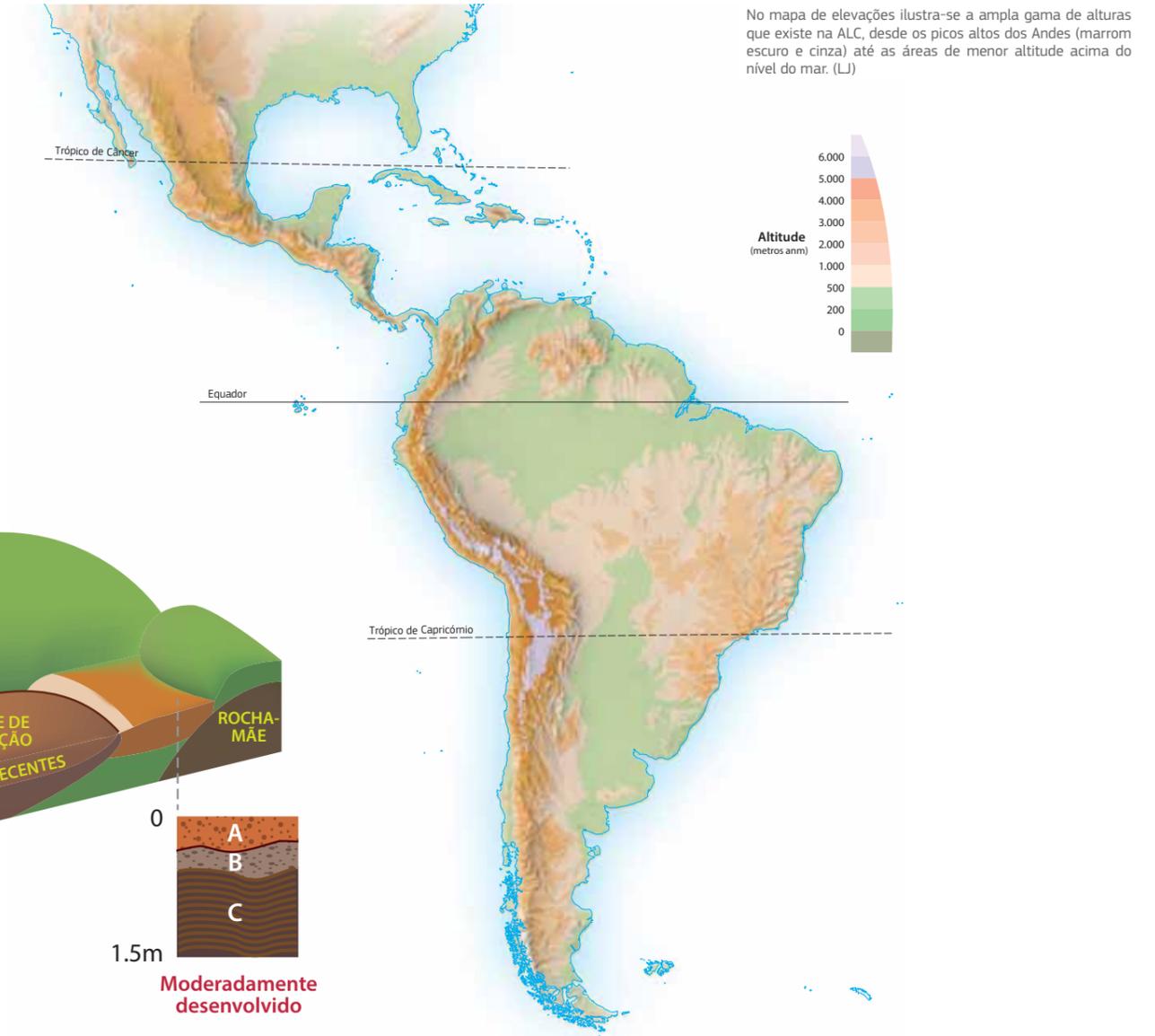
## 2. Relevo

A expressão do relevo é outro fator fundamental na formação dos solos. A pedogênese influencia o relevo e vice-versa. Relevo também afeta o clima, podendo haver grandes mudanças nas condições climáticas entre as regiões, com distintas formas de relevo. O relevo igualmente, determina variações no padrão de distribuição da vegetação.

Do ponto de vista edáfico, os elementos do relevo mais importantes são, a pendente e o comprimento das vertentes, a posição fisiográfica e a orientação. Os processos de erosão e acúmulo (o transporte de sedimentos, tanto vertical como lateral pelo fluxo de água) também estão relacionados com as características topográficas. O relevo determina especialmente, a quantidade de água que é infiltrada, circulada e acumulada nos solos e, por sua vez, a ação da água condiciona grande parte dos processos de pedogênese. Além disso, o relevo, juntamente com o clima, determina as características dos solos e da vegetação.

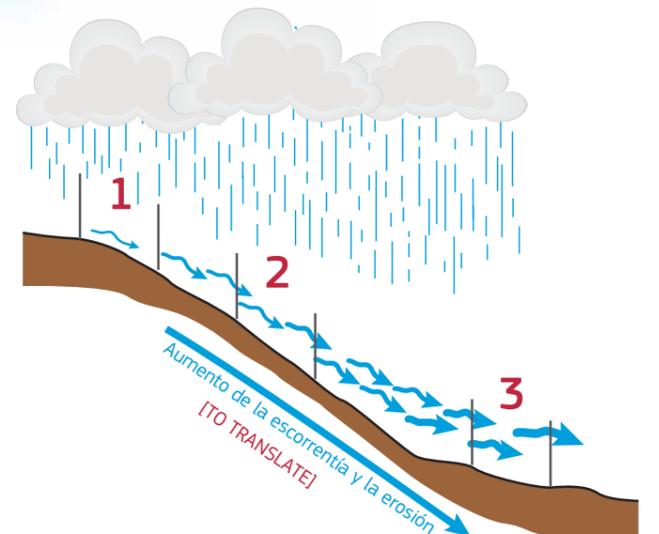


**Acima:** O gráfico ilustra a relação entre a topografia e o desenvolvimento do solo. Os solos de materiais aluviais recentes mostram um desenvolvimento menor do que os solos em outro tipo de material de origem. (USDA)



No mapa de elevações ilustra-se a ampla gama de alturas que existe na ALC, desde os picos altos dos Andes (marrom escuro e cinza) até as áreas de menor altitude acima do nível do mar. (LJ)

**Direita:** A posição na vertente determina as características do solo. Os solos situados nas posições superiores não estão afetados pela erosão hídrica (1), enquanto que os solos da parte mais acentuada do declive estão sujeitos à erosão hídrica muito intensa (2). As partes mais baixas (3) recebem mais água e maior deposição de sedimentos: a erosão ocasionalmente comporta-se como um fator de formação do solo, transportando o material de origem e depositando-o no sopé das encostas. (JRC/LJ)



**Abaixo:** Série de perfis que ilustram as variações nas características dos solos, de acordo com os principais fatores pedogenéticos (por exemplo, paisagem, relevo, clima). Ver página 58-59 para a explicação sobre o nome dos solos. Por exemplo, LVhu = Haplic Luvisols (Humic). (CGC)

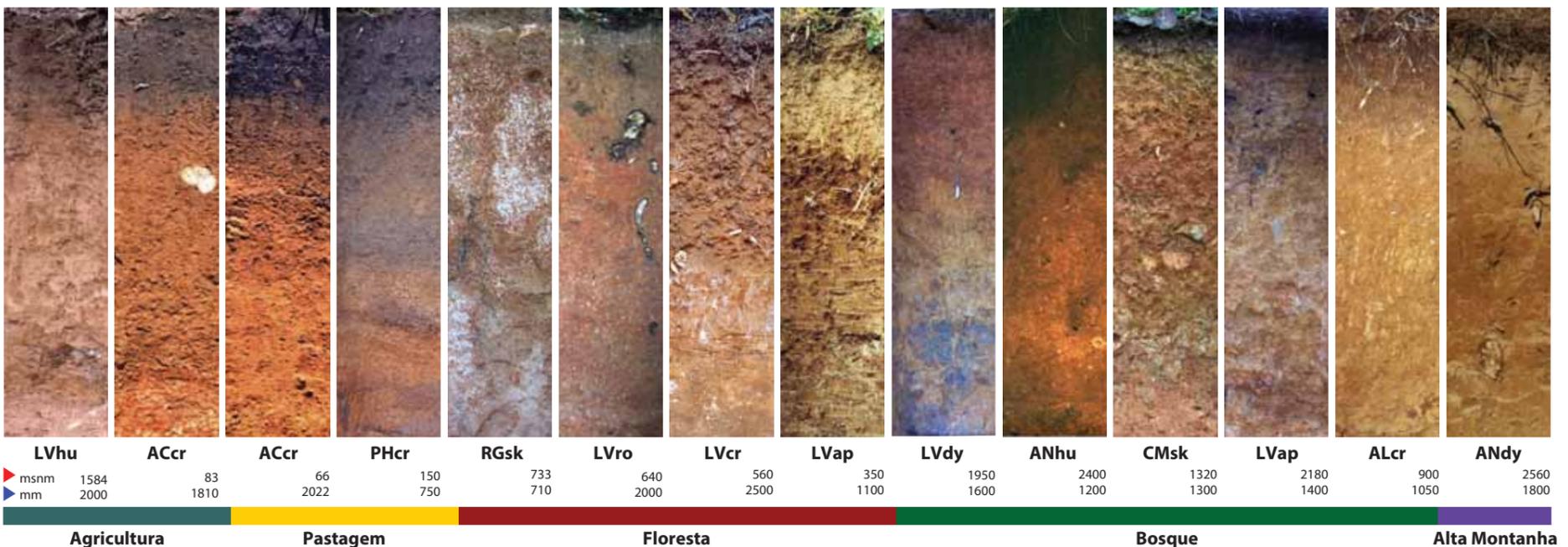
### A catena de solos

A *Catena* provém do latim e significa cadeia. É utilizada para descrever a sequência de solos encontrados numa mesma encosta onde o material de origem do solo é o mesmo.

Neste caso, o relevo é o fator dominante na formação do solo. Este determina principalmente, a espessura do solo e o movimento da água sobre ele. Explicado de maneira simples, as características de um solo no sopé de uma encosta podem ser muito diferentes daquelas de solos situados mais acima ou em zonas com declives mais acentuados.

A teoria da catena originou-se a partir de um estudo de identificação de solos (publicado em 1947), realizado entre 1935 e 1936, por um funcionário agrícola inglês, Geoffrey Milne, na atual Tanzânia (África).

O conceito da catena é frequentemente usado nos estudos de solos. No âmbito de conhecimento local, os agricultores indígenas já sabiam que a topografia determinava os diferentes tipos de solo.



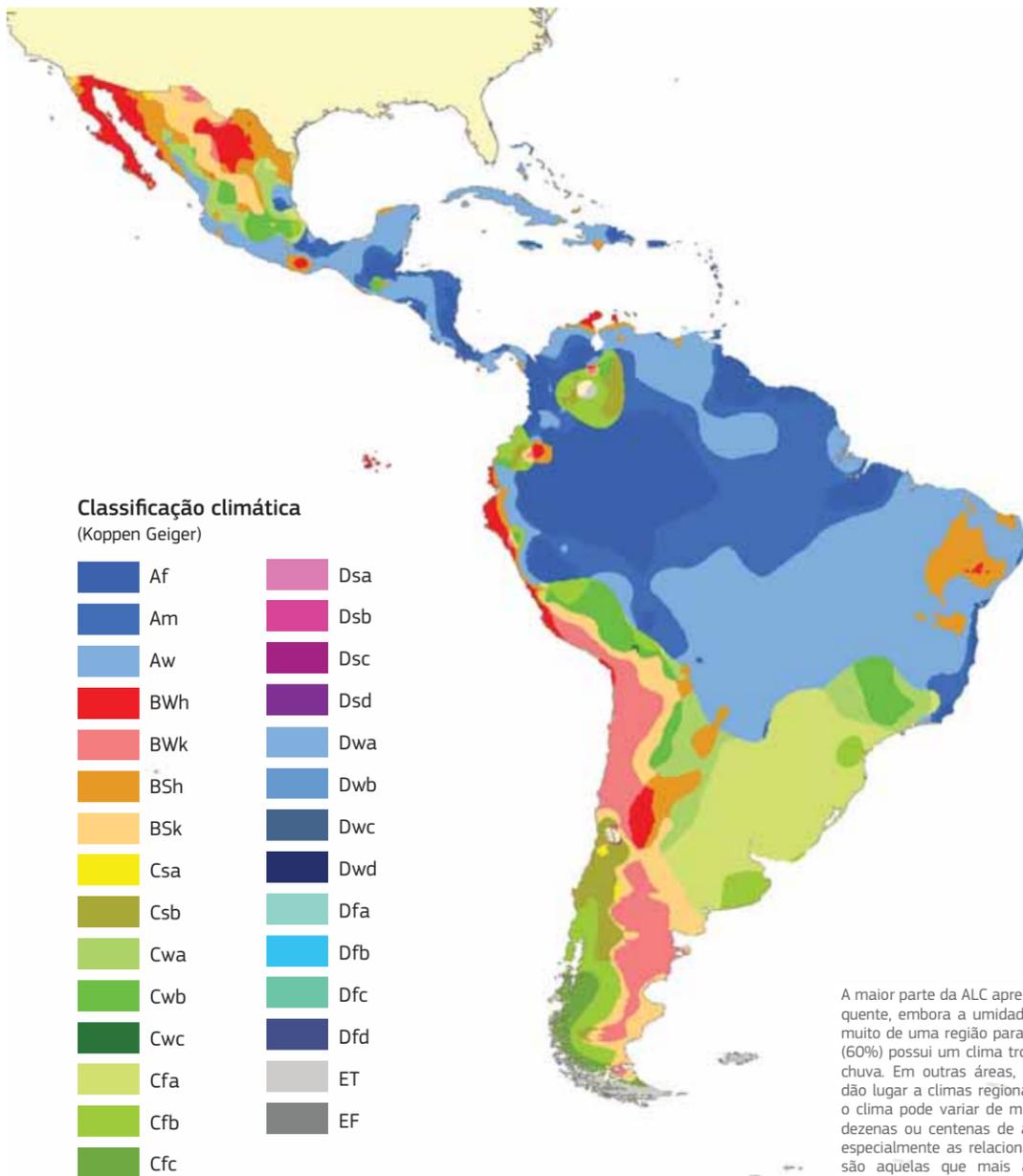
### 3. Clima

Os processos de intemperismo físico e bioquímico estão diretamente relacionados com o clima local. O clima muda ao longo do processo de formação do solo e sua influência pode ser constatada quando se observa um perfil de solo. A ação do clima na formação do solo é decisiva e tem a ver com o aporte de água para o solo e com a temperatura. Ambos os fatores, a umidade e a temperatura, influenciam os processos básicos de formação dos solos.

Por outro lado, o clima também influencia outros fatores que formam o solo, tal como os fatores bióticos (p. ex: a vegetação) e abióticos (o relevo). Sua ação conjunta condiciona o teor de matéria orgânica e o grau de evolução do solo. Assim, embora nos climas tropicais ou equatoriais, quentes e úmidos, se produza uma grande quantidade de matéria orgânica, esta se degrada rapidamente nessas condições ambientais e assim os solos das regiões temperadas apresentam geralmente um maior conteúdo de matéria orgânica e de melhor qualidade, do que os solos de clima tropical.

O teor de argila presente no solo aumenta com a precipitação pluvial e a temperatura (ambos favorecem a alteração dos materiais do solo). Mas também existe uma relação entre o tipo de minerais presentes e o volume de precipitação. O tipo e a quantidade de argila estão diretamente relacionados com a ação do clima sobre o material de origem. Os climas mais quentes e úmidos favorecem a formação de tipo de argilas consideradas minerais secundários, favorecendo também a formação de argilas tipo 1:1 (ver Glossário), como a caulinita e os sesquióxidos de ferro e de alumínio (ver página 24).

Por outro lado, as propriedades morfológicas e físicas dos solos relacionadas com o teor e a qualidade das argilas e a matéria orgânica (p. ex., cor, textura, estrutura e permeabilidade) também são influenciadas pelo clima. O mesmo acontece com a fração coloidal do solo, formada igualmente pela matéria orgânica e argilas, estando assim, sua capacidade de troca, diretamente relacionada com as condições climáticas (e, em consequência, a fertilidade dos solos).



A maior parte da ALC apresenta um clima temperado ou quente, embora a umidade e a precipitação variem de muito de uma região para outra. A ALC em sua maioria (60%) possui um clima tropical com 10 a 12 meses de chuva. Em outras áreas, a altitude e outras variáveis dão lugar a climas regionais diferentes. Regionalmente, o clima pode variar de maneira cíclica em períodos de dezenas ou centenas de anos. As mudanças no clima, especialmente as relacionadas com secas prolongadas, são aquelas que mais afetam o setor agrícola do continente, uma vez que a maioria dos cultivos precisam da água da chuva. As zonas áridas e semiáridas cobrem 14% da ALC [13]. (JRC)

#### Evapotranspiração

É a perda de água de uma superfície por evaporação direta do solo e pela transpiração da vegetação (devolvida para a atmosfera em forma de vapor). Expressa-se em mm por unidade de tempo.

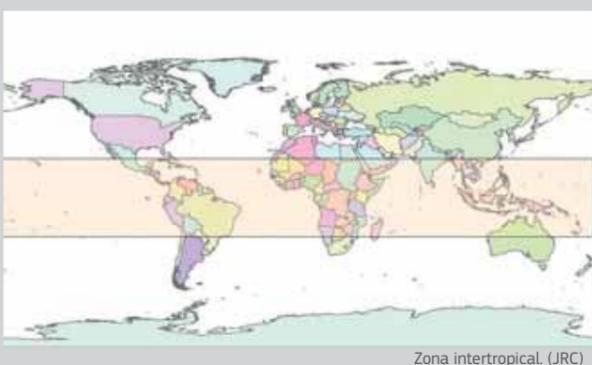
No mapa ilustra-se a classificação de Köppen Geiger para a ALC. Esta classificação estabelece as seguintes categorias: clima tropical (A), com temperatura média superior aos 18 °C todos os meses do ano e precipitações anuais superiores à evapotranspiração. Subdivide-se em: tropical e quatorial (Af), tropical de monção (Am), tropical com inverno seco (Aw) e tropical com verão seco (As); clima seco (B), onde as precipitações anuais são inferiores à evapotranspiração. Subdivide-se por sua vez em: semi-árido (BS, com as categorias semi-árido quente - BSh e semi-árido frio - BSk) e árido (BW, incluindo árido quente -BWh- e árido frio - BWk); clima temperado (C), no qual a temperatura média do mês mais frio está entre 18 °C e -3 °C, enquanto que no mês mais quente supera os 10°C e as precipitações superam a taxa de evapotranspiração. Este é subdividido em Cf (precipitações constantes), Cfa (subtropical sem estação seca, verão quente), Cfb (oceânico, verão suave), Cfc (oceânico subpolar), Cw (inverno seco), Cwa (subtropical com estação seca, verão quente), Cwb (temperado com inverno seco, verão suave), Cwc (oceânico subpolar com inverno seco), Cs (verão seco), Csa (mediterrâneo, verão quente), Csb (oceânico mediterrâneo, verão suave) e Csc (oceânico subpolar com verão seco), o

clima temperado continental (D) caracteriza-se porque a temperatura média do mês mais fria é menor que -3 °C e a do mês mais quente é superior aos 10 °C. As precipitações superam a taxa de evapotranspiração. Subdivide-se em: Df (precipitações constantes), Dfa (continental, sem estação seca), Dfb (semiboreal, sem estação seca, verão temperado, inverno frio), Dfc (subpolar sem estação seca, verão suave e curto e inverno frio), Dfd (subpolar sem estação seca, verão suave e curto e inverno muito frio), Dw (inverno seco), Dwa (continental com inverno seco e verão cálido, inverno frio), Dwb (inverno semiboreal seco, verão suave, inverno frio), Dwc (subpolar com inverno seco), Dwd (subpolar com inverno seco, verão suave e curto, inverno muito frio), Ds (verão seco), Dsa (continental mediterrâneo, verão quente, inverno frio), Dsb (semiboreal mediterrâneo, verão suave, inverno frio), Dsc (subpolar com verão seco, verão suave e curto, inverno frio), Dsd (subpolar com verão seco, verão suave e curto, inverno muito frio); por último o clima frio (E), caracteriza-se porque a temperatura média do mês mais quente é inferior a 10°C. A vegetação é geralmente escassa ou nula. Subdivide-se em ET (clima de tundra) e EF (clima polar).

#### Os trópicos

Os trópicos marcam zonas da Terra onde os raios solares incidem de maneira direta, pelo menos uma vez durante o ano solar. Esta zona delimita-se pelo Trópico de Câncer, situado aproximadamente a 23° 26' 16" N e com o Trópico de Capricórnio, a 23° 26' 16" S.

A região compreendida entre os dois trópicos é conhecida como a zona intertropical. Vale lembrar que as linhas dos trópicos são definidas por um conceito puramente matemático. Do ponto de vista biogeográfico, os trópicos podem estender-se para além dos paralelos de Câncer e de Capricórnio. Por exemplo, os vales médio e baixo do rio Paraná são subtropicais, embora formem parte da região biogeográfica neotropical que inclui a Patagônia e demais regiões austrais do continente.



Zona intertropical. (JRC)

#### El Niño e La Niña

A oscilação Sul do El Niño (também conhecida como ENSO, da sigla em inglês), origina o seu nome em homenagem aos marinheiros peruanos do século XIX, que relataram estas mudanças meteorológicas que aconteceram na época do Natal (o nascimento do "Niño" Jesus) ao longo da costa do oceano Pacífico na América do Sul. Durante este evento, a temperatura da água aumenta e se produzem chuvas em áreas normalmente secas. Já nos primeiros registros oceanográficos evidenciaram-se estes períodos de frio e calor no Oceano Pacífico.

O termo "El Niño" faz que, conseqüentemente, os episódios frios sejam conhecidos como "La Niña". Durante estes períodos, a temperatura da água ao longo da costa do oceano Pacífico da América do Sul diminui e se intensificam as condições de aridez. Em outras zonas da ALC, o El Niño pode provocar secas e inundações, com os conseqüentes impactos negativos ambientais, econômicos e sociais. Os episódios de La Niña costumam ter efeitos diferentes (normalmente opostos) aos do El Niño.

Os sinais de desenvolvimento do El Niño são: aumento da pressão superficial no Oceano Índico, Austrália e Indonésia, queda da pressão da atmosférica na zona central e oriental do oceano Pacífico, mudanças na direção ou enfraquecimento dos ventos alísios, aquecimento do ar na costa do Pacífico na América do Sul e o deslocamento da água temperada para a região do Pacífico oriental, o que resulta num aumento da precipitação na América do Sul e seca na região oeste do Pacífico.



A diversidade de paisagens ilustra a variedade de ambientes climáticos existentes na ALC. **Acima:** o altiplano boliviano, situado entre as montanhas da Cordilheira dos Andes a uma altitude de mais de 4.000 m.(RV); **Abaixo:** a exuberante Amazônia peruana. (JAO)



## Temperatura

O mapa à direita ilustra o padrão de distribuição da temperatura média anual (TMA) na ALC.

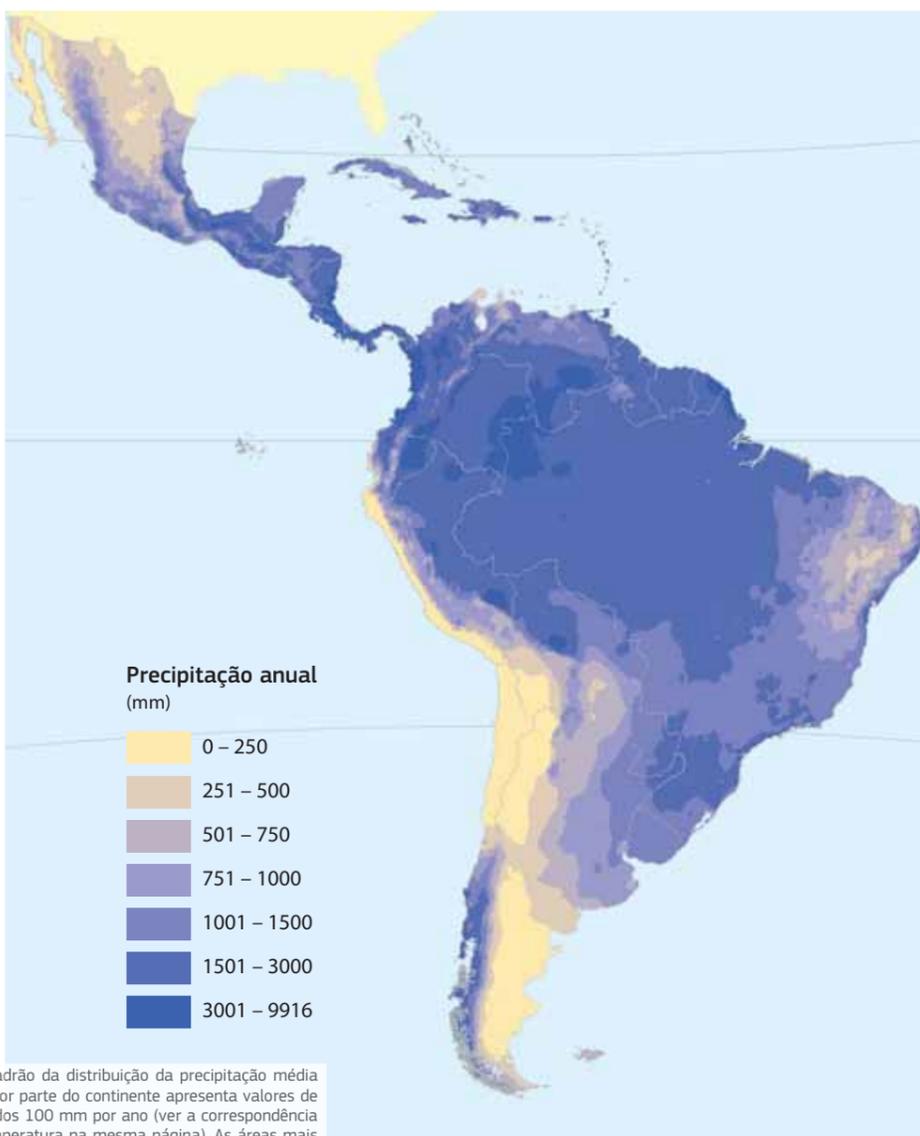
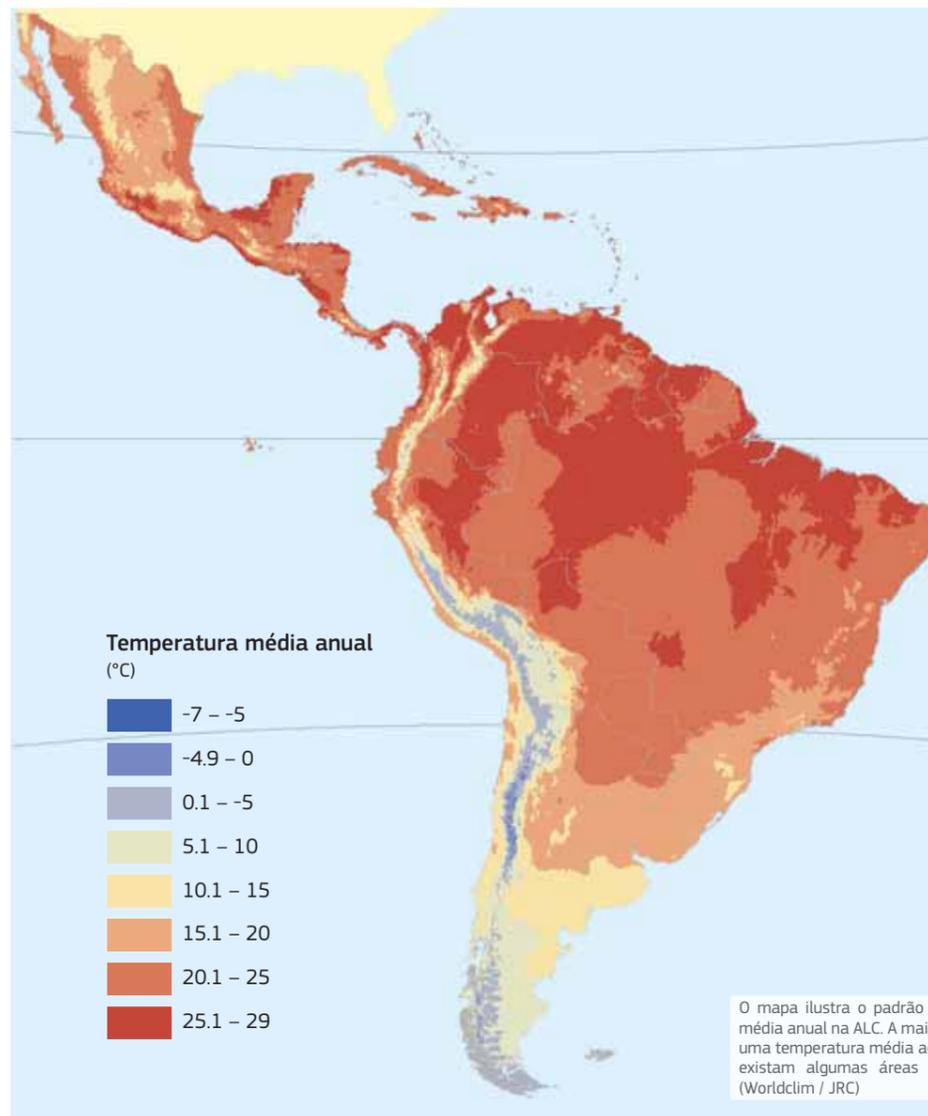
Os valores mais altos (vermelho escuro) ocorrem na Bacia Amazônica, nordeste do Brasil, Venezuela, Colômbia, norte do Peru e na América Central. A máxima temperatura foi registrada na *Baja Califórnia* (norte de México). No Delta de *San Luis Río Colorado*, México, em agosto de 1953 registrou-se 60°C (recorde não oficial). Vinte anos antes, também no México, em San Luis, foi registrado 58°C (136,4°F) em 11 de agosto de 1933. No norte do México ocorre a maior amplitude de regime de temperaturas na ALC, com uma variação de mais de 38°C do verão para o inverno. Na zona da *Ciudad Juárez*, as temperaturas no verão podem superar os 37°C, enquanto que no inverno, ocorrem temperaturas abaixo de zero.

Próximo ao Equador, as temperaturas não são excessivamente elevadas, ficando os valores médios diários entre 24 e 27°C durante todo o ano. A extensa cobertura de nuvens e as fortes chuvas, evitam que as temperaturas se elevem. A diferença diária entre a temperatura diurna e a noturna é de 2 a 5 °C maior do que o regime anual (2°C).

As regiões mais frias da ALC, em azul, situam-se na cadeia montanhosa dos Andes, especialmente nas zonas montanhosas situadas entre a Argentina e o Chile, Chile e Bolívia e o sul do Peru. Tanto as geadas como as neves são comuns nas serras mais altas e no sul do Chile e da Argentina. Existem numerosas geleiras como o Perito Moreno, um dos poucos no mundo que continua em fase de crescimento.

### Intemperismo e clima

Existem estudos que demonstram que as taxas de intemperismo nas áreas tropicais, onde a temperatura e a umidade apresentam valores muito elevados, são até 3,5 vezes maiores do que aquelas das zonas temperadas.



## Precipitações

O mapa da esquerda ilustra-se o padrão de distribuição da Precipitação Média Total Anual (PMA, em mm de chuva ou de água equivalente a neve). As precipitações se distribuem de forma muito irregular na ALC: o Deserto do Atacama é o lugar mais seco do mundo (PMA de 1mm). Outras áreas muito secas, com menos de 250 mm de PMA encontram-se ao norte do México, na costa peruana, ao norte do Chile, sudoeste da Bolívia, noroeste da Argentina e a Patagônia (sul da Argentina). Por outro lado, ao longo da costa do Pacífico, na Colômbia, foram registrados 8.000 mm de precipitação, pois corresponde a uma das zonas mais úmidas do planeta. Aliás, mesmo sem considerar os casos extremos, a maior parte da bacia do Amazônica registra mais de 2.000 mm/ano, e grande parte desta, especialmente na fronteira entre Colômbia e Brasil, excede os 3.000 milímetros/ano.

Através dos registros de precipitação entre no período 1960-2000, se pode analisar os padrões e tendências na quantidade de precipitação em forma de chuva. Por meio desta avaliação, foram detectadas mudanças (maior umidade) no Equador, no norte do Peru e na região que engloba o sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e o norte e o centro da Argentina, enquanto que foram observadas uma diminuição das precipitações no sul do Peru e no sul do Chile.

Em relação à formação do solo, as condições mais úmidas favorecem o intemperismo químico, elevam os níveis de matéria orgânica fresca e a lixiviação de minerais e matéria orgânica. Por outro lado, as chuvas fortes ou prolongadas podem levar a elevadas taxas de erosão nos solos saturados de água, enquanto que a falta de chuvas favorece a formação de crostas e a acumulação de sais, como acontece em muitos desertos com solos salinos na ALC.

### Recordes de precipitação

Em âmbito mundial, existem vários recordes de precipitação e a ALC possui pelo menos um deles. O recorde de maior intensidade foi registrado na região do Caribe, em Guadalupe, em 1970, quando caíram 38 mm de água em um minuto. O maior registro de precipitações em nível global, foi na Índia em 1860 (concretamente em Cherrapunji, 26.466 mm de chuva durante esse ano). Nesse país, também chegou registrou-se a maior precipitação total anual (ao nordeste, em Mawsynram com 11.872 mm). A intensidade da chuva está diretamente relacionada com um importante processo de degradação: a erosão hídrica.

## Regime de temperatura do solo

A temperatura é um fator determinante nos processos de formação do solo, na distribuição natural das plantas e no controle dos processos biológicos que ocorrem neste. Abaixo do ponto de congelamento não existe nenhuma atividade biológica e nem a água flui em forma líquida. Entre os 0 e 5°C o crescimento radicular e a germinação da maioria das sementes são praticamente inexistentes.

Cada *pedon* dispõe um regime de temperatura característico que pode ser medido e descrito. Este regime se caracteriza mediante os seguintes parâmetros: a temperatura média anual do solo (TMAS), as flutuações médias dessa média nas diferentes estações do ano; e o gradiente sazonal médio, frio ou quente na zona radicular (profundidade 5-100 cm). Os regimes térmicos do solo são:

- Gélido: solos com TMAS menor que 0°C. A temperatura média do solo no verão é de pelo menos 10°C.
- Cryico: solos muito frios (TMAS inferior a 8°C). Não apresentam permafrost já que não se encontram congelados ao longo do ano. Surgem nos Andes e no sul do Chile e da Argentina.
- Frígido\*: é mais quente no verão do que um solo com regime cryico, embora sua temperatura média anual não supere os 8°C. A diferença entre a temperatura média do solo no verão e no inverno é maior que 6°C.
- Isofrígido\*: a TMAS é inferior a 8°C, a diferença entre as temperaturas médias do solo no verão e no inverno é menor que 6°C.
- Mésico: a TMAS encontra-se na faixa de 8-15°C, a diferença entre a temperatura média do solo entre o verão e o inverno é maior que 6°C.
- Isomésico: a TMAS encontra-se na faixa de 8-15°C, a diferença entre a temperatura média do solo entre o verão e o inverno é menor que 6°C.
- Térmico: a TMAS encontra-se na faixa de 15-22°C; a diferença entre a temperatura média do solo entre o verão e o inverno é maior que 6°C.
- Isotérmico: a TMAS encontra-se na faixa de 15-22°C, a diferença entre a temperatura média do solo entre o verão e o inverno é menor que 6°C.
- Hipertérmico: a TMAS é superior a 22°C, a diferença entre a temperatura média do solo entre o verão e o inverno é maior que 6°C.
- Isohipertérmico: a TMAS é superior a 22°C, a diferença entre a temperatura média do solo entre o verão e o inverno é menor que 6°C.
- Megatérmico: a TMAS é superior a 28°C, a diferença entre as temperaturas médias do solo entre o verão e o inverno é maior que 5°C.
- Isomegatérmico: a TMAS é superior a 28°C, a diferença entre as temperaturas médias do solo entre o verão e o inverno é menor que 5°C.

\* (Não visível no mapa).



O mapa ilustra o padrão de distribuição dos regimes de temperatura do solo na ALC. Este fator é determinante como fator de formação do solo e nos processos biológicos que aí acontecem. A informação procede da bases de dados dos Regimes Globais da Temperatura do Solo (Global Soil Temperature Regimes) do Departamento de Agricultura de EUA (USDA), elaborado a partir dos dados de mais de 20.000 estações climáticas [16, 17]. (USDA / JRC). O regime megatérmico não aparece no mapa, devido à escala utilizada; ocorre unicamente em duas regiões muito pequenas situadas no México e no Paraguai. (USDA/JRC)

## Regime de umidade do solo

Os regimes de umidade do solo são baseados no nível do lençol freático e na presença ou ausência de água disponível para as plantas. Estes regimes afetam a formação do solo e o uso e manejo dos mesmos. As distintas classes de regime de umidade mostradas no mapa à esquerda são:

- Permafrost: o solo se encontra permanentemente congelado abaixo de 0°C durante dois ou mais anos.
- Árido: clima árido, normalmente seco. A irrigação dos cultivos é requerida. O solo permanece seco durante longos períodos.
- Xérico: semi-árido ou clima mediterrânico. Culturas de sequeiro se a água for armazenada no solo. Os solos podem ser úmidos no inverno mas no verão são secos.
- Údico: clima úmido - Os solos geralmente permanecem úmidos e normalmente a irrigação das culturas não é necessária.
- Ústico: clima semi-árido - A chuva ocorre durante a estação de crescimento. Geralmente secos no verão.
- Perústico: a precipitação excede a evapotranspiração todos os meses, mas o solo se fica saturado por longos períodos.
- Áquico\*: o solo permanece saturado por tempo suficiente para que ocorram condições anaeróbias.

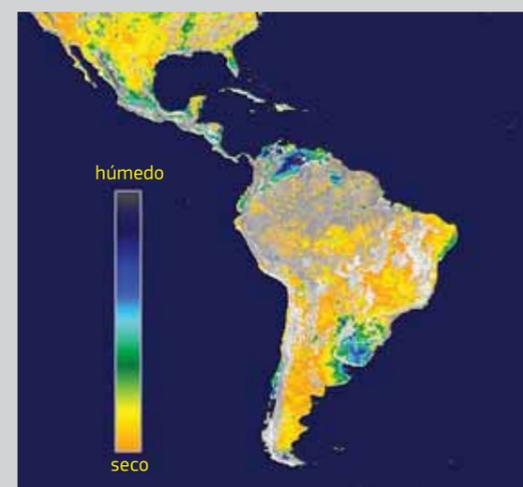
## Avaliação da umidade do solo

O método de avaliação das condições de umidade do solo evoluiu consideravelmente nos últimos anos, graças à incorporação de sensores aos satélites.

Na imagem à direita observam-se os níveis de umidade do solo em agosto de 2010 na ALC. A imagem foi obtida graças aos dados recolhidos pelo satélite da Agência Espacial Europeia SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity).

As cores laranja e amarelo representam os solos mais secos, enquanto que a azul indica umidade.

Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS), Agência Espacial Europeia. (ESA) [19,20]



#### Cobertura do terreno

- Áreas artificiais
- Terrenos baldios
- Cultivos
- Cobertura herbácea
- Cultivos irrigados
- Mosaico: agricultura/vegetação arbustiva e/ou pastagem
- Mosaico: agricultura/vegetação arbórea/ outra vegetação natural
- Mosaico: Vegetação arbórea/outra vegetação natural
- Vegetação arbustiva e/ou herbácea, frequentemente inundáveis
- Cobertura arbustiva de espécies decíduais
- Cobertura arbustiva de espécies perenes
- Neve e gelo
- Cobertura escassa de herbáceas ou arbustivos
- Cobertura arbórea, de espécies decíduais, densa
- Cobertura arbórea, de espécies decíduais, aberta
- Cobertura arbórea, de espécies perenes, aberta
- Salinas
- Cobertura arbórea mista
- Cobertura arbórea de coníferas decíduais
- Cobertura arbórea de coníferas perenes
- Cobertura arbórea frequentemente inundável (água doce)
- Cobertura arbórea frequentemente inundável (água salgada)
- Corpos d'água



O mapa de cobertura do solo da ALC foi elaborado em 2000 com dados adquiridos por satélite [21, 22]. (JRC)

## 4. Organismos vivos

Os organismos vivos (biota), também são considerados como formadores do solo, desde a microfauna até a vegetação. Participam como fonte de matéria orgânica, mas também como agentes diretos de processos de pedogênese, já que transformam o solo de forma física, química e biológica, além de transportar, misturar os seus materiais e decompor a matéria orgânica. Todos estes processos estão relacionados com a quantidade e as características dos organismos vivos.

A influência da biota do solo é claramente manifestada nas características como a agregação de partículas, a estrutura e a porosidade. A sua participação na decomposição e qualidade da matéria orgânica repercute na fertilidade do solo.

Os organismos vivos participam também na proteção dos solos contra a erosão. É o caso das plantas, as quais favorecem a estrutura deste, melhorando a permeabilidade e a drenagem.

### Um continente muito diverso

Na América Latina e Caribe, a variabilidade do material de origem, clima, formas de relevo, vegetação e cronologia, dá origem a uma ampla diversidade de solos e ecossistemas únicos.

### Cobertura do Solo ou da terra

O termo “cobertura do solo ou da terra” (land cover, em inglês), é utilizado para descrever o tipo de elemento que cobre a superfície terrestre (incluindo vegetação, solo nu, áreas urbanas e corpos d'água). É importante distinguir entre “cobertura do solo ou da terra” e “uso do solo”: um solo coberto de arbustos e campos poderia ser um parque urbano, uma plantação de árvores frutíferas ou uma savana (p.ex., o Cerrado brasileiro), de acordo com seu uso.

Na imagem da esquerda, são mostrados os diferentes tipos de cobertura do solo na ALC para o ano 2000, de acordo com dados obtidos de satélites.

## 5. O Fator antrópico

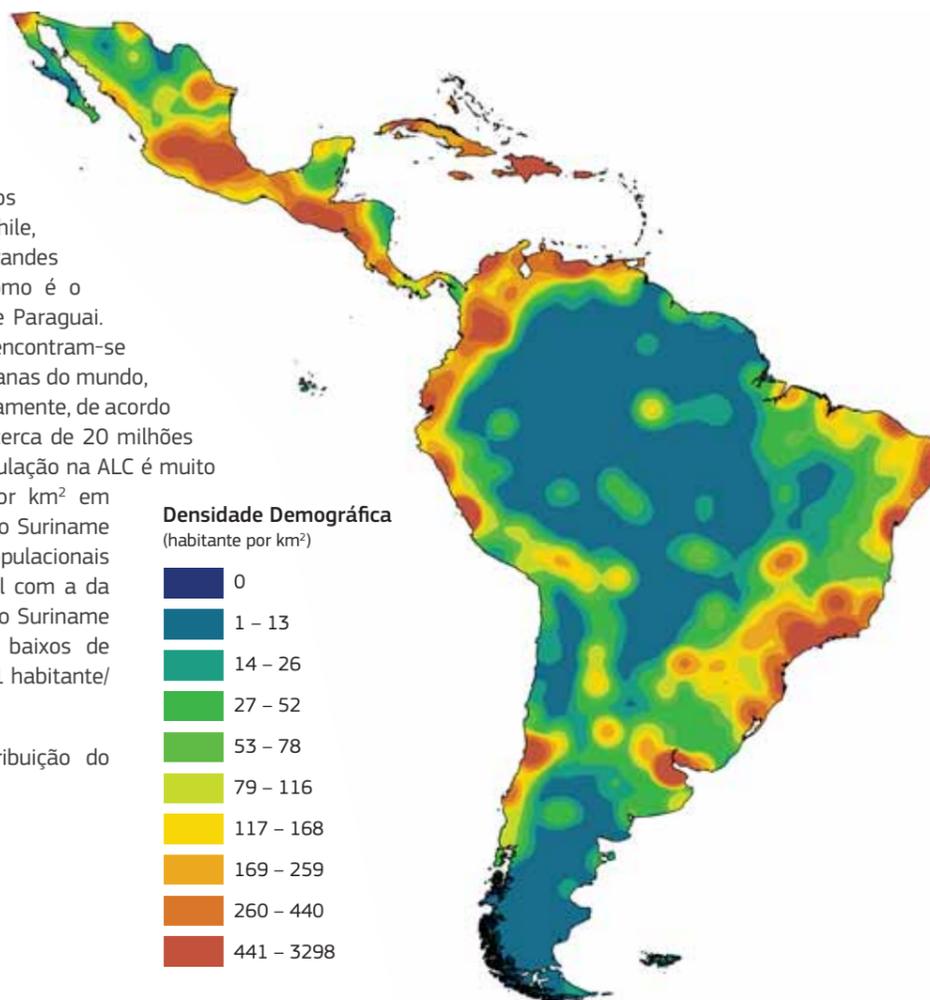
Os assentamentos humanos dependem na maior parte, do clima e da disponibilidade de água e de solo fértil. Estes fatores fazem que as atividades sócio-econômicas concentrem-se em determinadas zonas, onde se desenvolvem as infra-estruturas para que as mesmas sejam realizadas. O mapa à direita ilustra a densidade demográfica da ALC (número de pessoas por km<sup>2</sup>). As áreas menos povoadas são ilustradas em azul, enquanto que as áreas onde existe uma maior densidade populacional são representadas em laranja e vermelho.



O mapa ilustra a distribuição do índice de acessibilidade na ALC. As áreas urbanas e aquelas mais acessíveis são representadas em tons mais claros. As áreas escuras indicam aquelas áreas de difícil acesso ou impossíveis de aceder na ALC [24]. (JRC)

Em geral, a densidade populacional é muito baixa nas regiões interiores da América do Sul, enquanto que as densidades mais altas concentram-se ao longo da costa, onde as maiores cidades estão localizadas (p.ex. Buenos Aires, Rio de Janeiro, Santiago de Chile, Caracas). Existem exceções de grandes cidades localizadas no interior, como é o caso do México, Bolívia, Colômbia e Paraguai. A cidade do México e São Paulo encontram-se entre as maiores aglomerações urbanas do mundo, em terceiro e quinto lugar, respectivamente, de acordo com dados da ONU (cidades com cerca de 20 milhões de habitantes). A densidade da população na ALC é muito variável: desde 596 habitantes por km<sup>2</sup> em Barbados, até 3,2 habitantes/km<sup>2</sup> no Suriname (trata-se de uma das densidades populacionais mais baixas do mundo, comparável com a da Islândia). Em geral, a maior parte do Suriname possui geralmente valores muito baixos de densidade populacional (menos de 1 habitante/km<sup>2</sup>).

O mapa à esquerda ilustra distribuição do índice de acessibilidade na ALC.



#### Densidade Demográfica (habitante por km<sup>2</sup>)

- 0
- 1 – 13
- 14 – 26
- 27 – 52
- 53 – 78
- 79 – 116
- 117 – 168
- 169 – 259
- 260 – 440
- 441 – 3298

O mapa ilustra a densidade populacional da ALC. Os valores indicam a média de número de pessoas que vivem em um quilômetro quadrado. As áreas onde se localizam grandes cidades latino-americanas podem ser distinguidas pela sua alta densidade populacional, (por exemplo, Cidade do México, Rio de Janeiro, São Paulo, Buenos Aires, Bogotá, Lima) [23]. (CIESIN/JRC)

## 6. Tempo

O período necessário para que o material de origem evolua é muito longo, uma vez que os ritmos dos processos pedogenéticos são extraordinariamente lentos. Este pode variar entre 0,001 e 1 mm/ano, sendo mais rápido em climas quentes e úmidos, onde a atividade dos organismos é mais intensa e a vegetação mais exuberante.

A velocidade da formação do solo diminui com o tempo, até atingir a sua estabilização. Inicialmente, o material de origem evolui formando uma camada superficial rica em matéria orgânica que converte-se em horizonte A, considerada de rápida formação. A seguir desenvolve-se o horizonte subsuperficial mineral (B), cujo processo de formação é muito mais lento.

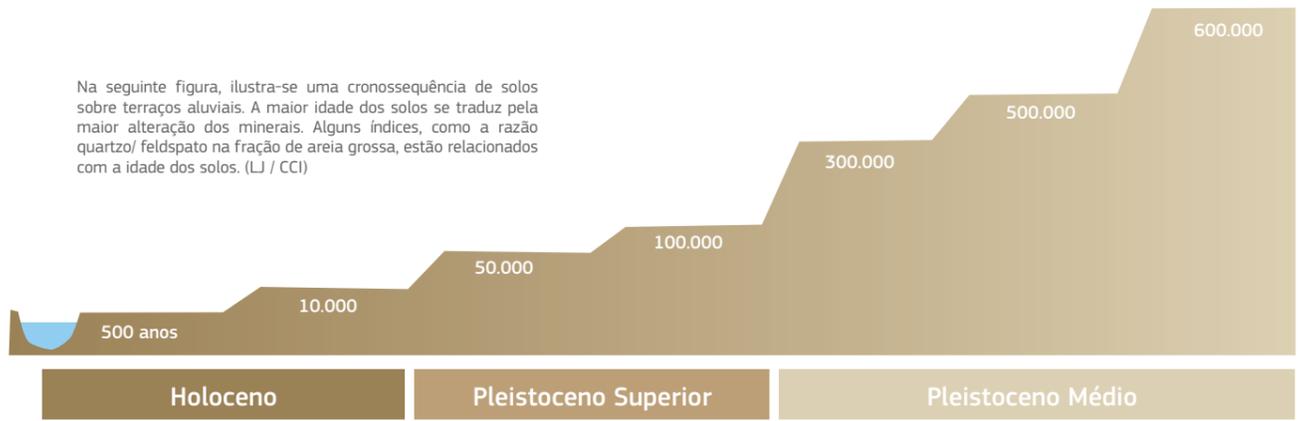
Os solos que se formam em algumas dezenas de milhares de anos, são considerados de ciclo curto, enquanto que aqueles de ciclo longo requerem até centenas de milhares de anos.

A idade de um solo pode ser datada radiometricamente, embora existam outros métodos baseados na posição dos distintos horizontes. Os solos mais antigos não correspondem necessariamente a um maior desenvolvimento do perfil. Isso ocorre apenas se os outros fatores de formação do solo tiverem se mantido constantes.

Algumas propriedades dos solos apresentam um maior desenvolvimento ao longo do tempo, enquanto que outras mostram o comportamento oposto. No entanto, todas atingem a um estado de equilíbrio. Um solo é considerado em estado de equilíbrio, quando a taxa de formação e de destruição se igualam. Este conceito teórico resulta importante para a compreensão da pedogênese, embora na prática, os processos de formação do solo permaneçam sempre ativos.

No entanto, em condições naturais, nas fases posteriores ao estado de equilíbrio, os solos evoluem tão lentamente que essas mudanças podem ser consideradas insignificantes.

Na seguinte figura, ilustra-se uma cronosequência de solos sobre terraços aluviais. A maior idade dos solos se traduz pela maior alteração dos minerais. Alguns índices, como a razão  $quartzo/feldspato$  na fração de areia grossa, estão relacionados com a idade dos solos. (LJ / CCI)



A fotografia acima mostra um Acrisol profundo, localizado no departamento de San Pedro (Paraguai). Este tipo de solo requer um grande período de tempo para a sua formação (ver gráfico nesta página, abaixo à direita). (AER)

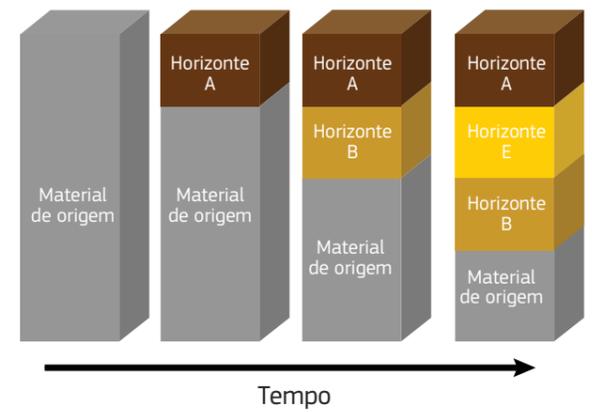
## Cronosequência de solos e vegetação

Podemos observar uma cronosequência na paisagem ou no solo, quando todos os fatores de formação do solo, (litologia, clima, organismos vivos, relevo, tempo e de atividade antrópica) se mantem constantes, exceto o tempo.

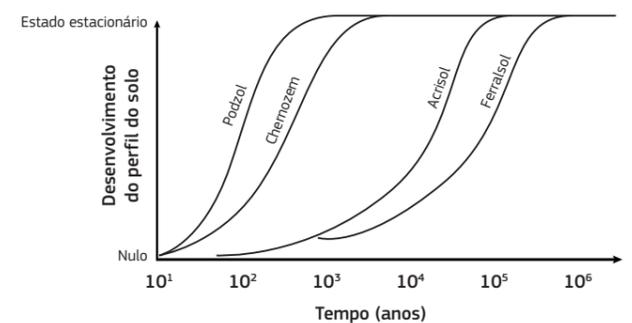
Na imagem ilustram-se perfis de solos desenvolvidos em uma área originalmente ocupada pela floresta mesófila de montanha em El Rincón, Serra Norte, Oaxaca-México.



Baseado no conceito original de BC/ RFC/ CGZ/ CCG no jornal Ecosistemas. (Podzol: OS)



No esquema de cores acima ilustra-se de forma simplificada, o desenvolvimento teórico do solo ao longo do tempo, sob condições de umidade. O material inalterado da rocha matriz está exposto aos processos de intemperismo. A acumulação e a decomposição da matéria orgânica, leva eventualmente ao desenvolvimento de um horizonte A. Muito mais tarde, os processos de formação do solo irão levar à formação de um horizonte B, com acumulação de matéria orgânica, argila, ferro e alumínio, normalmente derivados do horizonte A. Em condições de umidade, a camada superficial irá sofrer um processo de lavagem (lixiviação), mediante o qual, parte do horizonte irá se transformar num horizonte eluvial (horizonte E). (JRC)



Ao longo do tempo, os solos tendem a atingir um estado de equilíbrio no qual a taxa de formação equivale à taxa de destruição. Este estado é conhecido como solo maduro, um solo estável que atua como suporte de um ecossistema. Como observa-se no gráfico, o solo A necessita de menos tempo menor para alcançar as características próprias (p. ex. de Cambisol), ao contrário do que acontece com o solo B (p. ex. Ferralsol). (JRC)

## Processos de formação do solo

### Principais processos

Uma vez introduzidos os fatores de formação do solo, passaremos a analisar os processos pedológicos que irão determinar as propriedades específicas de um determinado solo ao longo de sua existência. Certas ações biológicas, químicas e físicas, transformam, transportam (translocam) e/ou destroem o material do solo. Além disso, estes processos podem variar ao longo do tempo, em resposta às variações climáticas ou de uso do solo. Os principais processos de formação do solo, são: intemperismo ou meteorização, acumulação, remoção, translocação e transformação [25].

### Intemperismo ou Meteorização

O intemperismo ou *meteorização* consiste na destruição ou fragmentação da estrutura da rocha, o que facilita em seguida, as alterações químicas dos minerais. É um fenômeno natural a que estão sujeitos todos os materiais geológicos quando expostos à ação combinada da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e da antroposfera, ocorrendo de forma permanente e generalizada em toda a superfície terrestre. O intemperismo ou *meteorização* pode ser físico, químico ou biológico (embora o processo seja na realidade, uma manifestação de reações físicas e químicas).

### Intemperismo físico

No intemperismo físico, as rochas desintegram-se sem contudo alterar a sua composição química. Um exemplo deste processo (típico em ambientes desérticos) é a fragmentação devido à repetição sucessiva do congelamento e descongelamento da água presente no solo, como consequência da mudança de temperatura entre o dia e a noite (quando a água congela seu volume aumenta com 11%, o que provoca grandes pressões, especialmente quando se produz em espaços estreitos, como nas fendas das rochas).

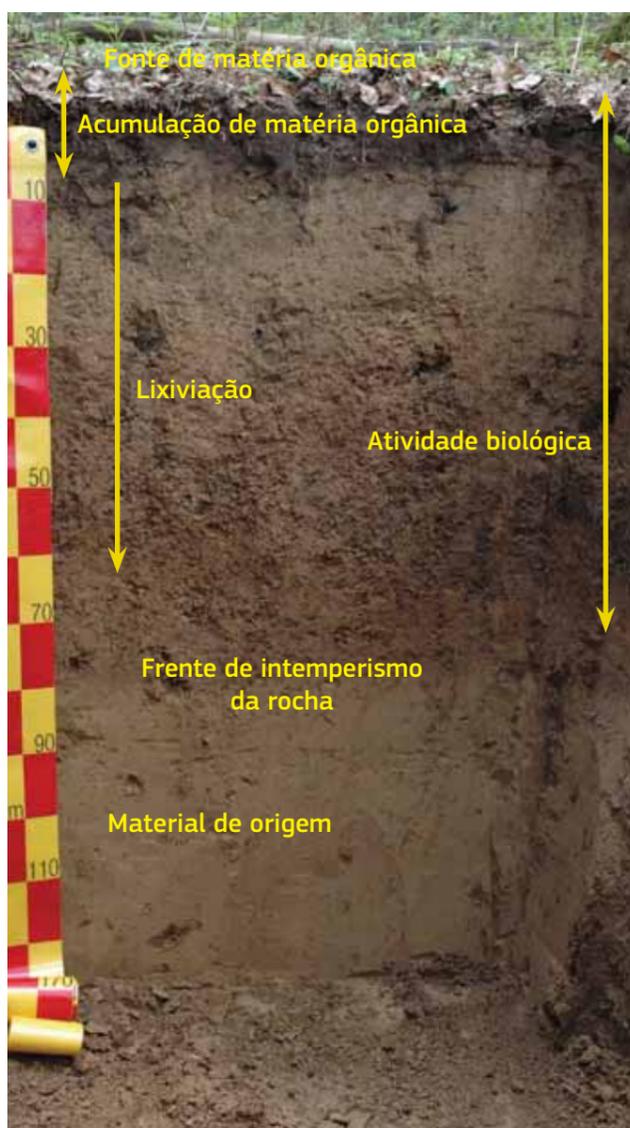
Estas transformações resultam em uma camada de material solto, sobrejacente à rocha sólida. A este material desintegrado denominamos regolito e pode tratar-se de uma camada fina ou espessa, ocupando várias dezenas de metros de profundidade (em alguns solos, as camadas de regolito podem alcançar cerca de 150 m). Normalmente é possível distinguir claramente a fronteira entre o regolito e a rocha matriz. Esta estreita zona é conhecida como frente de meteorização, uma vez que é onde este processo é ser mais ativo.

### Intemperismo químico

O intemperismo químico é um processo gradual e constante. É produzido quando a água ou os elementos ácidos reagem com o material de origem. Isto leva à formação do que se conhece como minerais secundários (a partir dos compostos originais presentes na rocha). Sob condições de umidade e temperaturas altas (p. ex. nos trópicos), o intemperismo químico é muito mais intenso.



A fragmentação da rocha matriz através do intemperismo físico pode ser claramente observada na foto acima. A frente de meteorização está localizada a cerca de 65 cm. A água é capaz de vencer as resistências horizontais da rocha horizontal propiciando a fratura em blocos e lajes. (EM)



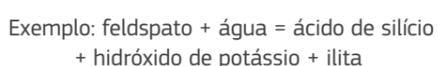
Nesta fotografia pode-se reconhecer de forma esquemática, alguns dos processos mais importantes da formação e evolução do solo. A cor escura da parte superior do perfil, indica a acumulação de matéria orgânica pela decomposição de restos vegetais (serapilheira, raízes). A cor mais avermelhada que aparece mais abaixo, em profundidade no perfil, é o resultado do processo de rubificação (ou ferrificação), um processo no qual o ferro derivado de materiais primários é liberado para formar óxidos de ferro móveis que formam uma película que envolve as partículas do solo, dando-lhes essa tonalidade. As camadas púrpuras e brancas observadas na base do perfil são estratos de lutitas e siltitos derivados da geologia subjacente a partir da qual se desenvolveu o solo. (PS)

A água é o elemento-chave neste processo. Dado que o dióxido de carbono atmosférico dissolve-se na água da chuva, esta está ligeiramente ácida (pH aproximadamente de 5,6 em ambientes não contaminados). Por isso, as precipitações fazem que alguns minerais, devido à sua solubilidade (p. ex. evaporitos como o sal e o gesso) ou à sua instabilidade inerente relativa às condições da superfície (p. ex. silicatos primários como feldspato, mica, augita, hornblenda e olivina), dissolvam-se lentamente, dando origem a produtos secundários tais como minerais argilosos (p. ex., caulinita, ilita, vermiculita e esmectita), ferro e óxidos de alumínio, carbonatos e nutrientes, como cálcio e potássio.

Nas rochas calcárias, as quais contêm carbonato de cálcio, se produz um dos processos de intemperismo por dissolução mais conhecidos, a carbonatação. O carbonato de cálcio reage com o ácido carbônico presente na chuva e forma bicarbonato de cálcio, que é então dissolvido e lavado com o movimento da água.

Os processos nos quais a água atua como um solvente, podem ser mais fortes se outros gases, tais como o dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, estejam presentes na atmosfera. Estes óxidos, ao reagirem com a água, formam ácidos mais fortes (pH de 4,5 ou mesmo 3,0). Microscopicamente, as moléculas de água podem dissociar-se em hidrogênio, com carga positiva (H+) e hidroxila, com carga negativa (OH-) (ver seção Glossário para definições de íon e cátion).

O íon de hidrogênio é capaz de penetrar a estrutura cristalina dos silicatos e carbonatos. Sua carga positiva altera o balanço da carga do mineral em questão, causando a liberação de cátions para o solo. O processo é expresso pela seguinte equação:



Este processo é denominado hidrólise. No exemplo acima, a hidrólise aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e outras propriedades relacionadas com sua fertilidade.

Outros processos químicos que contribuem para o intemperismo implicam na perda (oxidação) e ganho (redução) simultâneo de elétrons. O material que recebe os elétrons, torna-se o agente redutor, porque diminui o número de elétrons do outro material. Estas trocas são denominadas reações redox ou de óxido-redução. Os materiais, ao sofrerem oxidação, desestabilizam sua carga, permitindo a degradação de sua estrutura.



Evidências do intemperismo químico em esculturas de rocha calcária. Chichen-Itza, México. (CG)

### Intemperismo biológico

Este processo é causado pelas atividades dos organismos vivos e possui componentes físicos e químicos. Um exemplo do intemperismo biológico físico é a fragmentação da rocha por efeito do crescimento das raízes, em pequenas fendas ou a alteração da superfície por animais (p. ex. cupins). O intemperismo biológico químico pode ser causado por atividade bacteriana ou pelos ácidos orgânicos fortes, procedentes das raízes ou outro tipo de matéria orgânica. Recentemente foi demonstrado que a taxa de intemperismo em superfícies cobertas por líquens, é de 3 a 4 vezes maior do que a produzida sobre um solo nu.

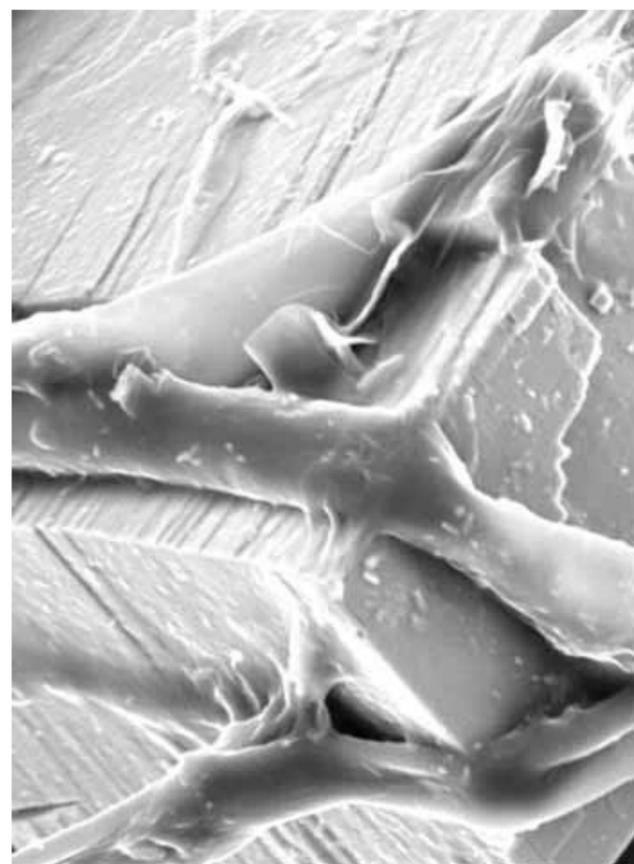


Imagem de microscopia eletrônica de varredura, mostrando hifas de fungos (os filamentos) que atacam um cristal de chumbo. Ainda resta muito a descobrir sobre o papel da biota do solo nos processos de intemperismo. (KK)

## Acumulação

Os processos mais importantes da acumulação são os da matéria orgânica, o que resulta em horizontes superficiais escuros e ricos, denominados horizontes A, ou no caso extremo de uma acumulação maciça, produzindo solos orgânicos. Os processos de acumulação variam em função do tipo de vegetação, com diferentes aportes e tipos de matéria orgânica, ao tipo de regime de temperatura e das condições de drenagem, todo o qual altera as taxas de decomposição.

## Remoção ou subtração

Neste processo, a água remove certos materiais e os desloca solo abaixo, até alcançar o lençol freático ou então ficam depositados em horizontes muito profundos. Deste modo, nas áreas áridas com balance hídrico deficitário, as bases e os sais não chegam a ser eliminados do solo, mas se acumulam no subsolo. Pelo contrário, nas áreas muito úmidas, sujeitas a processos de lavagem (lixiviação), encontram-se solos muito pobres em nutrientes básicos para as plantas, uma vez que os cátions de cálcio, magnésio, sódio e potássio ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  respetivamente) foram removidos da solução do solo, e esta fica enriquecida com cátions insolúveis (p. ex., silício, ferro e alumínio). Um exemplo de perda ou subtração é a perda por lavagem (lixiviação) de sais, que diminui o conteúdo de nutrientes disponíveis para as plantas na solução do solo.

## Translocação

Os principais processos de translocação ou movimento ocorrem a partir da superfície em direção ao subsolo, e são resultantes da lavagem (ou remoção) parcial de certos materiais e compostos, de acordo com uma sequência cronológica. Assim, os primeiros compostos que normalmente se translocam são os carbonatos. A sua lavagem dá lugar a um horizonte câmbico (pobre em carbonatos) e nas zonas de acumulação pode-se encontrar horizontes cálcicos e, nos casos em que os carbonatos tenham sido cimentados, petrocálcicos.

Do ponto de vista cronológico, os materiais que sofrem processo de translocação após os carbonatos, costumam ser as partículas de argila. Isto favorece um enriquecimento do subsolo e origina um horizonte conhecido como argílico, característico em solos com um grau de evolução intermediário a avançado. Juntamente com a argila, tende a mobilizar-se o ferro, sobretudo em climas subúmidos. A formação de um horizonte argílico, menos permeável, pode provocar a saturação por água nas épocas de chuva, dando lugar a fenômenos de oxido-redução ou de hidromorfismo, que chegam a afetar o horizonte plântico (ver Glossário para "horizonte plântico").

Um caso de menor ocorrência nos trópicos baixos é a translocação de ferro e alumínio pela matéria orgânica quelatante, que produz na superfície do solo uma camada muito pálida (deficiência de ferro) denominada horizonte álbico, seguida por uma camada de matéria orgânica escura e uma avermelhada no subsolo (horizonte espódico, ou plácico, se for endurecida).

## Transformação

Os processos de transformação afetam principalmente a disposição das partículas sólidas do solo ou sua mineralogia. Nos materiais de origem aluvial, a sedimentação dispõe as partículas minerais em lâminas. As raízes, a macrofauna e as alterações do volume ao umidificarem-se e ao secarem-se provocam a sua rápida fragmentação em forma de blocos ou prismas, resultando num certo tipo de horizonte câmbico. Nos solos argilosos, e se essas alterações de volume forem muito acentuadas, produzem com o tempo, fendas maiores e estruturas em forma de cunha, com superfícies de fricção (ver página 22).

Por outro lado, basicamente em todos os solos, se produzem transformações minerais como resultado do intemperismo, decomposição ou hidrólise dos minerais primários, como os feldspatos, minerais ferromagnesianos ou micas, em minerais secundários, como as argilas e sesquióxidos de ferro e alumínio. Os minerais formados serão diferentes, de acordo com o ambiente no qual se encontram. Num ambiente úmido, onde a lavagem é intensa, os horizontes férricos são típicos. No caso de solos derivados de cinzas vulcânicas, por transformações minerais, se forma uma argila denominada alofana. Por outro lado, nas zonas permanentemente ou periodicamente inundadas ou com altos níveis freáticos, os solos encontram-se saturados por água e carecem de oxigênio durante todo o ano ou na maior parte do mesmo. Nestes solos, os compostos de ferro e manganês são reduzidos e permanecem nesse estado, até serem drenados do horizonte (assim forma-se o horizonte glei).

Uma vez descritos os processos gerais, passamos a apresentar os processos relacionados com determinadas condições ambientais específicas (lixiviação, podzolização, destruição de argilas, movimento de partículas argilosas, processos em solos de clima semi-áridos, processos em solos salinos, processos em solos encharcados, argilas expansivas e processos em solos baixo clima tropical úmido).

## Lixiviação ou lavagem

Este processo é um caso particular de translocação, conceito explicado na coluna da esquerda.

Quando as precipitações pluviométricas são abundantes e existe um excesso de água durante a maior parte do ano (a quantidade de chuva supera a taxa de evaporação), os poros do solo, os que permanecem preenchidos com ar durante a estação seca, ficam saturados por água. A água percola e incorpora-se nas águas subterrâneas.

Com a passagem da água, os sais solúveis do solo (como os cloretos, nitratos, sulfatos ou carbonatos) dissolvem-se e são lavados até as camadas mais profundas, juntamente com outros compostos orgânicos e minerais. Nos climas mais secos, estes sais podem reprecipitar e dar lugar a, por exemplo, um horizonte rico em carbonato de cálcio. Nas regiões mais úmidas, o material pode desaparecer por completo do solo.

A taxa e extensão da lavagem ou lixiviação são determinadas por dois fatores:

- a mobilidade de um elemento, baseada na sua solubilidade em água e o efeito do pH sobre essa solubilidade (p. ex., os cloretos e sulfatos são muito móveis, enquanto que o titânio é insolúvel, inclusive em pH 2,5);
- e a taxa de percolação, a qual depende do clima, da textura do solo e do grau de declive do terreno. Nas regiões áridas, inclusive os elementos mais móveis (p.ex. cloreto de sódio), tendem a permanecer na superfície, resultando na formação de solos salinos.

À medida que o nível de umidade aumenta, a perda de sais, compostos orgânicos e sílica, também aumenta, e se diz que o solo foi lavado.

Quando o carbonato de cálcio está presente num solo, o pH terá valores ao redor de 8 e a cor do solo será embranquecida ou de tonalidades claras. Em ocasiões, os solos ricos em carbonatos apresentam uma boa fertilidade (embora algumas espécies não tolerem os carbonatos, como p. ex. o pêssigo, a castanha e algumas variedades de pera). Quando ocorre a lavagem do solo, o pH diminui resultando na liberação de cálcio, potássio, sódio e magnésio provenientes dos minerais argilosos e do húmus, que são substituídos pelo hidrogênio e o alumínio. Se não ocorrer uma mudança nos fatores de formação do solo, nem existir uma intervenção humana, o pH do solo irá permanecer em valores inferiores a 7 (podendo chegar a 4), considerado como um solo ácido.

Os solos muito ácidos são considerados pouco aptos para o cultivo de alimentos. Estes solos requerem normalmente o aporte de carbonato de cálcio (prática conhecida como "calagem") para aumentar o seu pH até valores mais apropriados para a produção agrícola. Os valores de pH inferiores a 5,5 podem ocasionar a liberação de alumínio na solução do solo, considerado tóxico para algumas plantas.

Em algumas ocasiões, os elementos menos móveis podem ser lavados, quando combinados com componentes orgânicos (p. ex., ácidos orgânicos ou aminoácidos) derivados da humificação da matéria orgânica de origem vegetal ou dos microrganismos do solo. Este processo conhecido como "queluviação", é um mecanismo importante para aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Os quelatos são de grande importância no manejo dos micronutrientes: os íons metálicos são liberados lentamente e fornecem de maneira contínua, microelementos às plantas, sem alcançar concentrações tóxicas.



Processo de Humificação. (CCG)

## Argila

O termo "argila" pode ter vários significados:

- Uma partícula do solo de diâmetro inferior a 2  $\mu\text{m}$ ;
- Uma classe textural que contém mais de 40% de partículas argilosas, menos de 45% de areia e menos de 40% de silte.
- Um material natural composto originalmente por minerais de grão fino, o qual é plástico em condições apropriadas de umidade e tem a capacidade de endurecer-se ao secar. Embora a argila normalmente seja constituída por filossilicatos, pode conter outros materiais que lhe conferem plasticidade e a capacidade de endurecer-se ao secar.



Plasticidade do solo, devido ao alto teor de argila. Departamento Central, Paraguai. (AER)

## Podzolização

A podzolização é a lavagem (concretamente, a queluviação, ver pg. anterior) do alumínio e do ferro que podem estar presentes nos óxidos insolúveis da capa superior do solo pela ação de ácidos orgânicos fortes, liberados durante a decomposição da matéria orgânica vegetal. A água de percolação redeposita estes elementos, juntamente com a matéria orgânica, nas camadas mais profundas do solo, deixando atrás de si, uma zona lavada arenosa. A mistura redepositada da matéria orgânica, ferro e alumínio, resulta na formação de um horizonte cimentado que atua como uma barreira para a passagem da matéria orgânica. Ao longo do tempo, devido a esta obstrução, a matéria orgânica vai se acumulando, até formar um horizonte subsuperficial rico em húmus. O ferro precipitado aporta uma cor alaranjada ou avermelhada ao horizonte B.

O produto final da podzolização é um tipo de solo denominado Podzol, que se caracteriza pela presença de um horizonte subsuperficial de deposição (horizonte espódico). Suas características exatas dependem de diferentes fatores tais como as características do material de origem, as condições de umidade e o tipo de vegetação.

Embora os Podzolos sejam muito comuns nas latitudes mais setentrionais do Hemisfério Norte, na ALC não são abundantes. Encontram-se apenas sob determinadas circunstâncias ecológicas: nas áreas de restinga do litoral brasileiro e em algumas áreas no interior da Amazônia. A seguir, também ocorrem em zonas com extremas condições de frio e umidade, como no sul do continente americano.

## Destruição de argilas

A destruição das argilas é um importante processo na formação dos solos. A lixiviação dos cátions leva à acumulação de íons de hidrogênio que são atraídos pela superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica. No entanto, este estado é instável e leva à eventual desintegração da estrutura cristalina da argila, liberando alumínio e sílica no processo.

Como resultado, o solo apresenta menos argila e um maior valor de pH na superfície que no subsolo. Podem-se encontrar padrões de distribuição de argilas semelhantes nos perfis onde a argila da superfície do solo tenha sido redistribuída mais do que destruída (ver a seção seguinte).

## O movimento das partículas de argila

Um processo comum na formação do solo é o movimento ou translocação de partículas de argila de um horizonte para outro. Isto implica na iluviação ou transferência mecânica, pelo efeito da água de percolação, das partículas da superfície do solo. Estas são redepositadas nas camadas mais profundas do solo, sobre outras partículas ou nas cavidades e poros do solo.

Trata-se de um processo que depende da textura do solo e de sua química. Se existe um sistema de poros contínuo e uniforme, a água de percolação transporta as partículas até embaixo. Tais condições ocorrem quando o solo se retrai e fratura durante a época seca. A argila acumula-se no fundo das fraturas e impede o movimento da água, ou a água penetra nos agregados secos, permanecendo a argila na superfície dos agregados (estes revestimentos de argila chamam-se cutãs ou *slikensides* e denotam a cerosidade do solo).

Outro processo que modifica a distribuição das partículas de argila no solo é a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva. O impacto destas gotas causa o movimento das partículas mais finas encosta abaixo, deixando atrás de si, silte e areia. Embora este processo ocorra de forma generalizada, ele é favorecido por algumas práticas de cultivo em zonas de pendentes.

## Solos condicionados pelo clima (semi) árido, com acumulação secundária de gesso, calcário ou sílica

Quando a precipitação é menor que a evapotranspiração e as altas temperaturas fazem com que a água subterrânea aflore à superfície por capilaridade, surgem diferentes tipos de solo com acumulações significativas de carbonato de cálcio (solos calcários), sulfato de cálcio di-hidratado (gesso) ou dióxido de silício (sílica).

O processo mais importante nos solos com acumulações secundárias de **calcário** (carbonato de cálcio:  $\text{CaCO}_3$ ) é o movimento de carbonato desde o horizonte superficial até uma camada de acumulação a certa profundidade. A dissolução da calcita e a subsequente acumulação de cálcio num horizonte calcário é regida por dois fatores:

- A pressão do  $\text{CO}_2$  no solo;
- e a concentração de íons dissolvidos na água do solo.

A pressão do  $\text{CO}_2$  nos poros do solo só costuma ser maior no horizonte A, onde a atividade respiratória das raízes e os microrganismos, provocam níveis de  $\text{CO}_2$  de 10 a 100 vezes maiores que na atmosfera ao nível do solo.

Como consequência, a calcita se dissolve e permite que os íons de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  sejam transportados para baixo com o efeito da percolação, especialmente durante e imediatamente após um episódio de chuva. A calcita também pode dissolver-se pela percolação de água com baixa concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ .

A precipitação da calcita ocorre por uma redução da pressão de  $\text{CO}_2$  (com um conseqüente aumento no valor do pH do solo) ou por um aumento da concentração de íons, quando se excede a capacidade de solubilidade do carbonato de cálcio dissolvido.

A calcita não precipita de maneira uniforme ao longo da matriz do solo. Os canais das raízes e os orifícios escavados pela microfauna atuam como vias de ventilação, onde a pressão de  $\text{CO}_2$  é muito mais baixa do que no solo ao redor. Quando a dissolução de cálcio alcança estes espaços, perde  $\text{CO}_2$  e a calcita precipita nas paredes dos canais. Quando os estreitos canais radiculares enchem-se com a calcita, estes atuam como um molde, dando lugar a uma estrutura de calcita que toma a forma da raiz, conhecida como pseudomicélio (ver Glossário).

Outras estruturas características de solos com acumulações de carbonato de cálcio são os nódulos calcários (caliça ou salitre), duros ou macios, camadas contínuas ou lâminas de caliça e "barbas" calcárias por baixo das pedras. Onde existem processos de erosão, as concreções de calcário podem aparecer na superfície do solo.

Quando o **gesso** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), proveniente do material de origem gipsítico dissolve-se, é mobilizado pela água e precipita numa camada de acumulação ao desaparecer na água. Quando a umidade do solo experimenta um movimento predominantemente para cima (por exemplo, quando o superávit de evaporação líquida ocorre por um longo período), surge na matriz do solo um horizonte rico em gesso. O gesso também pode ser lixiviado da superfície durante invernos úmidos e reacumulado nas camadas mais profundas, em forma de pó ou material solto.

Com o tempo os cristais de gipsita podem ser aglomerados, dando lugar a camadas compactadas ou crostas superficiais, as quais podem alcançar dezenas de centímetros de espessura. O gesso pode precipitar em forma de canais radiculares (pseudomicélio gipsítico), em buracos, areias cristalinas soltas ou em horizontes fortemente cimentados (petro-gipsíticos). Por vezes formam umas estruturas maciças cristalinas, conhecidas como rosas do deserto.

Em uma multitude de regiões áridas (mas não exclusivamente), os solos conhecidos como Durisols contêm no subsolo camadas muito duras de materiais ricos em **silício**. Estes materiais variam desde areias e cascalhos, cimentados a matrizes irregulares enriquecidas com pequenas partículas de silício. As condições em que essas estruturas se desenvolvem são pouco estudadas, uma vez que atualmente, a formação desses tipos de solos ocorre muito raramente, sendo que quase todas estas formações são fósseis. Algumas teorias sobre a acumulação destes materiais, indicam que a precipitação das águas subterrâneas ricas em sílica em climas áridos/semi-áridos ou o intenso intemperismo nos climas temperados úmidos, seriam os responsáveis por esse processo.

Os solos com teores baixo de gesso e carbonato de cálcio na parte superior do solo (0-30 cm), podem suportar certo tipo de pastagens e culturas de sequeiro. A caliça é utilizada com frequência na construção de estradas.

## Solos salinos

Um solo é considerado salino, se a concentração de sais é de 2.500 partes por milhão. Os solos afetados por sais solúveis ou seus íons, ocupam uma parte significativa da ALC; localizam-se principalmente na parte sul do continente, na Argentina e no Chile, assim como no Paraguai e na Bolívia. Do mesmo modo, encontramos solos salinos no México, Peru, Brasil, Venezuela e em algumas ilhas do Caribe.

Os sais solúveis são liberados a partir do intemperismo das rochas provenientes de material de origem com altos níveis de sal (p. ex. antigos sedimentos marinhos ou depósitos de evaporação), o que resulta em uma água de lavado e, por extensão uma água subterrânea, salina. Portanto, a maioria dos solos salinos se desenvolvem onde tal água subterrânea aflora à superfície e, ao evaporar, deposita sais dissolvidos. Estes sais também podem aparecer nas depressões do terreno, transportados pela água que chega de terrenos mais altos. Nas zonas áridas, a salinidade do solo pode ocorrer mesmo quando o lençol freático se encontra a dois ou três metros de profundidade.

Os principais íons responsáveis pela salinização são:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$ . A reação entre o solo e os sais, varia em função da composição química de ambos. Os sais de sódio (Na) facilitam a mobilidade dos compostos orgânicos, o que eventualmente pode fazer com que sejam lavados, resultando num horizonte de lixiviação. O valor do pH destes solos costuma ser de 9.

Também pode surgir a presença de sais em solos agrícolas que são irrigados artificialmente, uma vez que toda a água (incluindo a água da chuva) contém sais dissolvidos. Quando os cultivos absorvem a água, os sais permanecem no solo. Os sais vão se acumulando e devem ser lavados de maneira artificial da zona da raiz das plantas, aplicando mais irrigação. A salinidade pode aumentar pela drenagem fraca ou devido ao uso de água salina para a irrigação.

Os solos salinos são também encontrados nos lagos sazonais ou bacias fechadas ou leitos de lagos, também conhecidos como salinas ou salares.



**Acima:** afloramento de sal em solos de baixada, com lençol freático pouco profundo. Valle del Bajo Piura, Peru, 2006. (AI). **Abaixo:** Vista geral do salar de Huasco, na Região de Tarapacá, Chile. **Essa salina** está contida numa extensa bacia endorreica que limita-se no extremo sul com o vale de Collacagua. Está situada muito perto da fronteira com a Bolívia. (HLB)





Salar de Huasco (Chile). Esta salina encontra-se no extremo sul do vale de Collacagua, dentro de uma extensa bacia endorreica, próxima da fronteira com a Bolívia. Trata-se de um ecossistema muito rico e frágil, situado a mais de 3.700 m de altitude, o qual foi declarado como sítio RAMSAR (zona úmida de interesse nacional) em 1996 e Parque Nacional no ano 2010. (HLB)

### Solos encharcados ou hidromórficos

Quando chove, a água percola através do solo drenando-o na maioria dos casos. No entanto, em alguns lugares, devido à textura do solo ou à presença de barreiras impermeáveis, os poros e cavidades do solo saturam-se com água. Esta zona pode ser encontrada relativamente próximo à superfície do solo (<2m) e é conhecida como lençol freático (ver Glossário). Essa situação é consequência da presença de estratos impermeáveis no subsolo e/ou depressões na paisagem (p. ex. áreas de marés, perto da costa).

A este estado do solo (permanente ou temporário), em que se encontra saturado por água, denomina-se hidromorfia, e tem um efeito nas propriedades do mesmo, na sua formação e na sua evolução. Também influi nas suas possibilidades de exploração do solo. Na bibliografia especializada existem numerosos termos que fazem alusão a esse estado do solo, em todos os sistemas de descrição e classificação dos solos (p. ex. propriedades hidromórficas, horizontes de cores variegadas, manchas de croma baixo - inferior a 2 -, descolorações, regime áquico, gleização ou pseudogleização).

Os solos saturados de água impedem a circulação dos gases através dos poros do solo; a falta de ar impede o crescimento e o desenvolvimento das raízes das plantas.



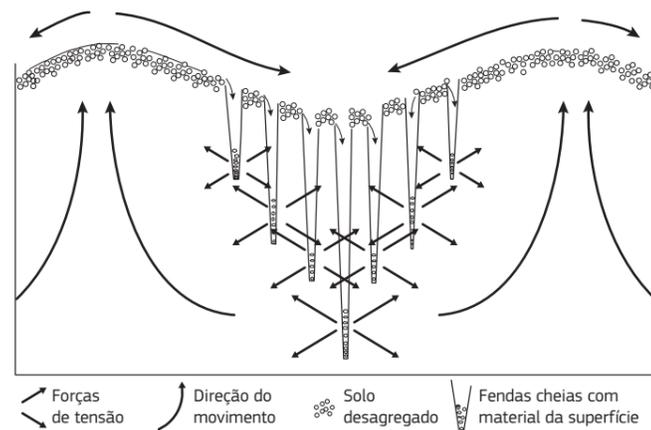
Acima: perfil típico de um solo periodicamente ou permanentemente encharcado. As propriedades gleicas (p. ex. cor verde azulado) não são visíveis na foto, já que neste caso encontram-se abaixo do nível da água. Este tipo de solo se desenvolve onde a drenagem é pobre ou inexistente. (CCG)

Ao encharcar-se um solo, a máxima proporção de oxigênio dissolvido na água é de cerca de 3%. Esta pequena quantidade é rapidamente consumida pelos microrganismos aeróbicos do solo e pelas raízes, nas fases iniciais do encharcamento. Além da drástica diminuição na quantidade de oxigênio, o encharcamento impede o escape e/ou a clivagem por oxidação, de gases como o etileno ou o dióxido de carbono, ambos produzidos pelas raízes e pelos microrganismos do solo. A acumulação destes elementos pode interferir no crescimento das raízes e na realização das suas funções (p. ex., o etileno retarda o crescimento das raízes, enquanto que o dióxido de carbono pode causar graves danos às raízes de determinadas espécies). Algumas plantas são resistentes às condições de hidromorfia, quer seja por adaptações anatômicas (aerênquima – estrutura do parênquima, com grandes espaços de ar), morfológicas (proliferação ou alongamento de raízes) ou metabólicas.

Se existir matéria orgânica no solo encharcado, a atividade metabólica dos microrganismos irá causar um déficit de oxigênio, iniciando-se o processo de redução (ver Glossário). Nestas condições, o óxido de ferro se transforma em sua forma mais solúvel: o óxido ferroso. Este aporta uma cor azulada ou acinzentada ao solo, enquanto que a desintegração de óxidos de ferro, gera uma cor amarelada ou avermelhada (este efeito pode ser observado em alguns dos poros maiores, onde ainda reste algo de oxigênio, delatando a redeposição dos óxidos de ferro).

### Solos com argilas expansivas

Nas regiões com estações secas e úmidas muito diferenciadas e onde o material de origem é rico em esmectitas (minerais argilosos expansíveis), os solos apresentam durante os períodos secos, fendas profundas que desaparecem na estação chuvosa, ao retraírem-se por efeito da expansão das esmectitas ao absorver a água.



A agitação do material subjacente para a superfície muitas vezes forma um microrrelevo conhecido como gilgai, onde a superfície do terreno torna-se irregular, alternando montículos e pequenas depressões. (MF)

Além da formação de fissuras causadas pela contração das argilas, na superfície se formarão estruturas granulares ou de torrões que caem dentro das fendas. Quando o solo é novamente umedecido, uma parte do espaço requerido por este para recuperar seu volume, está ocupado pelas partículas que caíram dentro das fendas, provocando uma tensão de corte com o material do solo. À medida que aumenta a pressão pelo aporte da água, alguns blocos do solo sucumbem a estas forças e deslizam uns sobre os outros. Os planos de corte são conhecidos como superfícies de fricção e exibem uma superfície lustrosa e estriada na direção do corte. A interseção dos planos de corte cuneiformes produzem agregados angulares em blocos, que tendem a aumentar com a profundidade (provavelmente refletindo o gradiente de umidade). Como consequência desse movimento interno do solo e da deposição dos agregados da superfície nas fendas profundas, o subsolo é empurrado até a superfície e misturado. Este processo é conhecido como agitação ou pedoturbação. A mistura constante de materiais do solo resulta num horizonte A localizado em profundidade. Esse tipo de solo geralmente desenvolve-se no sopé das encostas ou nas planícies, como resultado do intemperismo de basaltos ou pela redeposição de sedimentos aluviais ricos em esmectita.



Este Vertisol da Venezuela apresenta as fendas características que surgem quando o solo seca. Este tipo de solo cobre grandes extensões no México, Nicarágua, Cuba, Jamaica, Venezuela e Uruguai. Apesar de sua alta fertilidade natural, estes solos são difíceis de cultivar, uma vez que podem ser manejados apenas por um pequeno período de condições de umidade favoráveis: ao secar são muito duros e quando umedecidos, são pegajosos. (JC)

### A Química dos solos encharcados (ou com excesso d' água)

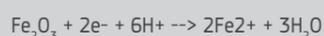
Nos solos saturados de água falta espaço para o ar (O<sub>2</sub>), uma vez que os poros estão todos preenchidos por água. A matéria orgânica se decompõe e os elétrons são capturados pelos compostos: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ou CO<sub>2</sub>.

Algumas das reações químicas mais importantes que ocorrem nestes solos são:

- Mineralização do nitrogênio orgânico: devido à falta de oxigênio produz-se a acumulação de amônia.

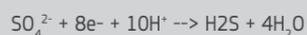


- Redução do ferro e aumento de sua solubilidade:



- Redução do manganês e aumento de sua solubilidade.

- Redução de sulfatos, resultando em ácidos sulfídricos e minerais de sulfurosos (p. ex. pirita):



- Redução do dióxido de carbono:



## Principais processos de formação do solo em climas tropicais úmidos

Uma grande parte da ALC encontra-se no clima tropical úmido. Este tipo de clima caracteriza-se pelas constantes temperaturas altas e (a temperatura média anual é de cerca 26°C), chuvas frequentes e abundantes (mais de 2.000 mm) e muita umidade. Nestas condições, o intemperismo químico, a lixiviação e a translocação combinam-se para formar uma ampla variedade de solos. A geologia da rocha matriz influi também sobre as propriedades químicas do solo.

A seguir, são descritos os principais processos de formação do solo que ocorrem nestes lugares: a ferralitização, formação de plintita e formação de solos com alto teor de alumínio.

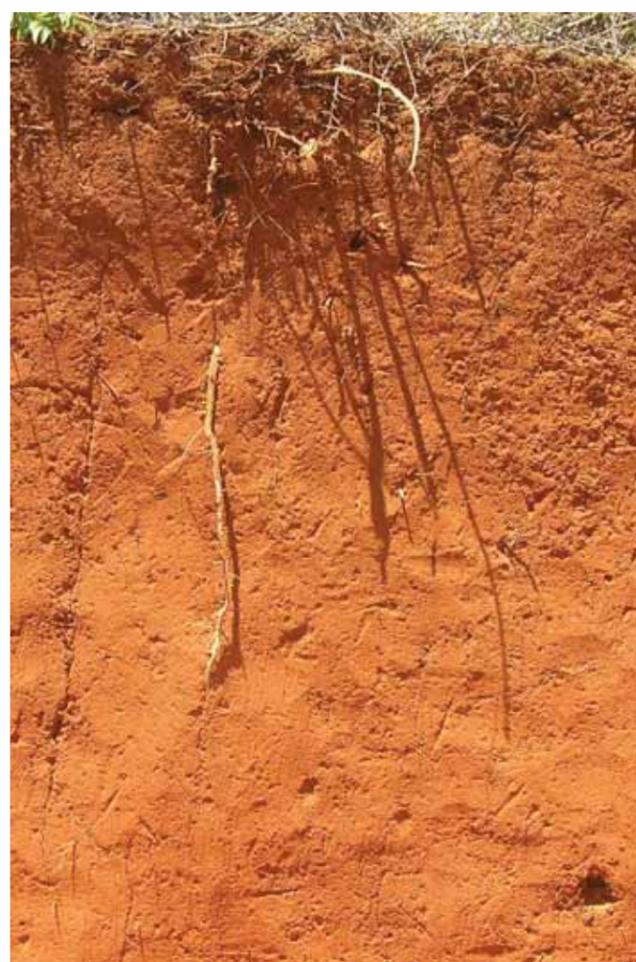
### 1. Ferralitização

Os solos dos trópicos úmidos apresentam as seguintes características: são de profundidade média, fortemente erodidos, são vermelhos ou amarelos e com transição difusa ou pouco acentuada entre os seus horizontes. O intemperismo é intenso, devido à elevada umidade e temperatura. Se estas condições forem mantidas durante um longo período de tempo, resultarão na formação solos com vários metros de profundidade e com uma proporção de fragmentos da rocha matriz inferior a 5%.

As altas temperaturas do solo e a percolação intensa, dissolvem e mobilizam os minerais primários, enquanto que os compostos menos solúveis como os sesquióxidos de ferro e alumínio, a caulinita e os grãos grossos de quartzo permanecem na matriz do solo. Estes processos são conhecidos como ferralitização. A cor vermelha é devido à presença de hematita ( $Fe_2O_3$ ), um mineral composto de óxido de ferro (nos climas mais temperados, é a goetita o mineral que domina a composição dos solos, aportando neste caso, uma coloração mais amarelada).

As condições que favorecem a ferralitização são um pH baixo do solo, estabilidade geomorfológica durante períodos prolongados de tempo e um material de origem de fácil meteorização e com alto teor de ferro e de alumínio.

O conteúdo de argila e a textura são relativamente constantes com a profundidade solo. Isto é devido à atividade biológica, responsável pela mistura dos diferentes materiais (nas regiões tropicais o agente principal responsável pela mistura do solo são os cupins, enquanto que nas zonas temperadas, são as minhocas).



A foto abaixo foi tirada no Brasil, mostra um típico perfil de Ferralsol: profundo, sem diferenciação de horizontes e avermelhado. (LMSB)

Apesar de estes solos são capazes de manter altos níveis de vegetação natural (p.ex., floresta úmida tropical), seu manejo para a agricultura é problemático. A quantidade de nutrientes (p. ex. Ca, Mg, K, P) costuma ser deficiente. O pH baixo, com a presença de altos níveis de hidróxidos de ferro e alumínio, faz com que o fósforo não esteja disponível para as plantas. A densa vegetação natural deve-se a um ciclo de nutrientes auto-sustentável; se este ciclo for rompido (p.ex., como resultado do desmatamento, seguido de conversão da terras para a agricultura ou pastagem), o solo perde rapidamente sua fertilidade e torna-se mais vulnerável aos processos de degradação (p. ex. erosão). As práticas agrícolas tradicionais de corte e queima e cultivos temporários-pousio, contavam com este ciclo.



**Acima:** no Brasil os Plinthosols (lá conhecidos como Plintossolos) cobrem aproximadamente 6% da superfície do país. As maiores extensões são encontradas na Amazônia, Baixada Maranhense, norte do Piauí, sudeste de Tocantins, Ilha do Bananal, nordeste de Goiás, Pantanal e nas margens das mesetas do Planalto Central. A plintita (material composto por uma mistura de argila e óxidos de ferro, quase ou completamente sem matéria orgânica) é claramente evidente neste tipo de solos. (MBON)

### “Nitidização”

Em Cuba, em várias zonas da América Central e em algumas partes do Brasil, ocorre um processo derivado da ferralitização conhecido como “nitidização”. Este processo pode resultar em solos com estruturas em blocos características, com morfologia nuciforme (em forma de noz), poliédrica e com superfícies reluzentes (daí surge o nome de Nitisols) produzidas pela pressão. Estes solos são geralmente profundos e desenvolvem-se sobre produtos muito finos provenientes do intemperismo de material de origem de médio a básico, com um alto teor de caulinita e/ou ferro (daí a cor vermelha). Em alguns casos, podem ser considerados como solos jovens que exemplificam os processos da ferralitização. Mediante a hidrólise intensiva dos minerais e lavagem do silício e das bases, os processos de expansão e contração resultam nos elementos estruturais descritos anteriormente.



Petroplintita que surge como uma camada dura na superfície do solo. (CG)

## 2. A formação da plintita

Em terrenos planos ou levemente inclinados, sujeitos a flutuações das águas subterrâneas e onde o solo é rico em ferro, costuma aparecer um material chamado de *plintita* (do grego *plinthos*, ladrilho). A plintita, anteriormente conhecida como *laterita*, é uma acumulação subsuperficial de hidróxidos de ferro, argila caulinitica e quartzo. Geralmente forma-se pela segregação do ferro presente no solo, como consequência da saturação de água do mesmo. Este ferro com frequência, provém de terras altas e é transportado pela água em forma de óxido ferroso, em condições anaeróbicas. A concentração de ferro também pode aumentar devido à eliminação dos cátions de silício e íons básicos, através da lixiviação dos compostos dissolvidos pelo intemperismo.



Em alguns casos, onde a plintita é exposta a ciclos repetitivos de umedecimento e secagem, forma-se a petroplintita (plintita irreversivelmente endurecida, também conhecida como laterita. Ver foto acima nesta página). (CG)

Inicialmente, o ferro ferroso precipita em concreções argilosas brandas de óxido de ferro, de cor vermelha escura. Quando é precipitado a quantidade de ferro suficiente e a terra começa a secar, a argila branda torna-se endurecida de maneira irreversível. Este processo ocorre quando a vegetação eliminada, deixando assim a superfície do solo exposta. A plintita pode surgir em forma de concreções (esquelética) ou como uma camada contínua (petroplintita), também conhecida como pedra de ferro. Os solos com petroplintita são especialmente abundantes na zona de transição da floresta tropical para a savana, especialmente nas áreas que antigamente eram mais úmidas. Às vezes, quando a plintita não está demasiado concentrada para formar uma camada contínua, ocorre a formação de pisólitos, uma camada densa de nódulos. Essas camadas por vezes podem aparecer na superfície, devido à remoção do solo entre os pisólitos pelos cupins, para construir seus ninhos.

A plintita exposta, pode em última instância modificar o relevo original, ao funcionar como uma camada protetora contra a erosão do solo subjacente. Com o tempo, partes do solo que não possuem esta camada protetora desaparecem, enquanto que aquelas cobertas por plintita passam a formar parte das zonas mais elevadas da paisagem.

### Rochas ácidas ou básicas

O conceito de rocha ácida, ou o material de origem ácido, refere-se muitas vezes às rochas ígneas, que contêm uma quantidade significativa de sílica ( $SiO_2$ ). Exemplos disto são o granito e riólito.

Pelo contrario, o termo básico dá-se às rochas carentes de quartzo e que contêm minerais como feldspato ou a biotita. Exemplos de rochas básicas são o basalto, a dolerita e o gabro. O termo máfico é cada vez mais comum em vez de básico.

### 3. Formação de solos com alto conteúdo de alumínio

A ação do intemperismo sobre os argilominerais, como a vermiculita e a esmectita, através dos processos anteriormente descritos, pode aumentar o conteúdo em alumínio dos solos. Na prática, estes processos estão restritos a ambientes em que o material de origem é básico (com esmectita disponível) ou silicoso (vermiculita), o clima é úmido e a topografia permite o movimento da água.

A maioria dos minerais silicosos produzidos pelos processos de intemperismo são dissolvidos e lixiviados do solo. O restante dos argilominerais são translocados da parte superior do solo para a inferior, formando um horizonte rico em argila em subsuperfície. Estes argilominerais são, por sua vez, intemperizados, liberando grandes quantidades de alumínio solúvel (dependendo da composição da rocha original, também podem liberar ferro ou magnésio).



A fotografia é de um perfil do solo no Brasil que contém altos níveis de alumínio. Este tipo de solo é comum nas áreas tropicais e subtropicais. O alto conteúdo de alumínio nos solos é derivado do intemperismo rápido de argilas de alta atividade, como a vermiculita e esmectita. (HS)

### Os Argilominerais

Os minerais de argila pertencem a um menor grupo de partículas cristalinas, concretamente os filossilicatos de alumínio hidratados (p. ex. caulinita,  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), por vezes com quantidades variáveis de ferro, magnésio, metais alcalinos, e outros cátions.

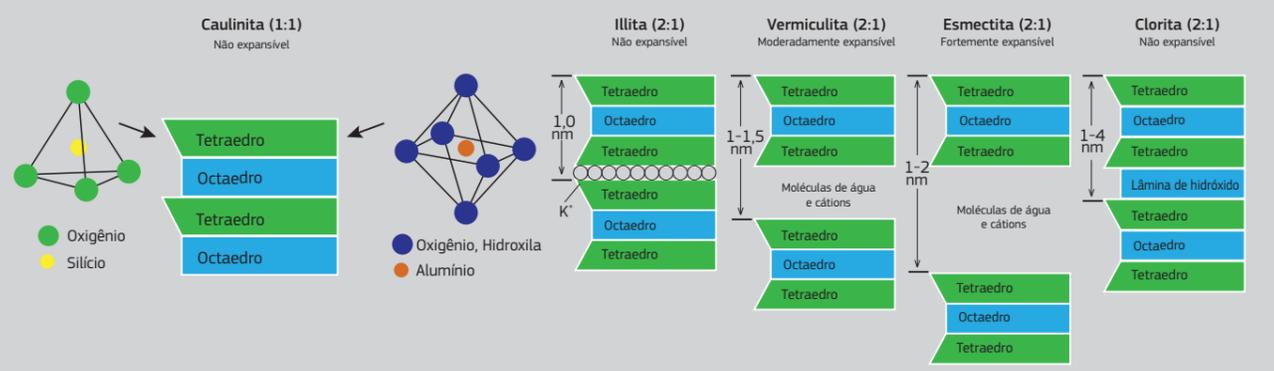
Os minerais das argilas são compostos de estruturas semelhantes as das micas, formando lâminas planas hexagonais de espessura inferior a 2 micrômetros. Isto resulta na formação de partículas com superfícies muito grandes. A illita e a caulinita têm uma superfície específica de 97  $m^2/g$  e 16  $m^2/g$ , respectivamente. Para entender este conceito, a estrutura pode ser comparada com um baralho de cartas. Quando as cartas são empilhadas, o baralho é pequeno, mas se colocarmos uma carta ao lado da outra, elas cobrem uma maior superfície.

Normalmente nos referimos aos minerais de argila como 1:1 (uma camada tetraédrica combinada com uma octaédrica-caulinita) ou 2:1 (uma lâmina octaédrica entre duas folhas tetraédricas de mica-esmectita). Entre estas camadas podem-se armazenar grandes quantidades de água.

Os minerais de argila têm a propriedade de atuar como ímãs para certas partículas carregadas (cátions e ânions), mantendo-os retidos até serem requeridos pelas plantas. Os termos de baixa e alta atividade da

argila são utilizados para descrever este processo. Os minerais de argila inalterados apresentam uma área superficial relativamente grande e são capazes de reter os cátions básicos, tais como o cálcio, magnésio, potássio e sódio. Estes cátions podem ser liberados para o sistema radicular quando necessário, e as argilas que os contêm recebem o termo "alta atividade", devido à sua alta capacidade de troca catiônica (CTC). Exemplos de tais argilas são a vermiculita e a montmorilonita. Como resultado, estas argilas tendem a produzir solos muito férteis. No entanto, a contração e a expansão do solo devido à expansão e contração dos minerais de argila pelos ciclos de umedecimento e secagem irá levar a uma drenagem deficiente.

Nas argilas de baixa atividade ocorre o contrário: devido ao fato de serem mais degradadas, possuem menor superfície que as argilas de alta atividade. Por tanto, têm uma menor capacidade para reter e fornecer os nutrientes (isto é, baixa CTC). Estas questões têm implicações no manejo agrícola do solo, já que por vezes torna-se necessário aplicar nutrientes de maneira artificial ou manejar o teor de matéria orgânica do solo para a que os nutrientes estejam disponíveis para as plantas.



### Principais processos de formação de solos vulcânicos

Estes solos são desenvolvidos a partir de materiais de origem vulcânicos (como cinzas, tufos, pedra-pomes e lava) e apresentam uma alta proporção de vidro vulcânico (também conhecido como obsidiana). O intemperismo do material poroso vulcânico libera íons de alumínio ( $Al^{3+}$ ), o qual, juntamente com a matéria orgânica (húmus), formam complexos organo-minerais estáveis (são estáveis porque o alumínio impede a degradação da matéria orgânica). O ferro ferroso livre ( $Fe^{2+}$ ) normalmente é precipitado na forma ferrihidrita.

A maioria dos materiais vulcânicos é amorfa (ver Glossário). Estes contêm uma grande área superficial e, por isso podem absorver grandes quantidades de água (a principal diferença entre a forma de um sólido cristalino e de um amorfo é a sua estrutura; num sólido cristalino existe uma ordenação dos átomos que se repetem sucessivamente, enquanto que nos sólidos amorfos não se pode prever onde poderá ser encontrado o próximo átomo). No entanto, devido à sua elevada capacidade de troca aniônica, estes materiais amorfos caracterizam-se pela forte fixação de fosfatos, ao que implica que os cultivos neste tipo de solos requerem grandes aportes de fósforo.



Perfil de um solo vulcânico (Andosol) no Chile. As cores da camada superficial e do subsolo variam de acordo com a região em que o solo se desenvolve: são mais escuras nas regiões frias em relação às regiões tropicais. O horizonte superficial é muito poroso e apresenta torrões ou estrutura granular. (MF)



Cultivo de milho em solo vulcânico no Equador. Os solos vulcânicos têm um grande potencial agrícola porque são muito férteis, especialmente quando originados de cinzas neutras ou básicas que não foram expostas a uma lavagem excessiva. A forte fixação de fósforo pode ser remediada por meio da calagem, adição de matéria orgânica ou adubação fosfatada. Os solos vulcânicos são fáceis de trabalhar e apresentam boas propriedades em termos de armazenamento de água. (SLCS)

### Bauxita

Nas áreas tropicais caracterizadas por suas estações chuvosas podemos encontrar laterita e bauxita. Estes minerais ricos em alumínio são formados pelo resultado das altas temperaturas e da grande quantidade de bactérias que decompõem a matéria orgânica do solo. A bauxita é uma formação especial da petroplintita (ver página anterior): contém uma alta proporção de óxidos de alumínio e, portanto, menor quantidade de ferro.

### Você sabia...?

- A América Latina é responsável por 32% da produção mundial de bauxita. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial (com 31 milhões de toneladas em 2011), depois da Austrália (número 1) e China (número 2).
- A denominação de bauxita provém de uma aldeia do sul da França, Les Baux, onde foi descoberto por primeira vez o seu conteúdo de alumínio, sendo assim denominada pelo geólogo francês, Pierre Berthier, em 1821.
- A bauxita é o principal minério de alumínio, um dos metais mais importantes devido a sua grande quantidade e variedade de usos (hoje em dia é superado apenas pelo ferro/aço). O alumínio é utilizado em forma pura, coligado a outros metais ou a compostos não-metálicos. Em estado puro, as suas propriedades ópticas são aproveitadas para fabricação de espelhos (tanto domésticos como industriais – p. ex., para telescópios refletores). O seu uso mais popular é como folha de alumínio, de uma espessura tão pequena que a torna facilmente maleável e, portanto, adequada para embalagens de alimentos. É também utilizada para a fabricação de latas e embalagens tetrabriks.

## Principais processos de formação de solos orgânicos

A acumulação, decomposição e armazenamento da matéria orgânica do solo são processos fundamentais para a formação do solo e são responsáveis pela manutenção de certas funções do mesmo. A matéria orgânica do solo provém de restos animais e, principalmente, vegetais. Naqueles ecossistemas onde a produtividade vegetal é alta, matéria orgânica não decomposta pode acumular-se na superfície do solo em duas condições: baixas temperaturas ou excesso de umidade. Ao longo do tempo, estes resíduos vegetais são aproveitados pelos organismos do solo, tais como bactérias, fungos ou minhocas. Durante este processo, a água, o dióxido de carbono e vários compostos orgânicos (p. ex. açúcares, amidos, proteínas, hidratos de carbono, ligninas, ceras, resinas e ácidos orgânicos) são transformados em compostos inorgânicos, tais como os sais de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), por meio de um processo denominado mineralização. Alguns destes compostos são imobilizados ao serem incorporados aos exoesqueletos dos macro invertebrados do solo e somente ficam disponíveis para as plantas quando morrem e se decompõem. Este processo, juntamente com a liberação de  $\text{CO}_2$  do solo, são vitais para o crescimento das plantas.

A incorporação anual de resíduos de origem animal e vegetal no solo varia de acordo com a região climática, o tipo de vegetação e o uso da terra. As florestas tropicais devolvem ao solo cerca de 15 toneladas de resíduos vegetais por ano, enquanto que os campos temperados, 8 mil toneladas/ano, os solos agrícolas, 2 mil toneladas/ano e apenas 0,1 mil toneladas/ano são devolvidos nos ecossistemas de tundra. A decomposição das raízes contribui com 30-50 % destas cifras.



Manguezais na costa do Golfo do México perto de Tamasopo (México). Esta paisagem é caracterizada pela presença de Histosols desenvolvidos sobre sedimentos marinhos. Quando estas áreas são drenadas, há o potencial de surgirem os solos ácidos sulfatados. (CG)

### • Formação de turfa

A turfa é material orgânico escuro, pouco consolidado e rico em matéria orgânica. É constituída por uma massa esponjosa, em que ainda é possível observar os componentes vegetais que a originaram. Estes não foram decompostos devido ao frio, a natureza ácida do terreno ou, ainda, devido à falta de oxigênio em condições de encharcamento (condição denominada anaeróbica). As turfas aparecem em diferentes tipos de zonas úmidas, como os pântanos. A formação desta turfa e o seu grau de decomposição (ou humificação) depende principalmente da sua composição e do grau de encharcamento. Distinguem-se três tipos de turfa: sáprica (altamente decomposta, com fibras vegetais pouco reconhecíveis), hêmica (moderadamente decomposta, onde as fontes da matéria orgânica são musgos e herbáceas) e fíbrica (ligeiramente decompostas, fibras vegetais claramente reconhecíveis, a maioria são musgos de género *Sphagnum* e restos vegetais lenhosos).

A turfa acumula-se de maneira muito lenta (poucos mm por ano). Isto deve ser considerado na hora da sua exploração, já que a recuperação de turfeiras em estado degradado requer centenas ou mesmo milhares de anos.

### • Formação de húmus

A decomposição da matéria orgânica leva à formação de novos materiais, conhecidos no seu conjunto como húmus, uma substância muito escura - devido à grande quantidade de carbono contida - amorfa e menos suscetível à decomposição em relação à matéria orgânica fresca ou pouco decomposta. As características específicas do húmus dependem da natureza da vegetação e do solo.

Em áreas de vegetação caducifolia (perde as folhas na estação seca), surge uma camada fina (de uns 5 cm de espessura) de matéria orgânica fresca, ou seja, sem decomposição, sobre um solo acastanhado e poroso, em que a matéria orgânica e mineral misturam-se pela ação dos organismos no solo, como as minhocas. Existe uma transição gradual para o solo mineral. Este tipo de húmus é conhecido como mull.

Pelo contrário, nas florestas de coníferas, a camada de matéria orgânica fresca é mais espessa (> 15 cm) e parcialmente decomposta, onde habitam os fungos. Neste caso, o limite com o solo mineral é mais evidente, geralmente de cor preta devido a presença de material completamente humificado, mal drenado e com ausência de minhocas no solo. Conhece-se como húmus mor.

Um tipo intermediário entre o húmus *mor* e mull é o *moder*.

As características do solo influenciam diretamente na formação do húmus, especialmente os níveis de cálcio, nitrogênio e fósforo. Uma floresta com espécies de folha caducifolia forma o húmus de tipo mull sobre solos calcários férteis, enquanto que sobre os solos ácidos arenosos, pouco férteis, forma-se o tipo mor.

A camada orgânica do solo designa-se como horizonte O ou H.

H: corresponde a acumulações de matéria orgânica fresca ou parcialmente decomposta na superfície do solo, a qual está saturada com água durante longos períodos.

O: corresponde a uma camada de matéria orgânica fresca sem decompor ou ligeiramente decomposta sobre a superfície do solo, sem que esta esteja afetada pelo encharcamento durante longos períodos. O conteúdo mineral nestes horizontes é muito baixo.

A matéria orgânica nos horizontes H e O podem dividir-se em: i) ligeiramente decomposta, quando detritos vegetais são visíveis a olho nu; ii) moderadamente decomposta, quando se torna difícil de distinguir os restos vegetais a olho nu; iii) fortemente decomposta, quando a camada orgânica está completamente decomposta sobre o solo mineral.

## Solos em que a atividade humana é um fator de formação

Os solos cultivados têm sofrido alterações nas suas propriedades químicas, devido à mistura da camada superficial com o subsolo por meio de práticas agrícolas (aração, gradagem). No entanto, existem vários exemplos no território da ALC em que em lugar de se deteriorar, o solo foi formado, ou as suas propriedades foram profundamente alteradas com as atividades humanas, tais como a adição de matéria orgânica em forma de resíduos domésticos, o aporte de água em forma de irrigação ou certas formas de cultivo. Exemplos destas atividades são:

1. Aração em grande profundidade, muitas vezes com formação de terraços;
2. fertilização ou adição correção com carbono, fertilizantes orgânicos (adubos orgânicos e verdes, resíduos domésticos, excrementos humanos). Exemplo destes é a terra preta de índio do Brasil (ver foto abaixo e uma explicação mais detalhada na página 122);
3. adição de terra (p. ex., areia de praia, conchas de moluscos) ou sedimentos através da irrigação; e
4. cultivos por alagamento, como os campos de arroz.

Um caso especial de modificação do solo pela atividade humana é a drenagem. Trata-se de uma atividade que causa um grande impacto no solo, uma vez que modifica a frequência e a duração dos períodos em que o solo encontra-se saturado de água. Nos solos naturalmente encharcados, a drenagem permite o cultivo, favorecendo a circulação do oxigênio. No entanto, práticas como a drenagem de turfeiras podem resultar na perda irreversível do solo.

## Solos jovens

Nas zonas áridas ou em áreas montanhosas é difícil se encontrar evidências dos processos de formação dos solos. O desenvolvimento do perfil é inexpressivo devido ao lento ritmo dos processos pedogenéticos, devido às condições climáticas pouco favoráveis no caso das zonas áridas (p. ex. seca prolongada) e ao relevo acentuado nas montanhosas, prevalecendo à erosão (remoção) sobre os processos de formação do solo. Os teores de matéria orgânica são geralmente muito baixos nessas áreas

A escassez de produtos alterados nos solos jovens permite observar cores semelhantes aos do material original, ou seja, a química do solo é parecida ao do material de origem. Nestes solos, o desenvolvimento de um horizonte superficial delgado, pouco estratificado, e/ou alterações sutis de sua cor e/ou estrutura podem indicar o início do desenvolvimento de um horizonte A. Com o passar do tempo (ou por alterações nas condições climáticas), a expressão dos horizontes vai se tornando mais evidente e as propriedades do solo irão se diferenciar da rocha matriz. A escassa coerência desses solos torna-os muito propensos à erosão em áreas de declive acentuado.

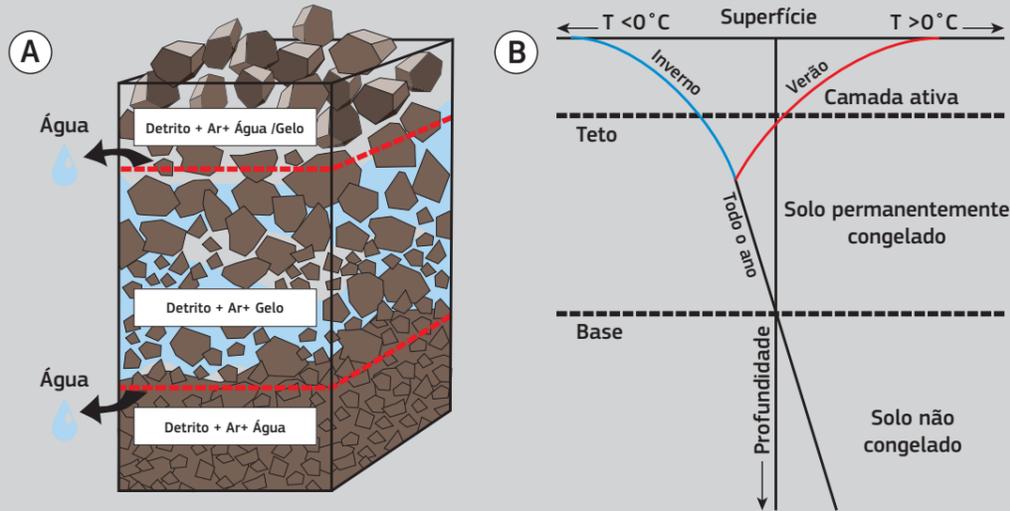


Perfil da Terra Preta de Índio com grandes fragmentos de cerâmica. Situa-se no sítio arqueológico Hatahara, na Bacia Amazônica, Brasil. (EHN)

## Solos afetados pelo frio

Embora ALC seja geralmente associada a ambientes quentes, também podemos encontrar permafrost nos ambientes periglaciais da Cordilheira dos Andes ao norte da Patagônia. Nesses solos ocorrem ciclos de congelamento e descongelamento.

A combinação entre temperaturas abaixo do zero, presença de água e gelo, é o que diferenciam estes solos daqueles situados em áreas não permanentemente congeladas. Em alguns casos, a espessura do solo congelado pode superar os 50 metros. Uma das características mais importantes do permafrost é a capacidade dos solos congelados funcionarem como reserva de água sólida. À medida que o estado permanente de congelamento no solo se desenvolve, vai capturando água que, por sua vez, é congelada e armazenada. Durante o verão, parte desta água armazenada é liberada, sobretudo na camada ativa que cobre o permafrost.



Como é um solo permanentemente congelado dos Andes?

O caráter pedregoso do ambiente periglacial Andino lhe caracteriza características únicas, como, por exemplo, o efeito de isolamento térmico que têm o ar entre os blocos da parte superficial, protegendo-o do calor.

Na imagem da esquerda, a figura A é uma representação esquemática de uma seção de um perfil do solo dos Andes com permafrost e os materiais que o compõem. O esquema à direita (figura B) descreve a variação na profundidade da temperatura durante um ano. A parte azul indica as temperaturas mais frias durante o inverno, a vermelha as mais quentes durante o verão; durante o resto do ano a temperatura varia entre estes dois extremos. Onde ambas as curvas se unem, a temperatura do solo não depende das flutuações sazonais: mantém um gradiente constante.

O solo permanentemente congelado tem um teto ou limite superior que o separa de uma camada superior e uma base ou um limite inferior que o separa da litosfera. Estes limites coincidem com a isotérmica de 0°C anual.

A camada superior que protege o solo permanentemente congelado é conhecida como a camada ativa. Esta congela durante o inverno e descongela nos meses de verão, entregando água aos rios de montanha. Parte dessa água que alimenta os rios pode proceder do descongelamento da parte superior do permafrost caso esteja em desequilíbrio com o clima atual.

Abaixo do solo permanente congelado há solo descongelado, associado ao calor interior da Terra, o qual derrete o gelo. Diferente da água gerada na camada ativa, a água da base flui de maneira constante para os rios e/ou aquíferos ao longo do ano. (LR)

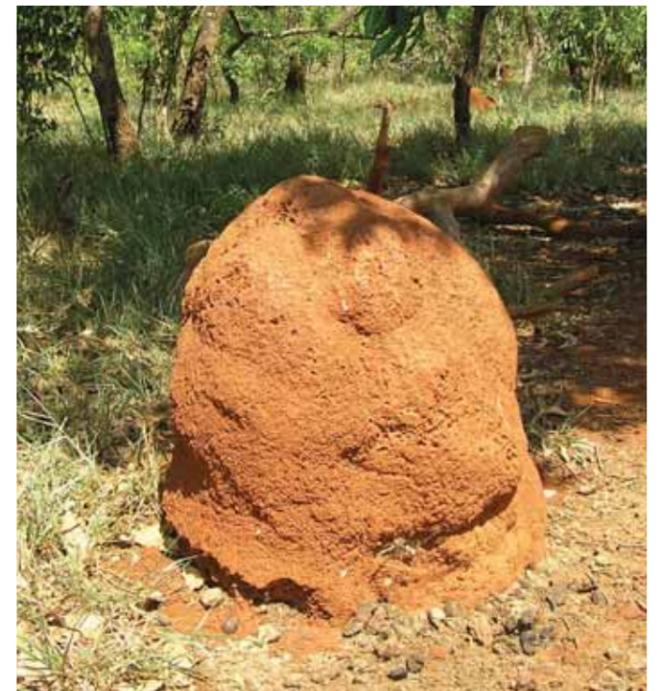


A Argentina é o segundo país, depois do Chile, em termos de superfície coberta pelo gelo (abriga ao redor de 15% da superfície coberta por gelo da América do Sul). Na foto de acima aparece um vale onde predomina o permafrost de montanha nos Andes Secos (Mendoza, Argentina). Pode-se observar o caráter pedregoso da superfície dos solos afetados pelos ciclos de congelamento e descongelamento (crioclastia), típico dos ambientes periglaciais, bem como uma espetacular geleira rochosa, também denominada geleira de escombros. (LR)

## Principais processos biológicos de formação do solo

Para completar a lista dos processos chave de formação do solo, é fundamental incluir a atividade dos organismos vivos. Cada vez mais se dá maior importância a esse componente (especialmente aos macroinvertebrados) como fator regulador dos processos do solo. Os processos biológicos incluem desde a fragmentação da rocha matriz pelo efeito das raízes, até a influência de organismos vivos na ciclagem dos nutrientes, a bioturbação ou a decomposição dos minerais de argila por ação das bactérias.

Num sentido amplo, a atividade dos organismos do solo está intimamente relacionada ao clima. A atividade biológica é praticamente nula nas regiões quentes e secas. Sob condições de baixas temperaturas ou de excesso de umidade a atividade bacteriana é reduzida, o que faz com que a matéria orgânica acumule-se no solo. Nas condições de calor e umidade dos trópicos, os fungos e as bactérias são muito ativos. Nas áreas temperadas, aqueles animais que constroem galerias ou tocas, como pequenos mamíferos, besouros ou minhocas, podem ter uma grande influência sobre os processos do solo, uma vez que facilitam o movimento da água através destes canais e galerias. Nos trópicos, o papel dos cupins e das formigas é de vital importância na reciclagem de nutrientes e na redistribuição de partículas do solo.



**Acima:** cupinzeiro no município de Lagoa Formosa (Minas Gerais, Brasil) em pastagem. A matriz do solo pode ser homogeneizada de uma maneira muito intensa devido às atividades de cupins, formigas, minhocas ou outras faunas do solo. Essa homogeneização é conhecida como pedoturbação biológica ou bioturbação. (HS)  
**Abaixo:** os túneis formados pelas minhocas formam macroporos e canais no solo que permitem a infiltração da água e circulação do ar. (RH)



## Os cupins

Os cupins são insetos que formam colônias e cuja estrutura social é muito sofisticada. Esses insetos dividem o trabalho em grupos específicos, produzem gerações sobrepostas e cuidam dos indivíduos jovens de maneira coletiva. Alimentam-se principalmente de matéria vegetal morta, geralmente na forma de madeira, serrapilheira ou, ainda, de excremento de animais.

## Processos de formação do solo na ALC

Na ALC, pela sua vasta extensão, podemos encontrar uma enorme variedade de processos de formação. Diversas latitudes cruzam o continente, desde a subtropical no mar do Caribe, passando pela equatorial ou tropical, até chegar a zonas temperadas do sul da Argentina e do Chile. A esta variabilidade soma-se o zoneamento vertical, com altitudes que vão desde o nível do mar até 6.000 m.

As condições anteriores produzem grandes variações de temperatura, o que influencia nos processos de intemperismo dos compostos minerais e na acumulação da matéria orgânica. Por outro lado, também existem diferentes tipos de material de origem ou substrato geológico: na ALC pode-se encontrar desde materiais calcários de origem marinha, sobretudo nas ilhas do Caribe, até materiais de caráter ígneo muito antigos, como os escudos da Guiana e do Brasil, os quais originam in situ uma multitude de tipos de solo, bem como aluviões derivados desses materiais de origem, com um alto grau de intemperismo (como ocorre na Venezuela, parte das Guianas e no Brasil). Por outro lado, cabe mencionar a diversidade de materiais de origem existentes (rochas metamórficas e calcárias) nas grandes planícies aluviais de sedimentos mais recentes derivados dos Andes, situados ao norte do continente e no Uruguai. Quanto aos materiais de origem vulcânicos, estes predominam tanto na América Central como na Colômbia, Bolívia, Chile e Argentina.

A seguir, são descritos os principais processos de formação do solo na ALC.

### Processos de formação mais comuns na América do Sul

Para facilitar a compreensão do texto, nesta descrição são diferenciados os processos em função da sua localização na América do Sul. Foram definidas três grandes áreas: (i) os grandes escudos ou maciços, que são as áreas geológicas mais antigas e estáveis (ii) a cadeia montanhosa andina, a mais longa do mundo, a qual estende-se desde a Terra do Fogo (Chile) até Venezuela e (iii) as várias bacias sedimentares onde os processos de deposição são recentes ou ainda estão ocorrendo.

#### 1. Escudos ou maciços

A área mais extensa em que os processos de formação são relativamente homogêneos na América do Sul ocorre principalmente dos três escudos mais antigos do continente: o escudo da Guiana, localizado principalmente na Venezuela; o escudo brasileiro, principalmente neste país e em parte do Uruguai, Paraguai e Argentina; e o maciço patagônico, ao sul da Argentina. Nestas áreas são encontrados solos derivados diretamente das rochas destes maciços e, nas áreas adjacentes, surgem aluviões provenientes dos mesmos. Os escudos são formados de rochas ígneas do período Pré-Cambriano, principalmente rochas ácidas no escudo da Guiana (p. ex. granitos) e basálticas nos escudos brasileiro e patagônico. Também podemos encontrar rochas metamórficas, como o gnaisse, e sedimentares, como os arenitos



Ferralsol no rio Jari, Floresta Amazônica, Brasil. (BQ)



Tepuy do sul da Venezuela (parte do Escudo das Guianas). Os tepuyes ou tepui são grandes mesetas formadas por arenitos fraturados. No tepuy adjacente encontra-se o Salto del Ángel, a catarata mais alta do mundo, com uma queda de 1.000 m. (JC)

e aluviões pré-intemperizados das rochas mencionadas. Cobrem grandes peneplanícies e altiplanos de grande estabilidade geomorfológica. O clima dominante é tropical úmido com períodos de seca variáveis na Guiana e no meio-norte do Brasil.

O sul do escudo do Brasil possui um clima subtropical, enquanto que no escudo patagônico, o clima é temperado e mais seco. A cobertura vegetal mais extensa é a das vastas florestas sempre-verdes com alta biodiversidade, como a floresta amazônica, seguida das savanas (arbórea, arbustiva e herbácea). No escudo patagônico surgem campos com vegetação arbustiva. Os solos formados nestas áreas tropicais e subtropicais foram submetidos a milhares de anos de intemperismo, com expressivas lavagens de bases e acumulação relativa de sesquióxidos de ferro e alumínio.

O grau de intemperismo é evidenciado pela predominância de argilas do tipo caulinita, óxidos de ferro como a goetita, e de alumínio como a gibbsita. Os processos de acumulação da matéria orgânica pouco expressivos devido às altas temperaturas. Os processos de remoção são geralmente mais intensos devido à alta pluviosidade e lavagem do solo. Os processos de translocação estão relacionados aos movimentos de argila em vários graus para o subsolo, principalmente em climas subúmidos e em materiais mais ácidos. As transformações consistem, sobretudo, na conversão de minerais primários para argilas e sesquióxidos devido às altas taxas de remoção de cátions básicos, as altas temperaturas e ao longo tempo de intemperismo. Como consequência, os solos são predominantemente profundos e vermelhos (Ferralsols e Acrisols).

Por outro lado, as condições na Patagônia resultam num baixo grau de evolução do solo, principalmente devido às baixas temperaturas e a sua pouca lavagem, dando lugar a solos muito pedregosos e superficiais e com baixa evolução mineralógica (Leptosols e Regosols).

#### 2. Cordilheira dos Andes

A segunda maior extensão onde os processos de formação do solo ocorrem com certa homogeneidade, situa-se nas cadeias montanhosas andinas e nas serras da costa norte da América do Sul. As suas altitudes variam de 300 m até mais de 6.000 m, originando uma grande zonalidade vertical de temperaturas e, conseqüentemente, de vegetação e solos. Esta região não é tão antiga em comparação aos escudos, e de muito menor estabilidade geomorfológica, já que está sujeita a importantes movimentos tectônicos.

Como resultado, encontramos vales compostos por falhas e terraços fluviais, também resultantes das alterações climáticas e dos processos erosivos. Os materiais geológicos são de grande diversidade: desde materiais ígneos encontrados no coração dos Andes, até metamórficos de diferentes graus e sedimentares nas encostas (calcários, xistos, lutitos e cinzas vulcânicas, estas últimas principalmente na Colômbia, Equador, Bolívia Ocidental, Argentina e o Chile). A cobertura vegetal também é muito variada pelo efeito das grandes diferenças de balanços hídricos; varia desde uma vegetação espinhosa, própria das zonas áridas, (como a Goajira venezuelana e colombiana e dos desertos do sul da Bolívia e norte do Chile), até florestas tropicais subúmidas e úmidas atuais que dominam na maior parte da ALC. Nas áreas onde ocorrem temperaturas baixas, a vegetação é de porte arbustiva ou herbácea (p. ex., nos páramos ou punas, acima dos 3.000 m de altitude).

As atividades humanas são as principais responsáveis pelo desmatamento nas encostas, provocando a remoção da cobertura vegetal e importantes processos de erosão.

A combinação de fatores de formação resultou em uma grande variedade de solos nos Andes, desde muito pouco desenvolvidos (por serem jovens ou estarem localizados em zonas muito áridas), até solos de desenvolvimento pedogenético médio, com características químicas e mineralógicas variadas. Os processos de acumulação da matéria orgânica também são diversos: são muito escassos nas zonas áridas, enquanto que nas áreas mais úmidas podem chegar a acumular de moderado a alto teor de matéria orgânica (especialmente sob florestas acima dos 1.000 m de altitude. Nos páramos, devido às baixas temperaturas, ocorre a formação de Histosols). Os processos de remoção de bases do solo dependem do balanço hídrico, porém, em geral, são de intensidade moderada a alta, favorecendo a natureza ácida dos solos, com exceção aqueles de origem calcária. Os processos de translocação são bastante evidentes nos solos calcários, com acumulações de carbonatos secundários no subsolo. Também se pode observar movimentos de argila (horizonte árgico) nos solos mais estáveis. Em casos excepcionais, em solos desenvolvidos de materiais de origem muito arenosos e em condições de elevada pluviosidade e baixas temperaturas, ocorrem movimentos de ferro e alumínio ligados à matéria orgânica da superfície para o subsolo (horizontes espódicos e plácicos), especialmente nos páramos. Os processos de transformação dominantes nos Andes são as alterações mineralógicas, que vão desde os minerais primários até estádios intermediários. Exemplos dessas alterações são: de micas a ilitas e de vermiculitas e materiais vulcânicos a alofanos. Os solos representativos destes processos são os Cambisols, Luvisols, Leptosols e Andosols.

### 3. Bacias sedimentares, planícies e vales

Sob estas denominações estão incluídas as grandes bacias ou áreas deposicionais, como a bacia do rio Orinoco (Orinoquia), a Amazônica e a bacia do Rio da Prata, assim como numerosos vales e zonas costeiras de importância agrícola regional. Dentro da Orinoquia, localizam-se as grandes planícies aluviais, principalmente nos lhanos venezuelanos e colombianos. São originados de sedimentos de natureza mineralógica variada, derivados da Cordilheira dos Andes e, em menor grau, dos sedimentos pré-intemperizados do maciço Guayanés. As condições climáticas atuais são predominantemente tropicais subúmidas e úmidas, dominando, nas primeiras, a vegetação de savanas, sendo que em clima mais úmidos, dominam as florestas. Do ponto de vista geomorfológico, estas planícies aluviais podem ser divididas em dois grandes grupos: i) as planícies de inundação ou que possuem deltas internos (formados por combinações de bancos e estuários, com solos jovens e de desenvolvimento pedogenético moderado), como no caso da maior parte dos lhanos centrais e do sul da Venezuela e de Casanare da Colômbia; e ii) os lhanos altos ou planaltos, melhor drenados e com solos mais desenvolvidos, como os do rio Meta e do rio Vichada na Colômbia.

Os processos de formação variam em cada uma destas situações. Assim, a acumulação de matéria orgânica é de baixa a moderada nas planícies (variando conforme o grau de inundação), alto no delta do Orinoco e baixa nos planaltos. A remoção de bases é relativamente baixa nas planícies inundáveis e alta nas mais bem drenadas. As translocações dominantes nas áreas de drenagem deficiente são as dos carbonatos, seguidas das translocações de argilas. Nos planaltos, ocorre o movimento de argila junto com sesquióxidos. As transformações nas planícies mais jovens levam a formação de solos pouco intemperizados e bem estruturados (até chegar a horizontes vérticos) com moderadas alterações na sua mineralogia, enquanto que nos planaltos o intemperismo é acentuado, sendo dominantes os solos dotados de argilas caulínicas. Os solos resultantes da combinação destes processos são: i) nas planícies de inundação: Fluvisols, Cambisols, Phaeozems, Luvisols, Vertisols, Plinthosols e Histosols, e ii) nos planaltos: Acrisols, Arenosols e Ferralsols.

A bacia Amazônica, a maior bacia hidrográfica do mundo (6,2 milhões de km<sup>2</sup>), abrange parte do Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana e, principalmente, Brasil. Inclui as planícies de inundação do rio Amazonas, das misturas de sedimentos dos Andes e do escudo brasileiro. As áreas bem drenadas nas colinas e planaltos são derivadas do escudo brasileiro e apresentam solos muito desenvolvidos. Praticamente, na totalidade da bacia, o clima é tropical úmido ou muito úmido, com períodos secos curtos. A maioria da sua superfície encontra-se coberta por florestas sempre-verdes de alta biodiversidade. Devido à pobreza do material de origem, alta pluviosidade, altas temperaturas e a estabilidade da paisagem, os solos, mesmo sob floresta, apresentam baixas acumulações de matéria orgânica e alto grau de lixiviação (lavagem) das suas bases. Por isso, são ricos em ferro e alumínio, o que lhes confere vários tons de vermelho e amarelo. O predomínio das argilas caulínicas é evidente nestes solos, denotando seu elevado grau de transformação. Os solos dominantes são Acrisols, Ferralsol e Plinthosols.

A bacia do Rio da Prata é a segunda mais extensa bacia hidrográfica do mundo (3,2 milhões de km<sup>2</sup>). Ocupa o centro-sul do Brasil, parte da Bolívia, Uruguai, Paraguai e parte do noroeste da Argentina. É formada pelos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, os quais desembocam no Rio da Prata. Uma boa parte do embasamento da bacia do Rio da Prata é o escudo brasileiro, dominado por basaltos, embora na região Ocidental existam planícies aluviais, e na zona sul, predominam os Pampas de origem eólico (loess) dos Andes argentinos. Na parte brasileira, de Brasília até o sul do país, surgem vastas extensões de planaltos bem drenados, dominados por savanas ou cerrados, com uma ampla diversidade arbórea, com solos bem drenados, vermelhos, ácidos, pobres em nutrientes, com pouca matéria orgânica e dominados por argilas caulínicas. Os solos dominantes são Acrisols e Ferralsols. Mais ao sul da bacia, encontramos serras e planaltos com solos mais férteis, embora propensos a processos erosivos. No sudoeste da bacia, localizada no Brasil, parte da Bolívia e Paraguai, ligado ao rio Paraguai, encontra-se uma das maiores áreas úmidas do mundo, o Pantanal. Trata-se de um delta interno com preenchimento de sedimentos aluviais e sujeito a fortes inundações, e, portanto, há predomínio de processos hidromórficos, resultando na formação de Gleysols

e Plinthosols. Ao leste do rio Paraguai e até a margem inferior do planalto andino, situa-se o Gran Chaco, cobrindo parte da Bolívia, Paraguai, Brasil e norte da Argentina. Representa uma extensa planície aluvionar, com florestas estacionais, que é atravessada por rios sinuosos, com inúmeros meandros e planícies muito férteis (p. ex. as planícies de Santa Cruz), com áreas mais áridas ao oeste e mais úmidas ao leste. Os solos são mais salinos ao sul (como nas planícies do rio Salado). Consequentemente, os seus solos são muito variados, com processos de pouca lavagem até muito lavados, de pouco a moderado grau de desenvolvimento de translocações e de transformações minerais, favorecendo, assim, a presença de Fluvisols, Cambisols, Luvisols, Solonetz e Solonchaks.

Mais ao sul surgem as Grandes Planícies ou os Pampas argentinos que cobrem cerca de 56 milhões de hectares, formadas por depósitos de loess provenientes dos Andes (material de origem vulcânico), que abriga os melhores solos na ALC. É uma área plana, de clima seco no oeste, subúmido no centro e úmido em direção ao oceano Atlântico. Os solos são ricos em matéria orgânica bem humificada, com abundância de carbonato de cálcio ou ricos em bases e sais, especialmente nas áreas mais secas. Também apresentam processos de translocação de argilas, que são mais acentuados na presença de sódio, nas áreas mais úmidas. Os solos mais representativos são os Kastanozems e Phaeozems, embora também sejam encontrados os Solonchaks e Vertisols.

Finalmente, cabe mencionar os importantes vales e áreas costeiras, especialmente da região do Pacífico: o vale central do Chile, as planícies costeiras do Peru e os vales dos grandes rios colombianos. O vale central do Chile abrange, na zona norte, uma região desértica onde se dão muito poucos processos de formação do solo (quase unicamente ocorrem acumulações de sais). A pluviosidade neste vale, assim como a vegetação, são suficientes para alterar os materiais aluvionais e vulcânicos. Também são suficientes para produzir abundante acumulação de matéria orgânica, certa lavagem de bases, de translocação de argila e de transformações minerais (moderadas). Portanto, os solos mais comuns nesses ambientes são os Phaeozems, Luvisols e Vertisols.



O Parincota (6.342 m de altitude) é um vulcão localizado na fronteira entre Bolívia e o Chile. Uma das erupções mais violentas, ocorrida há aproximadamente 8000 anos atrás, provocou um deslizamento de terra que originou o lago Chungara (em primeiro plano na foto). (LG)

A parte sul encontra-se próxima a áreas mais frias e úmidas, onde a atividade vulcânica e as geleiras são muito significativas. Lá, os solos são mais lavados e pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético.

A costa peruana estende-se ao longo de aproximadamente 2.500 km. Trata-se de uma área árida e plana formada por depósitos aluvionais, com materiais provenientes dos contrafortes andinos. São solos jovens e pouco desenvolvidos devido à aridez e à falta de vegetação. Nas áreas sob influência marinha predominam os processos de acumulação de sais, onde são encontrados Calcisols e Solonchaks (Fluvisols, no caso de áreas de deposição fluvial e Arenosols quando há efeito do vento). Os contrafortes andinos em forma de colinas são derivados de rochas duras, levando à formação de Regosols e Leptosols.

Os vales colombianos de grande extensão e fertilidade correspondem aos vales de Cauca e de Magdalena. São planícies aluvionais conformadas pelas planícies de inundação e seus terraços associados. As planícies de inundação apresentam os componentes clássicos, como os bancos, as concavidades e as depressões ou estuários. Estão relacionadas a climas quentes, de pluviosidade sazonal e com diversos materiais aluvionais, normalmente jovens. Os processos de formação dos solos dependem, em grande parte, da drenagem. Assim, nos bancos mais altos, bem drenados e de textura arenosa, ocorrem poucas acumulação de matéria orgânica e formação de estrutura, havendo escassa lavagem de bases; nas áreas intermediárias pode haver maior acumulação de matéria orgânica, translocação de argilas e alterações minerais moderadas, enquanto que nas áreas mais baixas ocorrem acúmulos mais elevados de matéria orgânica e fenômenos de formação de horizontes vérticos devido às condições de má drenagem. Os solos mais comuns nestas áreas são: Fluvisols, Phaeozems, Vertisols, Stagnosols e Gleysols. Nos terraços, por serem mais antigos em relação às planícies, os processos estão mais orientados para a translocação de argilas e lavagem de bases e transformações minerais, resultando na formação de Luvisols e, em menor proporção, de Acrisols.

## Processos de formação mais comuns no México e América Central

### 1. Região Mexicana

São muitos os processos que têm esculpido o solo mexicano. A sua origem apresenta uma história singular, já que, ao contrário de outras áreas continentais formadas por grandes placas tectônicas, como os Andes sul-americanos, o território do México é o resultado da fusão de muitas placas, de origens e idades muito diversas. Podemos encontrar quatro placas: a Norte-americana, a do Pacífico com a Península da Baixa Califórnia, a dos Cocos ao sul e a do Caribe ao leste. O entrelaçamento entre as placas levou à formação de montanhas e vulcões, entre os quais se destacam o Eixo Neovulcânico, com mais de 900 km de comprimento e de 50 a 250 km de largura, o qual se estende desde a costa do Pacífico até a costa do Golfo do México. Formou-se há mais de 20 milhões de anos, e separa as duas áreas biogeográficas mais visíveis deste país: Aridoamérica e Mesoamérica (ao sul do Eixo. Ver Glossário para a Mesoamérica).

Na Árido-américa (ao norte do Eixo), destacam-se os processos edáficos típicos de climas áridos: cimentação, salinização e vertissolização. A cimentação é favorecida por uma abundância de carbonatos ou sulfatos de cálcio na rocha matriz ou, bem como pela presença de lençol freático pouco profundo que favorece a deposição desses compostos nas zonas baixas, cimentando a massa do solo com ajuda de uma temperatura elevada do solo.

A salinização ocorre pela evapotranspiração excessiva e pela influência natural dos 11.000 km do litoral. Nas áreas salinas o lençol freático encontra-se sobressaturado de sais. Quando ascende por elevação capilar, pode chegar à superfície do solo. Pela intensa radiação solar esta água evapora-se e os sais solúveis são acumulados ou precipitados. Durante a cristalização, os sais preenchem os poros e os espaços vazios no solo, dispersando as partículas e mantendo uma consistência friável do solo mesmo em ambiente seco.

A vertissolização é um processo complexo que se pode resumir da seguinte forma: processo de inversão do solo movimenta o solo por fendilhamento, expansão e contração, formação de faces de deslizamento dos agregados do solo com formação de superfícies de fricção (slickensides) e desenvolvimento de microrrelevo Gilgai na superfície do solo (tal como explicado na página 26).



O vulcão "Rincón de la Vieja" representa um dos cinco vulcões ativos de Costa Rica. No Parque Nacional de mesmo nome podem-se observar manifestações da intensa atividade geológica: fontes termais que dão origem a quedas d'água muito quentes; lagoas sulfatadas que ocupam pequenas depressões nas quais água barrenta borbulha continuamente; orifícios onde se elevam jatos de vapor, principalmente durante a estação chuvosa; e pequenos vulcões de lama de rocha derretida de várias formas e dimensões. (MVR)

Por outro lado, na Mesoamérica são mais frequentes processos associados ao maior teor de umidade: gleização, lixiviação e humificação, dentre outros. O processo de intemperismo é muito mais intenso nos climas mais chuvosos e quentes devido à ação da hidrólise sobre os minerais primários das rochas matrizes. Quando o processo de acumulação de hematita e goetita é intenso, são comuns as cores vermelhas no solo e a formação de nódulos duros ricos em ferro (ver ferralitização, página 27).

A existência da biomassa vegetal em abundância nestes lugares gera maior quantidade de material morto sobre a superfície, o que, associado à predominância de ácidos húmicos (ver "húmus" e "humificação" no Glossário) pouco móveis, a existência de um teor elevado de bases (especialmente cálcio) e a presença de condições climáticas relacionadas a períodos secos, resulta na diminuição da mineralização de resíduos orgânicos, o que leva a uma maior acumulação de matéria orgânica em forma de húmus.

### 2. Áreas vulcânicas: o Eixo Neovulcânico

O processo mais característico produzido nos solos vulcânicos é a formação de alofana (andossolização). Este composto forma-se em condições de média a alta acidez, em meios saturados ou muito úmidos, pela rápida meteorização dos vidros vulcânicos ou, com menos frequência, a partir de feldspatos. Através dos processos de envelhecimento e cristalização, a alofana pode gerar outros minerais, como a metahalosita ou a imogolita.

No caso particular do Eixo Neovulcânico, o processo mais importante é o de andossolização, resultante da hidrólise das cinzas vulcânicas devido à boa drenagem em climas úmidos (em climas secos estes solos podem ser formados apenas a partir de cinzas básicas recentes). Existe outro processo de andossolização em que os quelatos (ver glossário) estão saturados com alumínio relativamente imóvel (mais típico dos Andosols na América do Sul que dos Andosols mexicanos). As características mais importantes destes solos vulcânicos são: a alta fixação de fósforo, alta retenção de umidade e baixa densidade do solo. Estes solos são suscetíveis à erosão eólica e hídrica.

### 3. Ilhas do Caribe

As ilhas do Caribe, também chamadas de Antilhas, surgem em duas etapas bastante diferenciadas (conhecidas como "Arcos de Ilhas" e "Período Platafórmico"). Dividem-se em Grandes Antilhas (Cuba, Espanhola: Haiti - Santo Domingo, Porto Rico e Jamaica) e Pequenas Antilhas (Guadalupe, Martinica, Dominica, Trindade e outras).

A formação de solos nestas ilhas está condicionada por diversos fatores, mas principalmente pelos processos geomorfológicos e clima. Os processos geomorfológicos dão lugar a três formas de relevo: montanhas, planaltos e planícies. O clima tropical influencia na transformação dos minerais e na lavagem das substâncias, levando a formação de solos muito ácidos.

Assim, nas regiões montanhosas em relevos estáveis, pode ocorrer a ferralitização, às vezes acompanhada da lixiviação e formação de potentes crostas de *intemperismo* (ver glossário). Nestas condições, podem ocorrer os Ferralsols férricos, Acrisols e Alisols. No entanto, no caso dos relevos instáveis, muitas vezes jovens, a transformação de substâncias minerais dá origem a sialização (ver Glossário), com formação de solos jovens, tais como Cambisols e Phaeozems (ou Luvisols se ocorrer lixiviação)

Nas planícies jovens, formadas de sedimentos argilosos ricos em esmectitas, ocorre a vertissolização, com formação de Vertissolos. Também podem ocorrer processos aluviais, dando lugar à formação de Fluvisols, bem como gleização, com a formação de Gleysols. O processo de acumulação de turfa não é muito comum (apenas apresenta-se de forma significativa nas Grandes Antilhas, como, p.ex., em Cuba, formando os Histosols).

Nas planícies cársticas do Neógeno (ver Glossário), os solos desenvolveram-se através da ferralitização, da nitidização e lixiviação, levando a formação de Ferralsols, Nitisols e Lixisols, respectivamente. Os Nitisols aparecem na maioria das ilhas do Caribe.

Nestas ilhas, o vulcanismo é pouco expressivo, ao contrário do que acontece no México e na América Central. Apenas está presente em três ilhas: Martinica, Dominica e Guadalupe. A partir dos materiais vulcânicos nessas ilhas, a andossolização forma os Andosols.

## Funções-chave do solo

Embora muitas vezes não se considere como tal, o solo é o centro de quase todos os processos dos quais dependem os ecossistemas e, por sua vez, o bem-estar da humanidade. Fornece, regula e sustenta inúmeros serviços ecossistêmicos, dos quais dependem a segurança alimentar, o refúgio, o controle de inundações, de doenças e o patrimônio cultural, através de cinco funções fundamentais:

- **Meio físico: habitat e biodiversidade** – O solo é o suporte sobre o qual as plantas desenvolvem, ao mesmo tempo em que representa o habitat para a fauna e os microrganismos do solo. Oferece um ambiente muito diverso do ponto de vista físico, químico e biológico. Os assentamentos humanos dependem do fornecimento de alimentos, fibras e combustíveis procedentes de cultivos agrícolas e florestais, que, por sua vez, são proporcionados pelo solo.
- **Ciclagem de nutrientes** – O solo armazena, libera e recicla os nutrientes e outros elementos essenciais para a vida. Durante estes processos biogeoquímicos os nutrientes são transformados em formas assimiláveis para as plantas, armazenados no solo, incorporados à água subterrânea ou liberados para a atmosfera.
- **Ciclo hidrológico** – O solo atua como regulador de drenagem, fluxo e armazenamento de água; deste modo, fica disponível para os organismos do solo, bem como podem recarregar os aquíferos. A compactação pode anular a capacidade do solo para desempenhar estas funções e promover eventos potencialmente catastróficos, como as inundações.
- **Filtro e tamponamento** – O solo atua como um filtro que protege a qualidade da água, do ar e de outros recursos. As substâncias tóxicas ou o excesso de nutrientes podem ser regulados, de forma que não estejam disponíveis para os organismos vivos.
- **Suporte para as atividades humanas e provisão de princípios ativos medicinais** – As estruturas construídas pelo ser humano assentam-se sobre o solo, o qual também abriga os tesouros arqueológicos. Fornece o ambiente para cultivar alimentos e também tem uma influência na saúde humana, uma vez que muitos medicamentos, como alguns antibióticos, são sintetizados através de bactérias e de fungos do solo.

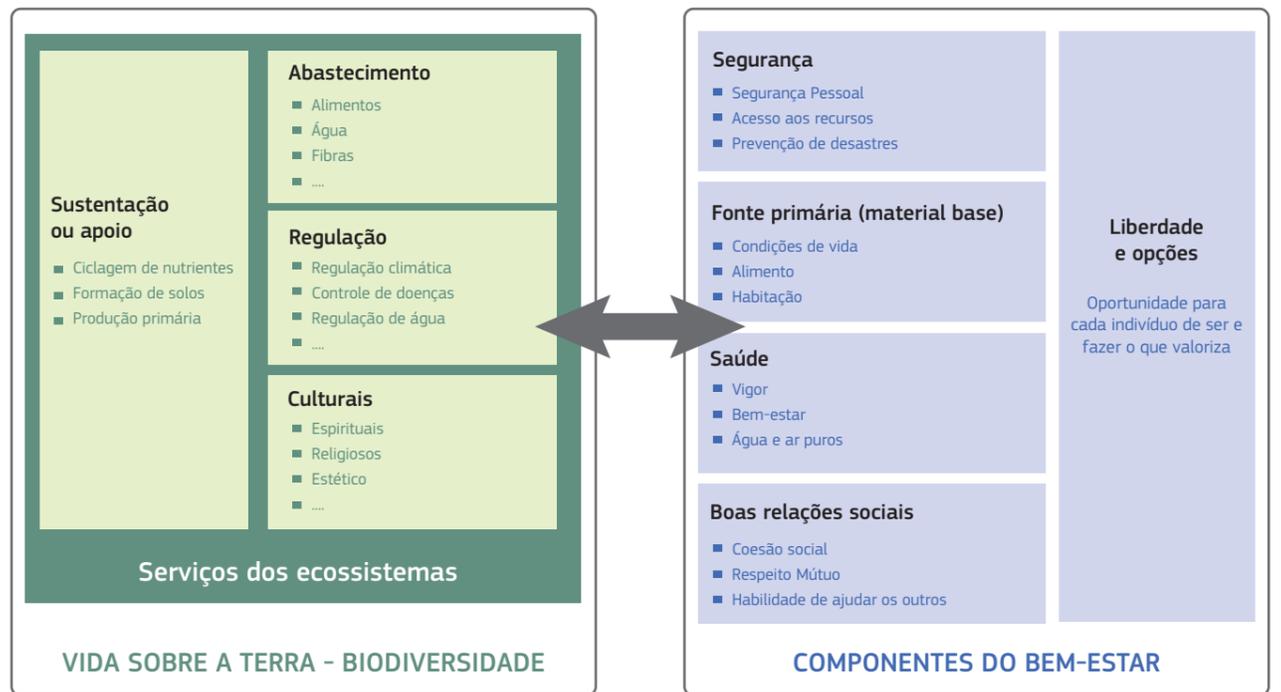
## Ciclagem de nutrientes

Entende-se por ciclagem de nutrientes a transferência de elementos entre o solo, as plantas e a atmosfera. Num ecossistema natural e equilibrado, esta transferência é auto-sustentável e cíclica. No diagrama da direita ilustra-se, de forma geral, este processo. Os distintos elementos contêm diferentes "ciclos da vida". Através de processos de transformação, estes elementos são formados e armazenados no solo em formas inorgânicas ou orgânicas. Se as condições são favoráveis, alguns dos elementos são consumidos pelos organismos, os quais, ao morrerem e se decomporem, devolvem os elementos à terra para que o processo possa continuar.

Mesmo que cada nutriente apresente um ciclo específico, vários elementos aparecem em mais de um ciclo. Alguns ciclos, como o do nitrogênio, carbono, oxigênio e enxofre, implicam em transferências entre a atmosfera, o solo e as plantas, enquanto que outros podem desenvolver seu ciclo apenas abaixo da terra. As fases mais importantes destes ciclos se referem à troca de nutrientes entre os três âmbitos principais:

- **Armazenamento no solo na forma inorgânica:** em cada fase de crescimento, as raízes das plantas só podem ter acesso a uma pequena fração das reservas inorgânicas do solo de fósforo, potássio e cálcio, elementos provenientes do intemperismo dos minerais, da chuva e das partículas presentes na atmosfera, da mineralização da matéria orgânica e da aplicação de fertilizantes inorgânicos. Nestes casos, os nutrientes são compostos por íons presentes na solução do solo e de íons trocáveis adsorvidos pelos minerais de argila e matéria orgânica (ver a continuação);
- **Armazenamento nos organismos vivos no/sobre o solo:** inclui os nutrientes armazenados nos animais, plantas e microrganismos. Para os elementos com ciclos rápidos (p. ex., o potássio), o armazenamento desta forma é muito significativo.

## Nosso bem-estar depende dos ecossistemas



Fonte: Avaliação Ecosistêmica do Milênio

Relação entre os serviços prestados pelos ecossistemas e o bem-estar humano. As funções do solo desempenham um papel fundamental em quase todos os processos do ecossistema. A avaliação Ecosistêmica do Milênio define os serviços "ecossistêmicos" como aqueles benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Estes benefícios podem ser de dois tipos: diretos ou indiretos. Consideram-se benefícios diretos os serviços de aprovisionamento e os serviços de regulação. Os benefícios indiretos são os serviços de apoio. Existem também bens "não materiais" que são classificados como serviços culturais. (MEA) [5]

Como acontece com alguns parâmetros pedológicos, as funções do solo são difíceis de se medir diretamente, especialmente quando se trata de áreas extensas. Por isso, para poder avaliar a qualidade e o desempenho do solo, muitas vezes é necessário recorrer a outros indicadores relacionados a estas funções.

Alguns destes indicadores de qualidade são descritivos e de aplicação no campo (p. ex., se a drenagem for rápida ou não) enquanto que outros, quantitativos, devem ser avaliados por meio de análise de laboratório (p. ex., valor do pH ou do teor de carbono).

Os indicadores podem ser agrupados em três categorias: químicos (p. ex., a condutividade elétrica a fim de avaliar os requerimentos nutricionais das plantas), físicos (p. ex., características hidrológicas do solo, como a retenção da água, para poder avaliar a disponibilidade de água para as plantas) e biológicos (p. ex., ciclo de nutrientes para avaliar a respiração do solo). O teor de matéria orgânica transcende estas categorias, ao estar relacionado a todas as funções e ser, ao mesmo tempo, um indicador da qualidade do solo.

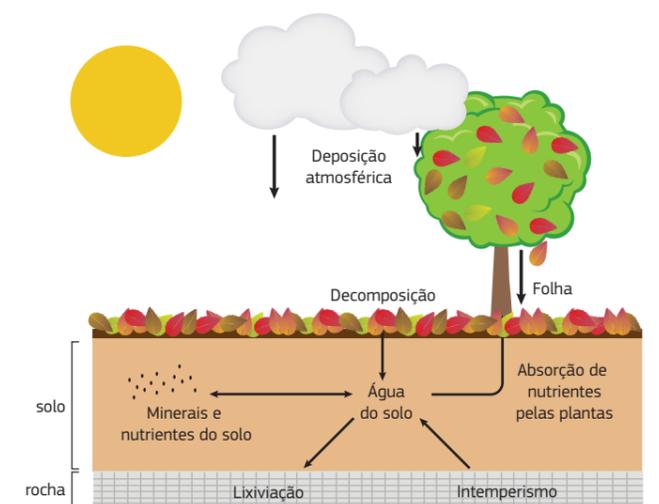
- Quando os organismos morrem, são decompostos e passam a formar parte das reservas orgânicas do solo.
- Armazenamento no/sobre o solo dos restos dos organismos: desta maneira fecha-se o ciclo ao decompor os restos dos organismos vivos (ver página 24).

Como resultado, existem diferenças significativas na distribuição dos elementos dentro do solo. Os nutrientes são liberados em profundidade pelo intemperismo dos minerais e, em seguida, são absorvidos pelas raízes das plantas, para posteriormente serem transferidos às partes aéreas das mesmas; a seguir são redepositados no solo na forma de matéria orgânica fresca. Com o aporte de precipitação há o enriquecimento das reservas da superfície do solo. O nitrogênio tende a acumular-se no horizonte A, rico em matéria orgânica, e diminui gradualmente com a profundidade. O fósforo comporta-se de maneira semelhante. No entanto, por ser praticamente imóvel no solo, 90% tende a permanecer nos primeiros 30 cm superficiais do solo. No caso do potássio, o número se aproxima de 50%. O enxofre também tende a acumular-se na superfície em ambientes temperados, embora, no caso de solos tropicais, ocorrem concentrações mais elevadas no subsolo.

Na realidade, cada ciclo é um processo de equilíbrio entre as entradas e saídas de nutrientes. As entradas podem ser de forma natural, como a fixação biológica de nitrogênio, ou por fora do sistema (p. ex., fertilizantes orgânicos e inorgânicos). As saídas de nutrientes incluem sua eliminação completa do sistema através das colheitas, do vento, da erosão hídrica e da lixiviação.

Uma das principais fontes de nutrientes para as plantas é a matéria orgânica do solo, a qual melhora as propriedades biológicas, químicas e físicas do mesmo. Os resíduos vegetais são a fonte principal de matéria orgânica do solo, enquanto que o estrume e a urina, são fontes secundárias. Nos campos agrícolas

deve-se aplicar grandes quantidades de insumos orgânicos a fim de melhorar os níveis de matéria orgânica. No entanto, muitos métodos de cultivo atuais consomem muitos mais nutrientes do que devolvem ao solo. A situação é particularmente evidente nas monoculturas de cereais as quais removem quase toda a planta do campo.



Esquema geral do ciclo dos nutrientes. Os nutrientes do solo podem ter origem na atmosfera, na decomposição de resíduos vegetais ou no intemperismo de minerais. Estes permanecem retidos na matéria orgânica e nas partículas de argila, que os liberam lentamente na solução aquosa do solo, de forma que possam ser utilizados pelas plantas. No entanto, os nutrientes podem ser perdidos através da lavagem. (MSS)

O esgotamento dos nutrientes contribui diretamente para a diminuição da produção de alimentos per capita nas pequenas propriedades agrícolas. Os seus proprietários não são capazes de aplicar a quantidade adequada de nutrientes devido ao alto preço dos fertilizantes inorgânicos ou devido à falta de máquinas agrícolas. A crescente pressão sobre o uso da terra faz com que aquelas práticas tradicionais, como os longos períodos de pousio, que melhoram o teor de nutrientes do solo e reconstruem a sua fertilidade, sejam geralmente difíceis de aplicar.

As possíveis soluções passam por praticar uma agricultura de conservação que ajuda a manter os níveis de nutrientes naturais através de práticas sustentáveis de manejo da terra ou através da combinação de adubos orgânicos com insumos inorgânicos. Outras fontes de insumos orgânicos, como os resíduos orgânicos domésticos, resíduos agro-industriais e águas residuais ricas em nutrientes, poderiam contribuir para a eficiência da ciclagem de nutrientes, embora haja que se ter precaução para evitar a contaminação do solo e dos alimentos. Por último, um maior conhecimento dos processos químicos e biológicos que determinam a disponibilidade dos nutrientes do solo para as plantas permitirá otimizar os ciclos dos nutrientes e maximizar a eficácia do seu uso.

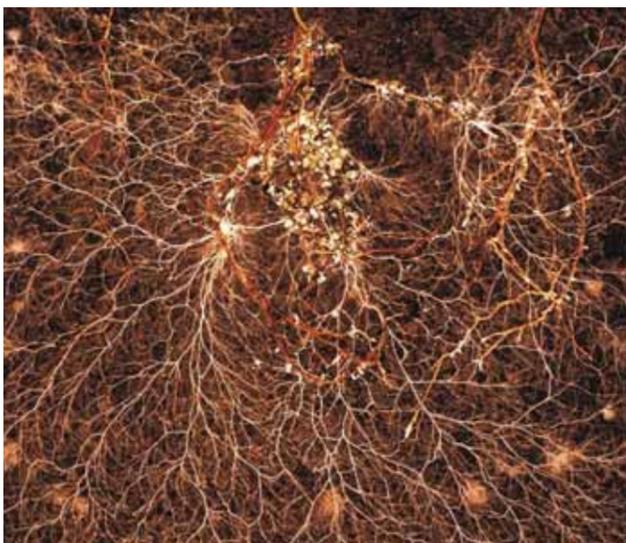
### O ciclo do nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos elementos essenciais para as plantas, já que forma parte da estrutura da clorofila, dos ácidos nucleicos (ADN, ARN) e das proteínas. Apesar de ser abundante no ar, o nitrogênio atmosférico não pode ser aproveitado pelas plantas e animais, devendo passar para um estado em que possa ser utilizado. A água da chuva contém quantidades substanciais de nitrogênio na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Ambos os elementos são de fácil absorção pelas raízes das plantas, desde que incorporados ao solo. A decomposição da matéria orgânica resulta na mineralização do nitrogênio orgânico, liberando o íon de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) no solo. Sob certas condições de temperatura, umidade, arejamento e com presença de determinadas espécies de plantas, o íon amônia é oxidado e passa a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), ambos são formas disponíveis para as plantas. O nitrogênio também pode ocorrer no solo como resultado do intemperismo mineral, pela adição de urina ou aplicação de fertilizantes minerais.

Existem certos tipos de bactérias (p.ex. do gênero *Rhizobium*) que podem converter o nitrogênio atmosférico ( $\text{N}_2$ ) em amônia ( $\text{NH}_3$ ) por meio de uma relação simbiótica com os nódulos das raízes de algumas plantas leguminosas, como o trevo (gênero *Trifolium*) e a soja (*Glycine max*). Este processo denomina-se fixação biológica de nitrogênio. Aprendemos com essas simbioses que se desenvolvem em condições naturais e, hoje em dia, a utilizamos para tornar a nossa produção agrícola mais eficiente. As bactérias fixadoras capturam o nitrogênio atmosférico para que possa ser utilizado pela planta. Desta maneira, é possível produzir cerca de 45 milhões de hectares de soja na América Latina sem que seja necessário usar fertilizantes nitrogenados.

As plantas convertem amônia em óxidos de nitrogênio e aminoácidos, os quais formam proteínas e outras moléculas. Em troca, a planta fornece açúcares para as bactérias fixadoras de nitrogênio e mantém um ambiente anaeróbico (livre de oxigênio) na zona radicular para que as bactérias possam existir. O pH do solo, os teores de matéria orgânica e a disponibilidade de micronutrientes como o cobre, podem influenciar na distribuição e atividade dessas bactérias.

Nos ecossistemas naturais, o crescimento das plantas é relativamente lento e a captura anual de nitrogênio é baixa (p. ex., 30 kg N/ha) se comparada à captura das plantas cultivadas, muito mais exigentes em nitrogênio (p. ex. 500 kg N/ha). Por outro lado, a colheita geralmente envolve a remoção de matéria orgânica do campo e do solo, que no ciclo natural iria se decompor sobre o solo. Isto significa que, sob condições de cultivo, existe uma exportação de N e os outros elementos do solo para outro lugar. Neste caso, o ciclo natural de N não é suficiente para manter o crescimento ideal dos cultivos e torna-se necessário adicionar N sintético ao solo. A adição de fertilizantes para contrabalancear a deficiência de N do solo proporciona o aumento do crescimento das plantas, maior produção de proteínas e maiores produtividades de grãos e frutas.



Micorrizas crescendo ao redor do sistema radicular da planta. Estas relações simbióticas permitem à planta explorar mais volume do solo do que alcançariam apenas com as suas raízes. Deste modo, certos elementos (fósforo, nitrogênio, potássio) e a água do solo são captados de maneira mais eficiente. Além disso, a proteção fornecida pelo fungo faz com que a planta seja mais resistente a mudanças de temperatura e acidificação do solo proveniente da presença de enxofre, magnésio e alumínio. Certas reações fisiológicas do fungo fazem com que a raiz mantenha-se ativa por maior período de tempo do que se não tivesse micorrizada. O termo deriva-se do grego *mykos* (fungo) e *riza* (raiz). (IDP)

No entanto, o excesso de N (em quantidade acima do que pode ser utilizado pelas plantas) pode ser lavado do solo e acumular-se nos corpos de água. Sob certas condições, isto pode causar o aumento da população de bactérias, diminuindo, assim, a concentração do oxigênio na água até atingir o ponto de causar a morte dos peixes e outros organismos aquáticos.

### O ciclo do fósforo

O fósforo (P) é outro elemento vital para as plantas, já que faz parte da estrutura das moléculas de DNA e RNA, bem como das membranas celulares; regula o processo de divisão celular e a formação das proteínas. A deficiência de fósforo pode ocorrer nas áreas de chuvas intensas ou nos solos argilosos ácidos ou originários de calcário, mas pobres. Os sintomas desta falta de P são um pobre crescimento e ocorrência de manchas foliares verde-azuladas em vez de amarelas. Devido ao movimento do P nas plantas, as folhas mais velhas são as primeiras a apresentar estes sintomas. Os frutos tornam-se pequenos e de sabor ácido.

Dado que o P é um elemento altamente reativo, nunca é encontrado como elemento livre no ambiente natural. Nas rochas aparece como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), enquanto que fora destas é liberado a partir da decomposição de matéria orgânica, dado origem a ortofosfatos (p. ex.,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Estes compostos são rapidamente absorvidos pelas partículas do solo ou imobilizados pelas bactérias que se alimentam de P (p. ex. *Aspergillus*). O fósforo, tanto o inorgânico como o presente na matéria orgânica, frequentemente encontra-se no solo em forma pouco disponível para as plantas.

### Os solos dos trópicos úmidos na ALC

Os trópicos úmidos da América Latina dispõem uma maior proporção de solos ácidos do que as suas contrapartes na Ásia e África, com 81% da superfície coberta por Ferralsols, Acrisols, Alisols e Umbrisols (Oxisols, Ultisols e Dystropepts de acordo com a classificação de Soil Taxonomy americana). As limitações de solo mais comuns na Amazônia são a deficiência de fósforo (90% da área), toxicidade por alumínio (73%), a seca (53%), e as baixas reservas de nutrientes (50%) [26].

Como consequência dos baixos níveis de P disponível no solo e a competição entre os microrganismos do solo, muitas plantas tem desenvolvido uma relação simbiótica com um tipo de fungo. Esta relação dá lugar às micorrizas, as quais permitem expandir e melhorar o sistema radicular da planta para facilitar a rápida absorção de P (ver imagem nesta página, acima).

## Os nutrientes no solo e o crescimento das plantas

### Macronutrientes

Os macronutrientes são essenciais para o crescimento das plantas e são necessários em grandes quantidades [108].

**Potássio (K).** É fundamental para a maioria das funções das plantas, tais como o controle estomático, a manutenção da turgescência dos tecidos e balanço de cargas durante a absorção seletiva dos íons através das membranas radiculares. Também funciona como uma enzima em muitas reações bioquímicas. O potássio é muito móvel e de fácil extração das folhas das plantas para poder ser utilizado pelos microorganismos do solo e pelas raízes. Nos solos ácidos o K pode formar parte da estrutura de minerais insolúveis (micas e feldspatos), pode estar parcialmente disponível em argilominerais do tipo 2:1 (ver página 24), pode estar mais disponível quando associado a argilas e húmus na forma de colóide ou, ainda, pode estar na forma muito disponível às plantas quando presente na solução do solo. O K dissolvido na solução do solo como íon é facilmente submetido à lavagem, embora estas perdas causadas pela erosão não causem graves problemas.

**Cálcio (Ca).** Forma parte das paredes celulares dos tecidos vegetais. Ajuda a manter o P disponível na zona radicular, ligando-o a outros íons. Ao estar fixado nas paredes celulares, não é lavado das folhas e nem circula na planta. A deficiência de Ca provoca um crescimento lento da planta, um reviramento das folhas jovens e a morte das gemas terminais. O Ca é facilmente lavado do solo.

**Magnésio (Mg).** É o átomo central da molécula de clorofila, além de ser uma enzima fundamental. A deficiência de Mg manifesta-se através da coloração amarela entre as nervuras das folhas. Os valores baixos do pH no solo diminuem a disponibilidade deste macronutriente para as plantas.

**Fósforo (P).** De importância vital para muitas funções das plantas. É o elemento chave da maioria dos fertilizantes e, em geral, os solos não fertilizados são deficientes desse macronutriente. O P forma a "coluna vertebral" das moléculas de DNA e RNA, regula a divisão celular, o desenvolvimento das raízes e a formação de proteínas (ver texto adjacente). Ele é responsável pelo aumento da produtividade dos cultivos.

### Micronutrientes

São elementos essenciais para o crescimento da planta, embora sejam requeridos em pequenas quantidades (<100 ppm da composição da planta). Muitas vezes funcionam como enzimas.

**Ferro (Fe).** Procede do intemperismo químico dos minerais. A quantidade do Fe nas plantas encontra-se em várias ordens de magnitude menor do que encontrado no solo mineral. O ferro transporta elétrons nas enzimas e também desempenha um papel importante na fixação de N e na formação da clorofila.

**Manganês (Mn).** É um elemento crítico em processos como a fotossíntese, a respiração e o metabolismo do N. Pode ser abundante em determinados solos ácidos, podendo atingir níveis tóxicos se o pH estiver próximo a 5,0.

**Zinco (Zn).** Controla os hormônios de crescimento nas plantas e interfere na síntese de proteínas. Quase a metade dos cultivos de cereais do mundo apresenta deficiências no zinco, resultando em baixos rendimentos. Além disso, a deficiência de Zn nas pessoas é o quinto fator de risco para o desenvolvimento de doenças nos países em desenvolvimento. A presença de Zn no solo está intimamente associada ao magnésio.

**Cobre (Cu).** É especialmente abundante nos solos ácidos arenosos e um importante ativador de enzimas que são encontradas, sobretudo, nos cloroplastos das folhas.

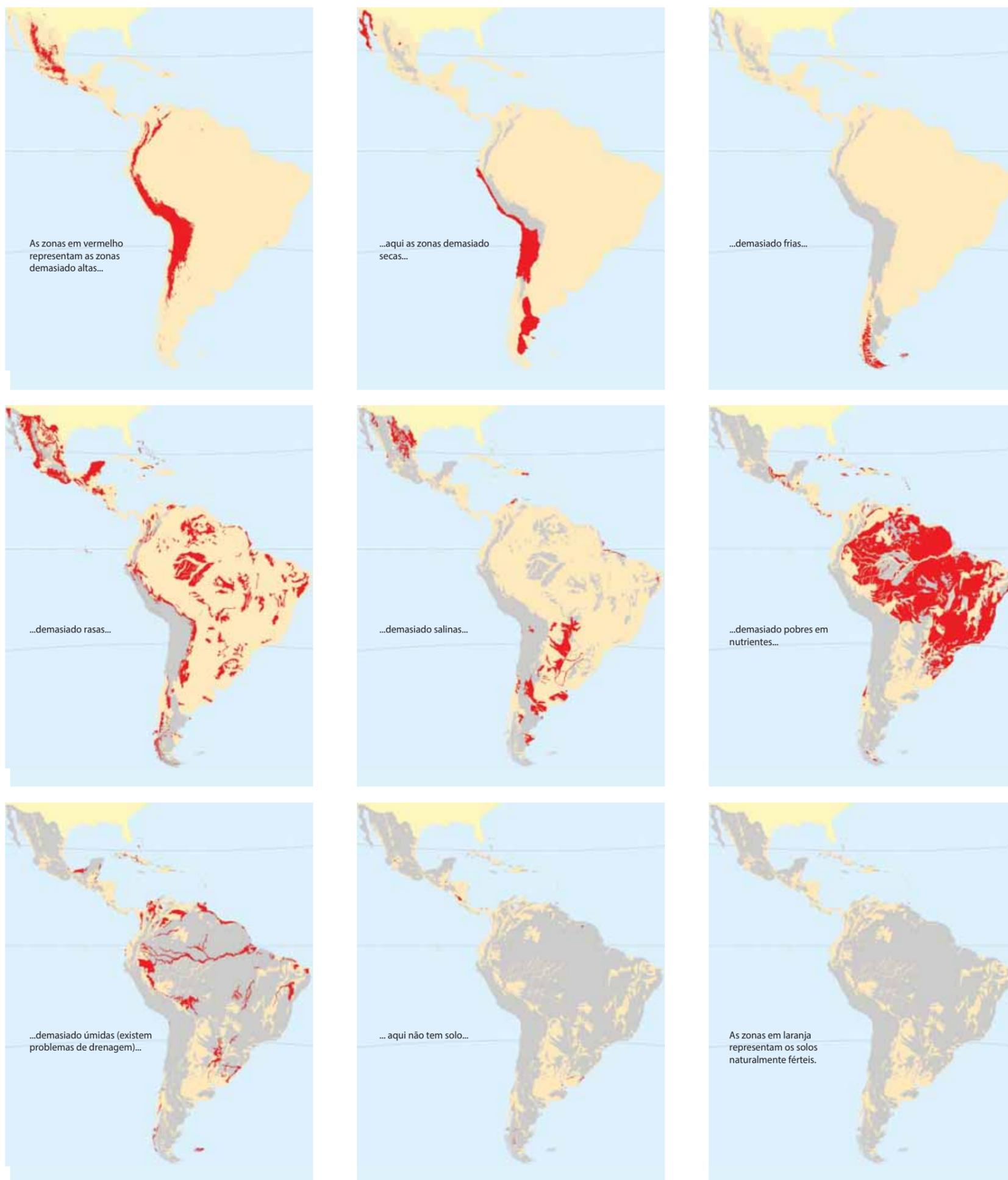
### Contaminantes

São elementos que causam instabilidade, desordem ou danos ao ecossistema. Altos teores destes elementos podem ter efeitos tóxicos.

**Alumínio (Al).** Este elemento não é usado em quantidades significativas pelas plantas. No solo, imobiliza o P e geralmente aumenta a acidez e a concentração de alguns cátions. O alumínio torna-se tóxico a partir de 1 ppm para algumas plantas e acima de 15 ppm para a maioria delas.

**Chumbo (Pb).** Liga-se à matéria orgânica do solo e acumula-se em certos tecidos vegetais. Em concentrações suficientes pode causar dano cerebral.

## Onde se localizam os solos naturalmente férteis na ALC?



O solo é o coração da segurança alimentar. Os solos saudáveis são necessários para sustentar a vida na Terra: neles são cultivados os alimentos e dele se obtém a forragem; fornecem matéria-prima para o aquecimento e para cozinhar; fornecem materiais para a construção civil e utensílios diversos.

Infelizmente, as condições necessárias para que um solo seja considerado naturalmente fértil são pouco extensas na ALC. Nesta página são ilustradas as limitações ambientais para a produção agrícola. Para se poder avaliar a extensão dos solos potencialmente férteis, foram eliminadas aquelas zonas que apresentavam algum tipo de limitação relacionada à fisiografia, ao clima e/ou às características do solo, as quais poderiam impor algum tipo de limitação à produção agrícola intensiva.

O primeiro passo foi descartar as áreas de altitudes superiores a 2.000 m, o que representa aproximadamente 8% da ALC. Inclusive, se algumas áreas da ALC praticam agricultura a esta altitude, não se pode considerar adequada para um tipo de agricultura intensiva. A seguir, calculou-se a percentagem de extensão territorial cujas limitações são as baixas temperaturas (1,6%) ou o clima muito seco (4,8%).

Em relação às características do solo, foram excluídos aqueles muito rasos (os quais somam cerca de 15,2%), os muito salinos (5,5%), os muito pobres em nutrientes (34%) e, por último, foram excluídos os solos muito úmidos (5,3%).

Ainda foram excluídos os corpos de água e as áreas urbanas.

### Os solos potencialmente férteis na ALC

O mapa acima mostra os solos naturalmente férteis da ALC, os quais representam cerca de 25% da área. No entanto, existem limitações a nível local, como, por exemplo, o grau do declive, que não podem ser avaliados de maneira adequada nesta escala. Os mapas aqui representados expressam uma visão generalizada – uma vez que existem métodos para cultivar em lugares onde as condições naturais não são ótimas -, não obstante estes são relevantes no debate sobre a fertilidade do solo e a produção de alimentos.

## A vida no solo e biodiversidade

A grande variedade e quantidade de formas de vida que existem no nosso planeta são possíveis graças à particular combinação de condições que proporcionam a luz solar, a nossa atmosfera com o seu efeito protetor, a água e a delicada membrana que reveste a parte exposta da terra: o solo. No Planeta Terra, a vida se desenvolve nos oceanos (71% da superfície do planeta) ou ainda nas massas continentais. Na terra firme (a superfície que não está coberta por gelo ou água), a vida tem seu sustento no solo. Apesar de estarmos acostumados a admirar a surpreendente biodiversidade que ocorre sobre o mesmo na forma de diferentes paisagens (p.ex., prados, bosques, florestas, campos cultivados), também há vida dentro do solo, já que a maioria de suas funções depende da diversidade das formas de vida que abriga abaixo de sua superfície (multitude de espécies, gêneros, famílias e comunidades de organismos que compõem a biodiversidade do solo). Por isso, às vezes faz-se referência ao solo como uma camada biológica, um produto da atividade dos vários organismos que nele habitam.

A importância do solo reside na sua capacidade de sustentar a vida vegetal. Esta (o principal produtor primário), mediante a fotossíntese, é capaz de fixar o carbono ao produzir biomassa vegetal, formando, assim, a base das cadeias tróficas (ou alimentares) dos seres vivos. Os herbívoros dependem desta biomassa vegetal e os carnívoros, por sua vez, alimentam-se deles. Os resíduos resultantes dessas relações servem de alimento para os organismos decompositores. Deste modo, o solo é o principal gerador de produtos e serviços terrestres.

Sabemos que o solo funciona como um grande organismo vivo capaz de manter uma imensa e complexa atividade biológica ao longo do tempo: respira e altera-se de maneira constante. Isto é possível graças à atuação dos organismos decompositores que eliminam uma grande quantidade de resíduos, os quais, de outro modo, poderiam acumular e impedir desenvolvimento da vida. A atividade microbiana do solo transforma as estruturas de carbono de resíduos vegetais em diferentes tipos de moléculas orgânicas, coletivamente denominadas de matéria orgânica do solo (MOS). Inicialmente, a estrutura destes resíduos é simples, uma vez que se encontram na forma de açúcares, aminoácidos e celulose, facilmente utilizáveis por muitos organismos. A vida útil desses compostos é relativamente curta em consequência da sua fácil decomposição. Porém, à medida que são utilizados e reutilizados sucessivamente por outros seres vivos de maior tamanho, irão transformar-se em substâncias mais complexas, denominadas húmus (ver página 29). O húmus está intimamente ligado à fase inorgânica ou mineral do solo, e pelo fato de não ser uma fonte de energia prontamente disponível, permanece no solo por períodos de tempo relativamente prolongados. Os processos que se desenvolvem no solo são responsáveis pela cor e a estrutura do mesmo, propriedades necessárias para classificar os solos e avaliar o seu estado de saúde.

Pela primeira vez na história, a nossa civilização é, atualmente, mais urbana do que rural e as atividades humanas têm intensificado o uso do solo. Praticamente não existem lugares naturais que não tenham sido interferidos pelo homem.

A intensificação do uso agrícola do solo causa conflitos. Os solos adequados para a agricultura são geralmente os melhores para o desenvolvimento das cidades. Com a intensificação, abusa-se o solo, o qual conduz a sua deterioração e a limitação ou eliminação de suas funções e capacidade produtiva. A perda da cobertura vegetal, a preparação excessiva da terra e a extração permanente de nutrientes, causam a erosão e diminuem tanto o potencial produtivo dos solos como a sua biodiversidade, além de, em muitas ocasiões, contaminá-lo com substâncias tóxicas (p. ex. resíduos industriais e pesticidas), reduzindo igualmente a sua capacidade de produção.

### Reciclagem de comida

Nos Lhanos colombianos existe uma minhoca minúscula que se alimenta das excreções de outra minhoca de maior tamanho (*Martiodrilus sp.*), seguindo os canais verticais escavados por esta. O resultado é uma combinação de pequenos pellets fecais com nutrientes disponíveis para as plantas.



As raízes utilizam os nutrientes dos pellets produzidos pelas minhocas. (JJJ)

Afortunadamente, no solo também encontramos uma propriedade maravilhosa: a resiliência ou a capacidade de resistir às mudanças (de maneira limitada) para manter a sua condição natural. No entanto, para que a resiliência funcione, o ser humano deve ter uma maior consciência dos processos naturais e, agora, mais do que nunca, dos limites nos quais o solo pode funcionar, incluindo os novos eventos de mudanças climáticas.

### Biodiversidade do solo na ALC

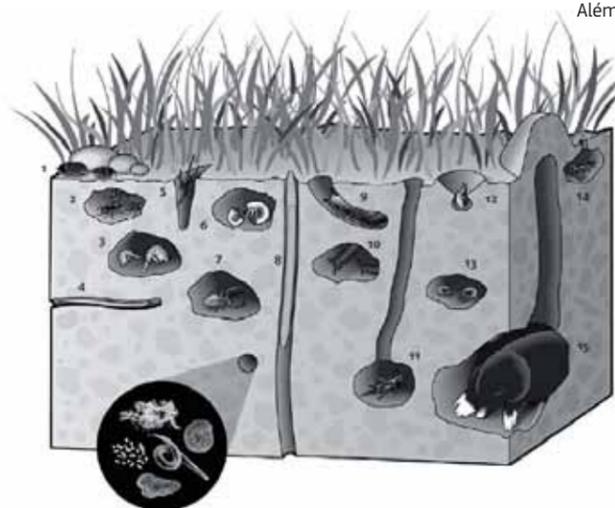
Nos solos tropicais encontramos um grande número de organismos, o que, em parte, é explicado pelo enorme tamanho destas regiões e o seu alto grau de endemismo (ou seja, a ocorrência de espécies que existem exclusivamente nessas áreas). Por exemplo, no Brasil já foram descritos mais de 50.000 espécies que habitam o solo e a serrapilheira (ver tabela adjacente). Apenas algumas delas são de grande tamanho, como algumas minhocas; a maioria são organismos microscópicos (p. ex., nematóides, minhocas minúsculas) ou pequenos macroinvertebrados (p. ex., insetos, besouros e formigas). Os solos tropicais também abrigam uma ampla diversidade de espécies de fungos.

Os organismos do solo podem ter grandes efeitos em nível global. Por exemplo, a minhoca-mansa ou *Pontoscolex corethrurus*, originária do norte da América do Sul, expandiu-se nos últimos 600 anos para a maioria das regiões tropicais do mundo. Em alguns casos, quando a sua população aumenta de maneira significativa em lugares alterados da floresta tropical, provoca a compactação da superfície do solo devido à sua alta produção de resíduos muito finos, limitando a infiltração da água e, conseqüentemente, impactando de maneira negativa o crescimento das plantas. Outra espécie de minhoca, *Enantiodrilus borellii*, tem uma influência ainda maior e realmente domina a paisagem das savanas do leste da Bolívia, com a formação de torres que podem atingir até 30 cm de altura. Estas torres parecem ser a resposta às frequentes inundações que ocorrem na região (província de Beni). Estes "engenheiros" do ecossistema, também podem ter efeitos positivos sobre o crescimento das plantas ao melhorarem a qualidade do solo, como é o caso da minhoca anécica (gênero *Martiodrilus*) dos Lhanos colombianos. A remoção desta minhoca conduz à desestabilização do sistema solo.

A diversidade de formigas nas regiões tropicais, especialmente nas florestas, é também considerável. Por exemplo, podem ser encontradas mais de 500 espécies numa área de 10 km<sup>2</sup>. Atualmente, existem 12.513 espécies descritas no mundo, das quais cerca de 25% são encontradas na América do Sul.

### Você sabia que...?

- Em uma parcela de 10 x 10 m no Peru foram encontradas 114 espécies de formigas.
- Em uma única árvore da floresta amazônica foram capturadas 82 espécies de formigas.



Grupo taxonômico Nome comum (científico)	Número de espécies <sup>1</sup>	
	Brasil	Mundo
<b>Microfauna</b>		
Protozoários (Protista)	[3.060-4.140]	36.000
Nematóides (Nematoda)	[1.280-2.880]	15.000
Rotíferos (Rotifera) <sup>2</sup>	457	2.000
Tardígrados (Tardigrada) <sup>2</sup>	67	750
<b>Mesofauna</b>		
Dipluros (Diplura)	-	659
Ácaros (Acari)	1.500	45.000
Enquitríqueos (Enchytraeidae)	100	800
Pseudoescorpiões (Pseudoscorpionida)	>100	3.235
Colêmbolas (Collembola)	199	7.500
<b>Macrofauna</b>		
Formigas (Formicidae)	2.750	11.826
Besouros (Coleoptera)	30.000	350.000
Vermes (Megadriles)	306	3.800 [8.000]
Opilídeos (Opiliones)	951 [1.800]	5.500
Centopéias (Chilopoda)	150	2.500
Milípedes (Diplopoda)	-	10.000
Escorpiões (Scorpionida)	119	1.259
Caracóis (Gastropoda)	670 [2.000]	30.000
Aranhas (Araneae)	2.587 [10.000]	38.884
Cupins (Isoptera)	290 [600]	2.800
Onicóforo (Onychophora)	4	90
Tatuzinhos-de-jardim (Onychophora) <sup>2</sup>	135	4.250

1. Número de espécies classificadas.

2. Inclui espécies terrestres e aquáticas.

3. Fonte: modificado de Brown, G. G. et al., 2006. Biodiversity and Function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. Sistemas Agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentado. Campos dos Goytacazes, UENF, 6, Parte IV, p. 217-242).

Os números entre colchetes correspondem a estimativas.

**Acima:** Número de espécies de organismos do solo no Brasil em comparação com o resto do mundo.<sup>3</sup>



Minhoca gigante (*Rhinodrilus sp.*) da Amazônia brasileira. Estas minhocas podem atingir até 2 m de comprimento. Formam parte da dieta de algumas povoações nativas da Amazônia. (BRCP)

Além de seres microscópicos como as bactérias, nematóides, fungos e protozoários.

Esquerda: exemplos de vida no solo:

1. Isópodes terrestres ("tatuzinhos")
2. Formigas
3. Colêmbolas
4. Minhocas que habitam próximo da superfície.
5. Aranhas
6. Melolontídeos- Melolontídeos
7. Pseudoescorpiões
8. Minhocas que habitam em grandes profundidades
9. Lesmas
10. Miriápodes
11. Grilo
12. Larvas de formiga-leão
13. Ácaros
14. Dermápteros ("tesourinhas")
15. Toupeira

Não somente existe vida sobre a Terra, como também dentro dela. No diagrama acima são mostrados alguns exemplos de dos habitantes do solo e seus habitats. A presença de organismos vivos é um dos fatores que torna o solo um recurso renovável. (ECOM/LJ)

## O solo e herança cultural

### Preservação do patrimônio cultural e da paisagem

O solo armazena e protege grande parte do nosso patrimônio cultural, como os vestígios arqueológicos e da paisagem. Os solos da ALC estão repletos desta herança, uma vez que, ao longo de diferentes épocas, foram habitados desde pequenas comunidades indígenas até grandes civilizações, como os Maias, os Astecas ou os Incas, fazendo uso dos recursos naturais e modificando a paisagem por meio de suas atividades. Existem inúmeros exemplos de objetos e restos humanos preservados no solo ao longo dos séculos (como as múmias dos Andes ou, mais "modernas", as múmias de Guanajuato, no México) devido às propriedades de um determinado tipo de solo. Também, variações na cor e textura dos horizontes do solo revelam a presença de assentamentos humanos em épocas passadas, como sucede com as "terras pretas" ou *terra preta de índio* (ver página 122).

Além de aportar material para a datação dos assentamentos, estes vestígios arqueológicos nos dão uma idéia sobre as crenças das antigas sociedades através do estudo das práticas funerárias e dos objetos encontrados.

As condições do solo também modelam habitats muito diversos, os quais, juntamente com as práticas de gestão específicas, criam paisagens de grande valor para a sociedade como um todo. Por exemplo, os solos muito férteis e produtivos resultam em paisagens agrícolas, como sucede nos vinhedos da zona central do Chile. Nesta região assenta-se o maior número de habitantes do país e é lá onde nascem as tradições mais típicas do campo chileno.

É importante preservar os solos com alto potencial de abrigar o patrimônio cultural através de uma gestão adequada. Para isto é necessário o controle de práticas de cultivo, como a aração profunda, que não deve ser realizada em lugares susceptíveis a vestígios arqueológicos na primeira camada de solo ou susceptíveis à erosão.

### As Múmias da ALC

As características do solo são um componente crítico para a preservação de objetos e restos orgânicos. Estes últimos (tal como os objetos de origem orgânica, como por exemplo, a madeira), deterioram-se rapidamente devido à atividade biológica e química quando são enterrados no solo ou imersos em água. No entanto, podem conservar-se relativamente em bom estado nos ambientes de seca severa, frios, alcalinos ou pelo isolamento do intemperismo e de microrganismos. Um dos casos mais famosos em relação à preservação de restos humanos na ALC, talvez seja o das múmias incas andinas. A descoberta da múmia "Juanita" no Monte Ampato (Peru), em 1995, a cargo do arqueólogo Johan Reinhard e do andinista Miguel Zárate, tornou-se famosa em todo o mundo pelo bom estado de preservação do corpo, graças às baixas temperaturas. Os cientistas estimaram que Juanita morreu aos 13 ou 14 anos de idade, aproximadamente entre 1440 e 1450 d.C. Acredita-se que foi parte de uma cerimônia Capac Cocha (poderia ser traduzido como "obrigação real"), um sacrifício humano comum no Império dos Incas em honra ao deus Viracocha. Atualmente, encontra-se num museu de Arequipa, no Peru, em uma urna com temperatura em torno de -19°C. Depois da Juanita, em 1999, houve outras descobertas impressionantes, também

nos picos nevados da Cordilheira dos Andes, que superaram o estado de conservação da referida múmia. Trata-se das múmias de Lulluillaco, um vulcão peruano não muito longe da fronteira com o Chile, o qual abrigava no seu cume três corpos preservados de jovens Incas, quase em perfeito estado, durante um período de 500 anos. Muito além do interesse turístico, estas descobertas representam fontes de pesquisas históricas, etnológicas, antropológicas e sociológicas que possibilitam conhecer aspectos ainda discutíveis do período pré-hispânico.

Não tão distantes no tempo, as múmias de Guanajuato, no México, são igualmente um exemplo de preservação de restos humanos devido às extremas condições do solo. Com quase 150 anos de história, as Múmias de Guanajuato se tornaram parte da cultura da cidade, que foi muito próspera durante o vice-reinado espanhol. Os corpos foram enterrados, na sua maioria, durante um surto de cólera na dita cidade no ano 1833 e atualmente são uma famosa atração turística deste estado mexicano. O inventário do "Museu das Múmias de Guanajuato" conta com mais de uma centena de corpos, os quais não foram embalsamados, e sim, a sua mumificação deu-se de forma natural graças às condições do solo.



As imagens à esquerda correspondem ao Museu das Múmias de Guanajuato. Mediante técnicas avançadas é possível deduzir a idade aproximada no momento do falecimento, o ambiente social e até fazer a reconstrução facial. (IAM)



A partir das escavações realizadas em 2002 no sítio arqueológico de Teotihuacan (zona central do México), na conhecida Pirâmide da Lua, confirmou-se que os teotihuacanos tinham laços com os maias após a descoberta de um cemitério que conservava vários objetos de jade (a área de exploração mais próxima deste mineral localiza-se no Vale de Motagua, Guatemala); os objetos esculpidos com esta pedra eram apenas utilizados por membros de famílias reais ou governantes das sociedades maias. Em tempos anteriores já haviam sido encontrados outros cemitérios nas zonas dos maias que sugeriam alguma relação com os visitantes de Teotihuacan. Ambos os grupos colaboraram uns com os outros em questões comerciais e de política. Arqueólogos, historiadores e antropólogos têm formulado várias hipóteses para explicar o declínio e abandono da área (cerca do ano 700 d.C.); entre elas, a mais aceita afirma que os teotihuacanos terminaram com os recursos naturais: erodiram seu solo, que deixou de ser útil para a agricultura, bem como acabaram com a água. O lugar, de fértil, transformou-se em deserto com o tempo. Assim, no século VIII, a população foi disseminada pelo centro do país e foi mais além, já que alguns chegaram até os territórios que hoje ocupam El Salvador e Nicarágua. Os astecas descobriram a cidade e deram o nome que até hoje é conservado - e que significa "o lugar onde os deuses se reúnem". (CG)



Os organismos vegetais utilizam o solo como suporte, uma de muitas funções oferecidas por este meio físico que trata o Atlas. A fotografia corresponde à Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde, na Costa Rica, conhecida por ser um dos santuários tropicais mais importantes e destacados da vida silvestre na ALC, com uma ampla variedade de árvores, samambaias arbóreas, orquídeas, cipós e musgos. (MVR)

## A classificação de solos: denominação e agrupamento

Das páginas anteriores pode-se concluir que o solo apresenta diferentes características em função da variabilidade de seus fatores de formação. Excetuando as áreas recobertas por geleiras, corpos d'água, afloramentos de rocha e áreas urbanas, o solo cobre de maneira contínua a superfície terrestre. As mudanças graduais em suas características fazem com que muitas vezes a comparação entre solos distintos seja difícil. Para tentar resolver este problema, foram desenvolvidos vários métodos para a sua caracterização. Esta importante tarefa, de separar solos distintos ou agrupar solos semelhantes na paisagem, é conhecida como classificação de solos e é um dos ramos mais avançados da Ciência do Solo.

Classificar não é outra coisa que agrupar objetos em categorias ou, como a palavra sugere, formar "classes" relevantes segundo o objetivo da classificação. O propósito de qualquer sistema de classificação é de organizar o conhecimento de maneira que as propriedades dos objetos possam ser lembradas assim como entender a relação entre eles para um determinado fim (p.ex., manejo do solo). O processo implica a formação de classes mediante o agrupamento de objetos com base nas propriedades que eles possuem em comum. Classificar ajuda a abordar a complexidade quando existe demasiados objetos para considerá-los de maneira individual; ao agrupar os objetos de acordo com suas semelhanças no comportamento ou propriedades, são formadas classes úteis para a organização do conhecimento, o que também permite simplificar os processos de tomada de decisões.

As primeiras classificações de solo foram baseadas em algumas de suas poucas características individuais, como a textura (siltosa, argilosa ou arenosa), por exemplo, ou baseadas no seu material de origem (p. ex., material aluvial ou cascalho). Nos finais de 1880, o geólogo russo Dokuchaev, hoje considerado o pai da Ciência do Solo, foi o primeiro a propor uma classificação mais "científica", baseada na combinação das características do solo e sua formação. Esta abordagem, conhecida como o princípio genético, continua servindo como um guia para muitas classificações nacionais de solos. Uma de suas peculiaridades é que distingue aquelas características de origem geológica das que são o resultado dos processos de formação do solo.

### Os distintos enfoques da classificação de solos

Ao longo do século XX foram desenvolvidos novos sistemas de classificação de solos como resultado do crescente interesse pela conservação e manejo deste recurso. Estes sistemas enfatizaram diferentes aspectos, tanto básicos como aplicados. Alguns sistemas baseiam-se na identificação das características naturais dos solos, enquanto que outros focam em características técnicas.

As classificações naturais ocupam-se da diferenciação dos solos com base em suas propriedades intrínsecas, comportamento ou origem, sem fazer referência ao uso que se fazem deles. Alguns exemplos são:

- i. O agrupamento de acordo com as principais características ecológicas, como, por exemplo, os solos dos desertos ou das florestas tropicais úmidas. Estes grupos, geograficamente homogêneos, podem apresentar propriedades e funções diversas.
- ii. Agrupamento segundo os processos de desenvolvimento, considerando-se os fatores de formação e a gênese do solo e. Esta classificação é conhecida como genética. Nela, o solo é considerado como um corpo natural, com uma história e ecologia próprias.

As classificações técnicas estão relacionadas a um propósito concreto do manejo do solo. Os solos podem, então, serem classificados como uma função de variáveis, como:

- Hidrologia: os tipos de solo são agrupados de acordo com o seu regime hídrico (p.ex., classes de drenagem).
- Aptidão agrícola: agrupamento de acordo com a capacidade dos solos de suportar determinados cultivos.
- Usos do solo: agrupamento baseado no manejo do solo para diferentes usos.
- Fertilidade: agrupamento baseado na disponibilidade de certos nutrientes.
- Engenharia: agrupamento de acordo com a capacidade do solo de suportar cargas e estruturas.

A Ciência do Solo, ao contrário de outras áreas da ciência, como a Botânica, não possui um sistema de classificação universalmente aceito. Muitos países desenvolveram seus próprios métodos de classificação baseados em conceitos nacionais ou necessidades práticas e costumam usar nomes locais baseados na identificação de exemplos típicos. Estas abordagens dificultam a comparação entre os solos de diferentes países, uma vez que normalmente não existe uma equivalência perfeita entre classes de solos dos distintos sistemas taxonômicos. A legenda do mapa de solos da FAO para o Mapa Mundial de Solos e a Soil Taxonomy foram uma tentativa para contornar este problema: a necessidade de um sistema de classificação aceito em nível mundial.

### Tendências Atuais

Atualmente existem muitos sistemas de classificação, os quais utilizam critérios quantitativos que demandam trabalhos de campo e análises laboratoriais a fim de avaliar as características do solo e enquadrá-los precisamente em uma determinada classe hierárquica. Esta abordagem tem sido utilizada em muitos países para revisar os seus próprios sistemas nacionais. Os parâmetros quantitativos facilitam a comparação entre os diferentes sistemas de classificação, uma vez que as características específicas permitem estabelecer comparações mais simples em relação aos conceitos mais amplos. Alguns exemplos destes sistemas de classificação são a Soil Taxonomy, do USDA (ver quadro à direita) e a Base de Referência Mundial de Solo (World Reference Base for Soil Resources, conhecida pela sigla WRB, ver página 50); este último é o sistema utilizado nesta publicação.

A WRB baseia-se na Legenda do Mapa Mundial de Solos (FAO, 1974,1988). A primeira edição da WRB é de 1998 e a segunda de 2006. Em 2014, foi publicada a sua terceira edição, que inclui um documento único para classificar os perfis e criar legendas de mapas (na segunda edição são dois documentos separados; consulte as páginas 44 e 60). A idéia da WRB como sistema internacional é que sirva como "guarda-chuva", englobando os sistemas nacionais. As características dos solos que são considerados importantes em alguns sistemas nacionais devem ser consideradas na WRB para facilitar a correlação entre os sistemas nacionais e a WRB.

Dentre as quatro imagens apresentadas abaixo, o par de cima corresponde a solos geograficamente muito distantes entre si, mas que apresentam as mesmas características, o que implica que deveriam ser agrupados juntos em um sistema de classificação (neste caso, Grupo de Solo de Referência: Phaeozem de acordo com a classificação WRB, que será explicado mais adiante, na página 44). (GS, MF)

As fotos na linha inferior são de perfis de solos que têm características muito contrastantes. Trata-se de um Andosol (esquerda) e um Leptosol (direita), ambos localizados em um ambiente árido. No entanto, a natureza do material de origem, a profundidade do solo e o teor de matéria orgânica fazem com que pertençam a classes de solos distintas. (CCG, JAO)



## É possível um sistema universal de classificação de solos?

A maioria dos sistemas de classificação de solos se desenvolveu para um fim concreto, muitas vezes diferente dos objetivos para que hoje são propostos.

No passado, os solos favoráveis para o cultivo agrícola recebiam maior atenção. Além disso, as condições particulares de cada país conduziam a abordagens específicas do recurso solo, sendo pouco frequentes visões mais holísticas. Esta situação resultou, em muitas ocasiões, a falta de acordo entre os membros da comunidade científica.

A interpretação atual das funções dos solos, mais ampla que no passado, e a necessidade de se conhecer o papel que este desempenha nos processos ecológicos, exigem um melhor conhecimento e descrição do mesmo (especialmente solos antropogênicos, de climas frios e tropicais). Além disso, a maioria das chaves utilizadas nas classificações foi desenvolvida antes do "boom" das novas tecnologias de observação, armazenamento e processamento de dados por computador.

Uma conferência realizada em 2009 em Godollo (Hungria) marcou o centenário da Primeira Conferência Internacional de Agroecologia (considerada a primeira conferência sobre Ciência do Solo em nível internacional), os participantes solicitaram à União Internacional de Ciência do Solo (IUSS em inglês: International Union of Soil Science) resolver a questão da falta de uma linguagem comum dentro da comunidade científica no que se refere à taxonomia de solo.

Por tudo isto, durante o Congresso Mundial de Ciência do Solo, realizado em 2010 em Brisbane (Austrália), o Conselho da IUSS aprovou por unanimidade a "Resolução Godollo" e estabeleceu um grupo de trabalho para coordenar a pesquisa e desenvolvimento de padrões comuns, métodos e terminologias no estudo dos solos em direção a um novo sistema universal de classificação. Neste contexto, o termo "universal" significa que o sistema é de adaptação e aplicação comum dentro da Ciência do Solo.

Para mais informação sobre o desenvolvimento deste sistema, pode-se visitar a página web do serviço de conservação dos recursos naturais do USDA (Departamento de Agricultura dos EUA, em inglês):

[http://soils.usda.gov/technical/classification/Univ\\_Soil\\_Classification\\_System/](http://soils.usda.gov/technical/classification/Univ_Soil_Classification_System/)



## Elaboração da classificação de solos na ALC

A classificação dos solos na América Latina e no Caribe foi desenvolvida principalmente na segunda metade do século XX (entre 1960 e 1990, aproximadamente), com a finalidade de realizar um inventário do recurso solo nos países da região. Aquelas nações historicamente vinculadas à França (que se tornaram independentes desta ou não), como Guiana Francesa, Martinica ou Haiti, utilizaram o sistema francês [27]. Este sistema de classificação foi desenvolvido para o território francês e rapidamente disseminou-se no mundo, inclusive para as regiões tropicais [28]. Cabe mencionar que atualmente a França usa outro sistema de classificação de solos, mas seus territórios ultramarinos, atuais ou já separados, continuam usando a classificação antiga.

No Suriname ocorreu uma situação diferente. Nesta ex-colônia holandesa desenvolveu-se uma nova classificação, devido ao sistema utilizado na Holanda [29] não ser adequado para um país de clima tropical. Baseando-se nos trabalhos de Van der Eyk [30], o Ministério do Desenvolvimento do Suriname desenvolveu o seu próprio método para a classificação de solos, que incluía elementos das classificações holandesa e norte americana.

A maioria dos países latino-americanos adotou a Taxonomia de Solos dos EUA (última edição: Soil Survey Staff [31]). Em grande parte isto foi devido à coincidência temporal do inventário de solos na América Latina com o desenvolvimento da primeira versão da classificação norte-americana. A Soil Taxonomy foi um sistema ambicioso que proporcionou um esquema de classificação que engloba todos os solos do mundo, desde os pólos até os trópicos. O caráter universal desta classificação permitiu a sua aprovação em muitos países da ALC. Além disso, em certas etapas do desenvolvimento da Soil Taxonomy, o Serviço de Solos do Departamento da Agricultura dos EUA (USDA) prestou apoio técnico aos colegas da América Latina e do Caribe, o que também contribuiu para a promoção deste sistema de classificação no Hemisfério Sul (há que se considerar que a América Latina é, provavelmente, a principal área de influência dos EUA; o governo deste país e suas grandes empresas agrícolas desempenharam um papel determinante na região ao longo de todo o século XX).

No entanto, muitos países como o Brasil, Cuba e Uruguai não estavam satisfeitos com a Soil Taxonomy norte-americana, especialmente pela pouca atenção dada aos solos tropicais. Os especialistas dos EUA estudavam principalmente os solos de Porto Rico, que decisivamente não são representativos das regiões tropicais devido, dentre outros fatores, ao pequeno tamanho da ilha. Além disso, o uso da classificação dos EUA requeria muitas análises de laboratório e dados de umidade e temperatura do solo; ambas as demandas eram difíceis de atender na América Latina. Brasil e Uruguai desenvolveram sistemas de classificação de solos que parcialmente repetiam os conceitos e a estrutura da Soil Taxonomy, acrescentando certos conceitos e táxons (unidade taxonômica) da Legenda do Mapa de solos do Mundo da FAO - UNESCO, bem como algumas idéias originais das suas próprias escolas nacionais de Ciência do Solo. Em Cuba, o processo foi diferente: os pedólogos cubanos, com base nas escolas russas, francesas e chinesas, desenvolveram um sistema de classificação original que não tem similar em outras partes do mundo.

Os pedólogos mexicanos, tal como ocorreu no Brasil, Cuba e Uruguai, consideraram seus dados de laboratório e de monitoramento de umidade e temperatura do solo insuficiente para utilizar a Soil Taxonomy norte-americana [32]. Por isto, a Comissão para o Estudo de Território Nacional [33] aprovou a legenda do mapa FAO UNESCO com algumas poucas modificações, como base para o inventário de solo do país. O sistema utilizado atualmente no México é a segunda edição do WRB 2006 [34], embora muitos trabalhos científicos usem a Soil Taxonomy, especialmente na parte norte do país.

Considerando-se todos os países da ALC e seus sistemas de classificação de solos, pode-se concluir que a maioria deles utiliza a Soil Taxonomy, seguido pela classificação francesa. Estas duas classificações são usadas em quase o 90% dos países da América Latina e do Caribe.

Embora a grande maioria dos países da região use a classificação norte-americana, o peso geográfico e demográfico do Brasil e do México aumenta consideravelmente o impacto de outras classificações (nacionais ou WRB) dentro do conjunto regional.

A seguir, são brevemente descritas as classificações existentes na ALC (Soil Taxonomy, classificação francesa, classificação brasileira, classificação cubana, classificação uruguaia, classificação do Suriname, classificações indígenas e, finalmente, a utilizada nesta publicação: WRB).

### Soil Taxonomy

A Soil Taxonomy do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) é a classificação oficial dos EUA e é usada em todo o território norte-americano, incluindo Porto Rico, localizado na zona do Caribe. Além disso, a Soil Taxonomy está aprovada como sistema de classificação de solos com fins cartográficos e de pesquisa científica em muitos outros países da ALC, entre os quais se encontram Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, Honduras, Guatemala, Jamaica, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana e Venezuela.

A Soil Taxonomy originou-se do sistema proposto pelo grande pedólogo norte-americano Guy Smith, conhecido como a Sétima Aproximação. Este sistema foi publicado em 1960 e desde então foi disseminado pelo mundo. O sistema baseia-se em horizontes, materiais e propriedades diagnósticas para distinguir os solos, assim como nos regimes de umidade e temperatura do solo. Para o diagnóstico do solo aplicam-se critérios morfogenéticos observados em campo, juntamente com dados de análises das propriedades químicas e físicas obtidos em laboratório. Os limites entre os táxons de solo são rigorosos. A Soil Taxonomy é um sistema hierárquico que consta de seis níveis: ordens, subordens, grandes grupos, subgrupos, famílias e séries.

As ordens representam os táxons mais gerais agrupados de acordo com uma (no máximo duas) característica em comum. As 12 ordens são:

- Alfisols - solos com horizonte iluvial de argila (acumulação pelo fluxo com água percolante) com alta saturação por bases.
- Andosols - solos derivados de cinzas vulcânicas.
- Aridisols - solos de clima árido.
- Entisols - solos quase sem desenvolvimento.
- Gelisols - solos de clima frio, com uma camada permanentemente congelada.
- Histosols - solos orgânicos (principalmente turfa).
- Inceptisols - solos em fase inicial de desenvolvimento.
- Molissols - solos com uma camada superficial rica em húmus e alta saturação por bases.
- Oxisols - solos tropicais muito intemperizados.
- Spodosols - solos ácidos e muito lixiviados com iluviação de alumínio e húmus, podendo ou não conter ferro.
- Ultisols - solos com um horizonte de iluviação de argila e baixa saturação por bases.
- Vertisols - solos argilosos que expandem quando úmidos e contraem quando secos, formando fendas verticais.

As subordens distinguem-se de acordo com os regimes de umidade para as ordens dos Alfisols, Andosols, Inceptisols, Molissols, Oxisols, Spodosols, Ultisols e Vertisols, enquanto que, para os Aridisols, Entisols, Gelisols e Histosols, são utilizados outros critérios. Os grandes grupos agrupam os solos segundo seus horizontes diagnósticos (ver glossário) principais, enquanto que os subgrupos consideram características intermediárias (transicionais para outros tipos de solos), extraordinárias (não são representativas do grande grupo e tampouco transicionais para outros tipos de solo) ou típicas (não são intermediárias e tampouco extraordinárias) na segregação dos solos. As famílias indicam as características qualitativas e quantitativas da textura, mineralogia, saturação por bases e regimes de temperatura, entre outros. Finalmente, as séries de solos representam os níveis mais baixos da Soil Taxonomy e contêm uma sequência de horizontes com uma gama estreita de propriedades. O nome das séries refere-se à sua textura e ao lugar onde foi descrita pela primeira vez.

### Classificação francesa

Entre 1967 e 1992 o sistema oficial de classificação de solos na França e seus territórios ultramarinos foi a classificação da Comissão de Pedologia e Cartografia de Solos [27] (ainda é utilizada em alguns países africanos). ORSTOM (Oficina de Investigação Científica e Técnica de Ultramar) [28] modificou ligeiramente este sistema para permitir seu uso nas regiões tropicais. A classificação francesa baseia-se numa taxonomia hierárquica com quatro níveis principais: classes, subclasses, grupos e subgrupos. Os limites entre as classes não são bem definidos e a caracterização de muitos taxon é descritiva. As classes refletem a fase de desenvolvimento em que se encontra o solo, tal como o processo principal de pedogênese. São as seguintes classes:



Acima: Mapa de solos da América do Sul preparado pelo Ministério da Agricultura da URSS (Eudasm/ISRIC). [34b]

[http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eudasm/EUDASM.htm](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/EUDASM.htm)

Abaixo: os solos da Bacia do Rio Jaguaribe (Brasil) publicado na escala de 1:1.000.000, com o mapa produzido de acordo com a classificação francesa Orstom (Office de la recherche scientifique et technique outre mer) em 1970. (IRD Sphaera No. 827) [34c]



- Solos minerais espessos.
- Solos pouco desenvolvidos.
- Vertisols - solos argilosos que se expandem com a umidade e se contraem quando secos.
- Andosols - solos derivados das cinzas vulcânicas.
- Solos cálcico-magnésicos - solos derivados de rocha calcária ou outras rochas carbonáticas.
- Solos iso-húmicos - solos com uma camada profunda rica em húmus.
- Solos brunificados - solos com um horizonte B transformado por processos pedológicos.
- Solos podzólicos - solos com camada de iluviação de ferro, alumínio e húmus.
- Solos com óxidos de ferro - solos tropicais moderadamente intemperizados.
- Solos ferralíticos - solos tropicais muito intemperizados.
- Solos hidromórficos - solos saturados com água.
- Solos sódicos - solos salinos e alcalinos.
- Planossols - solos com uma camada superficial com traços de encharcamento periódico.

As subclasses indicam as condições climáticas da formação do solo. Os grupos correspondem a um perfil teórico do solo, enquanto que os subgrupos incluem informações adicionais sobre os horizontes e/ou processos pedogenéticos secundários.

## Classificação brasileira

O inventário dos solos no Brasil iniciou-se em 1947 [35]. No entanto, até 1964 não se desenvolveu nenhum sistema de classificação e avaliação dos solos brasileiros. A primeira versão da classificação foi publicada em 2006 [37]. Numa primeira etapa, a classificação dos solos brasileiros foi muito geral, para seguidamente construir-se um "top-down", desenvolvendo lentamente os táxons de baixo nível [36]. A classificação dos solos tropicais altamente intemperizados foram a prioridade dos pedólogos brasileiros, já que cobrem grandes áreas do país. A estrutura desta classificação lembra, em termos gerais, a Soil Taxonomy dos EUA; os níveis taxonômicos são idênticos aos da classificação norte-americana: ordens, subordens, grandes grupos, subgrupos, famílias e séries. Os limites entre os táxons são bem definidos. Uma diferença fundamental entre as classificações de solo dos EUA e do Brasil é que na classificação brasileira não se aplicam os critérios dos regimes de umidade e temperatura do solo. As ordens da classificação de solos do Brasil são as seguintes:

- Argissolos - solos com um horizonte de iluviação de argila de baixa ou média saturação por bases.
- Cambissolos - solos com um horizonte B em estágio incipiente de formação, ligeiramente transformado pelos processos pedológicos.
- Chernossolos - solos com uma camada superficial profunda rica em húmus e com alta saturação por bases.
- Espodossolos - solos ácidos e muito lixiviados, com iluviação alumínio e húmus na forma de complexos, podendo ou não conter ferro.
- Gleissolos - solos saturados com água.
- Latossolos - solos tropicais muito intemperizados.
- Luvisolos - solos com um horizonte de iluviação de argila de alta saturação de bases.
- Neossolos - solos quase sem desenvolvimento pedogenético.
- Nitossolos - solos intemperizados, argilosos e bem estruturados, apresentando superfícies brilhantes nos agregados (cerosidade).
- Organossolos - solos orgânicos (principalmente turfa).
- Planossolos - solos com mudança abrupta e expressiva do conteúdo da argila em profundidade, promovendo a estagnação da água de chuva.
- Plintossolos - solos intemperizados com segregação de ferro na forma de nódulos (plintita e petroplintita).
- Vertissolos - solos argilosos que se expandem com a umidade e se contraem quando secos.

As subordens distinguem-se segundo critérios morfológicos e químicos do solo. Os grandes grupos separam solos com base no tipo e arranjo dos horizontes principais, nos atributos químicos e físicos que restringem o desenvolvimento das raízes e afetam o livre escoamento de água no solo. Os subgrupos são definidos segundo características intermediárias ou extraordinárias para outros tipos de solos, bem como pelos solos que representam o indivíduo mais simples (típico). As famílias indicam as classes de mineralogia e de textura. As séries, como na classificação dos EUA, designam um solo particular com uma estreita gama de características morfológicas e químicas.



Perfil de solo classificado de acordo com o sistema brasileiro como Argissolo. (HS)

## Classificação cubana

Cuba tem uma grande vantagem no âmbito dos estudos de solo comparativamente a outros países do ALC: a ilha possui uma longa história no que diz respeito ao desenvolvimento agrícola, o que favoreceu a atuação de muitos pesquisadores focados no estudo dos solos cubanos. Desde o início do século XX, Cuba foi visitada pelos pedólogos dos EUA, França, União Soviética e China [38]. Através da troca de conhecimento, os especialistas cubanos foram capazes de integrar os conceitos de várias escolas da Ciência do Solo e desenvolver a sua própria. Dentre outras conquistas, os pedólogos de Cuba desenvolveram a sua própria classificação de solos [39, 40]. A classificação cubana baseia-se numa taxonomia hierárquica de seis níveis. Os limites entre os táxons são bem definidos, embora, em muitas situações, podem ser evitados as análises laboratoriais de elevado custo e limitar o diagnóstico à observação morfogenética do perfil em campo. O nível taxonômico mais alto é o grupo de tipos de solos, que agrupam solos similares quanto ao processo pedogenético principal. Os agrupamentos de tipos de solo são:

- Alíticos - solos com um horizonte de iluviação de argila e com baixa saturação por bases.
- Anthrosols - solos altamente transformados pelo ser humano.
- Ferrálicos - solos tropicais moderadamente intemperizados.
- Ferríticos - solos tropicais altamente intemperizados e ricos em óxidos de ferro.
- Fersialíticos - solos tropicais ligeiramente intemperizados.
- Fluvisols - solos aluviais.
- Halomórficos - solos salinos.
- Hidromórficos - solos saturados de água.
- Histosols - solos orgânicos.
- Húmicos sialíticos - solos ricos em húmus, derivados principalmente de rochas ricas em bases.
- Pardos sialíticos - solos com horizonte B de cor bruna (marrom).
- Pouco evoluídos - solos com desenvolvimento mínimo dos horizontes.
- Vertissols - solos argilosos que se expandem com a umidade e se contraem quando secos.

Os tipos de solo representam as sequências principais dos horizontes. Os subtipos representam as transições entre os tipos de solos ou as modificações qualitativas no perfil. Os gêneros são definidos em função das modificações qualitativas ou semi-qualitativas das características químicas ou mineralógicas do solo. As espécies são divididas segundo a profundidade da camada superficial e o teor de carbono orgânico nela presente. Finalmente, as variedades indicam a textura do horizonte A do solo.



A fotografia acima mostra a paisagem correspondente ao perfil da foto à esquerda. O solo em questão é formado pela decomposição de rochas sedimentares da uma Formação geológica Rio Bonito, sob floresta subtropical e pastagem em relevo ondulado (Brasil). (HS)

## Classificação uruguaia

No início dos inventários de solo no Uruguai utilizava-se a classificação de solos dos EUA ou a legenda do Mapa Mundial de Solos da FAO-UNESCO. Em 1976, a Direção de Solos e Fertilizantes do Ministério da Pecuária, Agricultura e Pesca do país, publicou a classificação própria do Uruguai [41]. Esta classificação baseia-se numa taxonomia hierárquica de oito níveis: ordens, grandes grupos, subgrupos, classes, subclasses, tipos, famílias e fases, com limites quantitativos bem definidos entre os táxons. Os grandes grupos assemelham-se aos grupos desenvolvidos na legenda do mapa da FAO e, parcialmente, na Soil Taxonomy, mas o nível de detalhe em outros níveis faz com que seja muito diferente de sua fonte inicial. O sistema compreende seis ordens:

- Solos pouco desenvolvidos (inclui os grandes grupos Litosols, Arenosols, Fluvisols e Inceptisols).
- Solos melânicos (compreende os grandes grupos Brunosols e Vertisols).
- Solos saturados lixiviados (compreende os grandes grupos Argisols e Planosols).
- Solos dessaturados lixiviados (compreende os grandes grupos Luvisols e Acrisols).
- Solos halomórficos (compreendem os grandes grupos Solonetz, Solonetz solodizados e Solods).
- Solos hidromórficos (compreende os grandes grupos Histosols e Gleysols).

Os grandes grupos distinguem-se de acordo com a direção e/ou a intensidade do processo pedogenético principal. Os subgrupos são divididos em função do processo pedogenético secundário. O nível de classe indica a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) e sua saturação por bases, enquanto que as subclasses indicam a natureza do horizonte diagnóstico superficial. O tipo apresenta o grau de translocação de argila e a presença de um horizonte de iluviação. A família depende da textura do horizonte A. Por último, a fase usa-se para indicar algumas propriedades importantes do ponto de vista agrônomo.

## Classificação do Suriname

A cartografia dos solos do Suriname iniciou em meados do século XX, embora os critérios de classificação não fossem unificados até o ano 1978 [42]. A classificação do país incorporou muitas idéias da Soil Taxonomy (p. ex., as séries de solos e a estrutura da classificação), bem como os avanços da escola holandesa.

A classificação está focada na cartografia de solos; os três primeiros níveis são geomorfológicos (formas do terreno, paisagem e elementos da paisagem) e apenas o quarto nível está relacionado ao solo. Este nível pedológico subdivide-se em cinco níveis, que se correspondem à estrutura da Soil Taxonomy: ordens, grupos, subgrupos, famílias e séries. As ordens, em número de nove, são:

- Solos de turfa.
- Solos esqueléticos.
- Solos de areia esbranquiçada.
- Solos de argila marinha jovens.
- Solos calcários.
- Solos câmbicos.
- Solos de argila marinha antigos.
- Solos saprolíticos.
- Solos cauliniticos.

Os critérios para definir os grupos, subgrupos e as famílias incluem o tipo de drenagem, a presença de certos horizontes e materiais, bem como a textura do solo.

## A classificação de solos e o clima

Um dos primeiros sistemas de classificação de solos, baseados principalmente no clima, agrupava os solos em três categorias:

- Azonal: solos imaturos que se encontram nas primeiras fases do seu desenvolvimento;
- Intrazonais: são os solos desenvolvidos em condições que predominam os fatores pedogenéticos passivos, como a composição da rocha matriz, o declive ou a ação humana; e
- Zonais: desenvolvidos pela ação dos fatores ativos de formação do solo, especialmente o clima, atuando durante um longo período de tempo.

## Classificações indígenas

O solo possui um valor espiritual, mitológico e prático na maioria dos povos agrícolas do mundo. Assim, alguns povos desenvolveram nomes especiais para identificar os solos com propriedades particulares. Devido à agricultura ser em uma atividade comunitária, a terminologia pedológica forma parte da linguagem comum e desenvolveu-se junto a ela. Existem diferenças significativas a respeito do conhecimento do solo entre os diferentes membros de uma comunidade, de acordo com a sua idade, gênero ou condição social; esse conhecimento como um todo, pode ser considerado como uma sabedoria coletiva de uma determinada comunidade. A agricultura não é a única função do solo. No entanto, as sociedades agrícolas dispõem um conhecimento mais amplo sobre este, ao contrário do que acontece em culturas de tipo nômades e caçadoras, onde o conhecimento sobre os solos é muito mais geral.

Para a gestão e conservação do solo os índios utilizam sistemas de classificação. Embora o objetivo principal da maioria dos sistemas de classificação indígenas esteja relacionado ao cultivo da terra, em algumas comunidades as classificações são desenvolvidas para outros fins.



Nas sociedades agrícolas sempre houve uma atenção especial à característica principal da "Mãe Terra": a fertilidade que, de acordo com alguns mitos e lendas, provém do sangue ou sêmen de um deus ou herói. A foto acima é de um tecido fabricado no México que ilustra a visão da cultura Otomí sobre o mundo, onde o solo está incluído, bem como o seu fruto predileto na América na época: o milho. (IAM)

## Tipos de classificação indígena

- **Classificações agrícolas:** os solos são classificados de acordo com a sua produtividade e aptidão para determinados cultivos. A denominação do solo está relacionada a atributos internos do solo (os povos indígenas com aptidão agrícola conhecem bem a correspondência entre estes atributos e a produtividade dos cultivos). Além disso, os agricultores possuem um amplo conhecimento sobre o tempo de maturação ou a resistência à erosão eólica e hídrica do solo, o que serve como uma base fundamental nas tomadas de decisão sobre o manejo da terra em cada comunidade rural.
- **Classificações paisagísticas:** nas sociedades não-agrícolas (caçadores e nômades), o conhecimento do solo costuma ser muito mais generalista. No entanto, em alguns lugares podem-se encontrar observações interessantes relacionadas à relação solo-paisagem. Algumas dessas observações que são consideradas nas classificações deste tipo são: os períodos de inundações de solos aluviais, a presença de sais comestíveis (para os animais), a vegetação natural ou a posição do solo no relevo. Um bom exemplo deste tipo de classificação é a classificação Maia dos solos de Yucatán (México), onde a maioria dos solos não é cultivável por serem rasos, porém são classificados segundo a sua posição topográfica. Isto é um exemplo do reconhecimento da relação entre os elementos da paisagem por parte das comunidades rurais.
- **Classificações para propósitos múltiplos:** O uso do solo como fonte de materiais de construção, pigmentos ou fonte de substâncias medicinais, entre outros usos, também é frequentemente reconhecido dentro das classificações tradicionais locais. Na região central do México, por exemplo, as camadas cimentadas de solos vulcânicos, denominados "tepetates", são utilizadas para a fabricação de tijolos.



As imagens correspondem à realização de um levantamento de solos com o apoio da comunidade indígena dos lacandones (Chiapas, México). Eles recebem pagamentos por serviços ambientais (p. ex., o sequestro de carbono) e, portanto, são os maiores interessados na realização dos ditos levantamentos, que são financiados pelo governo do estado de Chiapas, com o apoio de técnicos florestais. A informação derivada dos levantamentos são armazenadas em um Sistema de Informações Geográficas (GIS) e utilizadas em médio prazo para obter evidências do sequestro de carbono. (MIAF)

Em âmbito mundial, desde as planícies da Rússia até os Andes peruanos, os solos argilosos têm sido utilizados para a fabricação de tijolos, seja em estado puro ou misturado a materiais orgânicos (palha). Também vale a pena mencionar os materiais do solo utilizados para a produção de peças de cerâmica (um exemplo é a louça de barro do estado do Paraíba, Brasil). Outras classificações estão relacionadas com a extração de minerais para a fabricação de pinturas. Finalmente, alguns solos são comestíveis: os Quíchuas nos Andes do sul do Peru, denominam de "q'ulp'a" a um tipo de solo utilizado como alimento pela população local (possivelmente pelo seu conteúdo em argilas esmectíticas que absorvem fitotoxinas, abundantes na comida local).

## Conhecimento local

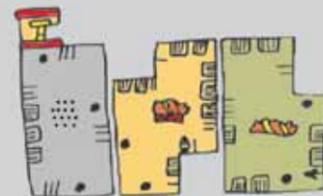
A Etnopedologia é uma disciplina científica que combina as ciências sociais com as naturais. Trata-se de como as pessoas entendem e manejam a terra. O termo foi proposto por B. Williams e C. A. Ortiz Solo rio em 1981. Do ponto de vista antropológico, estuda-se a visão cultural dos solos e da paisagem, enquanto que do ponto de vista da ciência do solo, a Etnopedologia avalia a forma em que os solos são valorados e manejados. A maioria dos estudos etnopedológicos recentes tratam da classificação das terras (57%).

As taxonomias locais têm um valor atual econômico, social e cultural, e devem ser documentadas e estudadas antes que se percam, uma vez que fornecem informação sobre a terra e as pessoas que a manejam. A erosão cultural tem acabado com muitas taxonomias indígenas de solo e ameaça muitos outros conhecimentos locais.

## Cartografia das terras agrícolas

Existem evidências de uma tradição cartográfica dos solos desde os tempos pré-hispânicos, o que pode ser evidenciado em dois documentos excepcionais: os Códices de Vergara e de Santa Maria Assunción, onde há ilustrações de terras pertencentes a indivíduos de diferentes famílias. Neles, é incluída a representação pictórica dos tipos de terra dentro de cada parcela. Atualmente, não se elaboram mapas, mas os agricultores ainda conservam um conhecimento informal a partir do qual localizam e classificam suas terras.

Representação de parcelas em códices com valores perimetrais e hieróglifos de classes de terra ao centro. (CAOS)



Os critérios mais comuns para a classificação de solos locais são a cor e a textura. Em alguns casos, podem ser combinados entre si ou a outros critérios, como a pedregosidade, propriedades físicas e químicas específicas e regimes de umidade e temperatura do solo. Todos avaliados em âmbito local.

A compilação da informação de solo e de outros recursos naturais requer muito tempo e dinheiro, especialmente se é ignorado o conhecimento das comunidades locais. A ideia de complementar os levantamentos de solos com o conhecimento indígena não é nova. Os mapeamentos de solos durante os séculos XVIII e XIX foram realizados entrevistando os agricultores, até que foi substituído pelos inventários do tipo "pá e trado" ao serem considerados como conhecimento "não-científico".

No entanto, o uso das taxonomias indígenas permite economizar tempo na realização de um inventário dos recursos naturais, já que assegura a incorporação de informação relevante para o levantamento dos recursos locais. Também é possível reconhecer as características do solo e a forma em que estas variam ao longo do ano. Quanto à cartografia, os membros da comunidade podem identificar os solos típicos e a sua delimitação, informações úteis e talvez únicas disponíveis aos pedólogos em determinadas regiões. Os solos que os agricultores identificam podem assemelhar-se muito aos dos sistemas científicos: certas taxonomias locais são, inclusive, mais detalhadas em relação aquelas realizadas por pedólogos. Do mesmo modo, as taxonomias locais podem servir de guia para o delineamento de polígonos na elaboração de mapas de solos, bem como para aperfeiçoar os critérios de separação de classes utilizados nos sistemas de classificação científica. No entanto, as classificações indígenas do solo são válidas apenas em âmbito local. Para superar as limitações das informações obtidas a partir da etnopedologia, estas podem regionalizar-se.



Agricultor dos Andes bolivianos descrevendo seu solo. (RV)

Critério	Classe em quéchua	Classe em português	Uso potencial	Avaliação local
Posição no transecto/clima	Chillijallpas	Solos frios	Batata lucky, cañahua e cevada	Solo bom
	Koñijallpas	Solos quentes	Batata huayku, batata doce, grãos	Solo muito bom
Textura	Machujallpa	Solos argilosos	Batata huayku, trigo, cevada grão, aveia	Solo bom
	Chancajallpa	Solos rochosos	Não muito apto, cevada	Solo ruim
Cor	Yanajallpa	Solos pretos	Batata lucky, cevada, aveia	Solo muito bom
	Kellujallpa	Solos amarelos	Batata huayku, trigo	Solo regular

## Base de Referência Mundial do Recurso Solo (WRB)

Desde 1971 até 1981 a FAO e a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), organizaram e publicaram o Mapa Mundial de Solos na escala 1: 5.000.000, para o qual confeccionaram uma legenda, que também foi utilizada como um sistema de classificação de solos. O mapa foi utilizado numa multitude de projetos financiados pelas Nações Unidas e, ao longo do tempo, muitos países adaptaram e modificaram a legenda de acordo com as suas necessidades. Como consequência, muitas das unidades de solo do sistema da FAO são utilizadas em vários países com significados semelhantes.

A WRB desenvolveu-se sob o auspício da União Internacional de Ciência do Solo (IUSS), tomando como base a legenda da FAO e valendo-se da correlação internacional dos distintos sistemas de classificação de solos [43]. Utilizaram-se critérios objetivos provenientes tanto de trabalho de campo como de análises de laboratório a fim de classificar, de forma sistemática, os diferentes tipos de solo nos Grupos de Solo Referência (GSR). Estes se caracterizam por adjetivos, denominados de qualificadores.

O sistema WRB não pretende substituir os sistemas nacionais de classificação de solos, mas sim servir como um denominador comum para a comunicação em âmbito internacional.

### Características da Base de Referência Mundial do Recurso Solo (WRB)

A WRB atual, publicada em 2006, consta de 32 Grupos de Solo de Referência (GSR). Tanto os GSR como os qualificadores são definidos através de:

- *materiais de diagnóstico*: são os materiais de partida;
- *propriedades diagnósticas*: são originárias da formação do solo ou o reflexo dos processos formadores;
- *horizontes diagnósticos*: também são originados dos processos de formação do solo, com uma distinta expressão horizontal e uma determinada espessura.

Os GSR e os qualificadores identificam-se pela presença ou ausência de horizontes, de propriedades e materiais de diagnóstico em determinadas profundidades. Adicionalmente, usam-se outros critérios, como a textura ou a saturação por bases.

Na WRB de 2006, os qualificadores estão subdivididos em qualificadores prefixos (colocado antes do nome do GSR) e qualificadores sufixos (após o nome do GSR). Este sistema somente deve ser utilizado para a classificação de solos individuais (pedons). Para os mapas usa-se o "Guia para construir legendas de mapas em pequena escala usando a WRB", publicado em 2010 (ver página 60).



O solo da imagem corresponde a um Lixisols profundo, moderadamente bem drenado, com um horizonte A superficial bruno amarelado, seguido de um horizonte E bastante claro. Ambos os horizontes são muito porosos e de textura argiloarenosa. O horizonte Bt apresenta uma aparência multicolorida devido aos revestimentos de argila provenientes da iluviação das argilas das camadas superiores. No entanto, o horizonte inferior, denominado Bw, a origem da sua cor reside na alteração dos minerais. O horizonte Bt contém uma permeabilidade limitada causando uma saturação por água temporária nos horizontes A e E, com transporte de umidade lateral para o vale. De acordo com a WRB, trata-se de um Stagnic, Cutanic, Vetic Lixisol (Albic, Clayic, Cromic). (05)

### Chave para os Grupos de Solo de Referência (GSR)

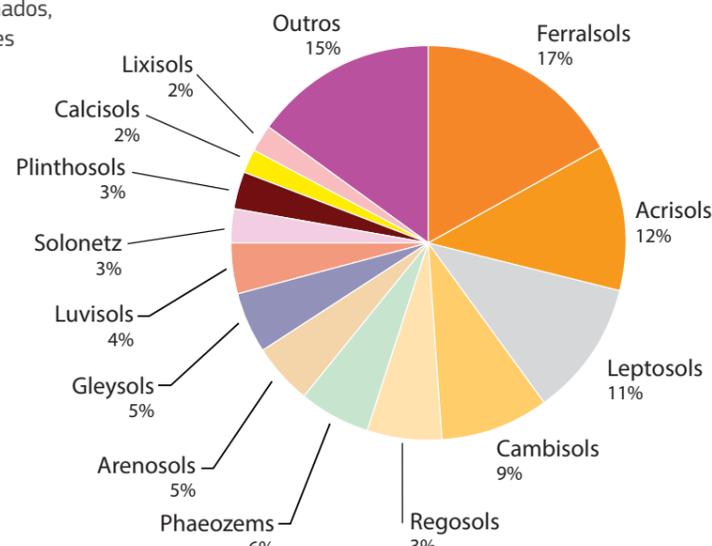
Os GSR agrupam conjuntos de solos baseados nos fatores ou processos que mais claramente condicionam a formação do solo. A sequência dos grupos se dá de acordo com os seguintes princípios:

1. Primeiro distinguem-se os solos orgânicos (**Histosols**) dos demais solos (inorgânicos).
2. A segunda diferenciação consiste em reconhecer a atividade humana como um fator de formação de solos; daí a posição dos **Anthrosols** e **Technosols** depois dos **Histosols**.
3. O grupo seguinte é constituído por solos com limitação severa para o enraizamento das plantas (**Cryosols** e **Leptosols**). Os **Cryosols** compreendem os tipos de solos minerais afetados pelo permafrost (camada permanentemente congelada por dois ou mais anos consecutivos), muitas vezes revelando gelo visível. Os **Leptosols** são principalmente encontrados nas áreas montanhosas e são solos pouco profundos desenvolvidos sobre rocha contínua ou muito pedregosos.
4. A seguir, são agrupados um conjunto de solos no GSR que estão ou estiveram fortemente influenciados pela água: **Vertisols**, **Fluvisols**, **Solonetz**, **Solonchaks** e **Gleysols**. Os **Vertisols** são solos argilosos com uma alta proporção de argilas expansivas. Na superfície destes solos formam-se fendas largas e profundas (que periodicamente abrem e fecham) quando seca. Os **Fluvisols** surgem nos vales fluviais e incluem depósitos aluviais recentes, lacustres e marinhos costeiros. Os **Solonchaks** apresentam uma alta concentração de sais solúveis durante alguma época do ano. Ocorrem sob climas áridos e semi-áridos ou nas regiões litorâneas. Os **Solonetz** são solos altamente alcalinos (pH > 8,5) e possuem horizonte subsuperficial argiloso, denso e fortemente estruturado, com uma alta proporção de íons de sódio e/ou magnésio. Os **Gleysols** são solos saturados por água subterrânea por períodos longos de tempo, suficientes para desenvolver um padrão de cor característico. Este padrão distingue-se pelas suas cores avermelhadas, brunadas ou amareladas na superfície dos agregados e/ou na camada ou camadas superficiais do solo em combinação com cores cinzento-azuladas, indicadores de uma maior influência das águas subterrâneas.
5. O agrupamento seguinte é formado por solos em que os elementos ferro (Fe) e o alumínio (Al) desempenham um papel importante na sua formação: **Andosols**, **Podzols**, **Plinthosols**, **Nitisols** e **Ferralsols** (os três últimos são encontrados principalmente nos trópicos). Os **Andosols** são desenvolvidos a partir das cinzas e outros materiais vulcânicos. São caracterizados pelo rápido intemperismo dos minerais vulcânicos. Os **Podzols** apresentam um típico horizonte subsuperficial de cor cinza, descolorido pela perda da matéria orgânica e óxidos de ferro, sobre um horizonte escuro de húmus e compostos de ferro. A sua distribuição destes na ALC restringe-se às áreas temperadas e pequenos enclaves nos trópicos. Os **Plinthosols** contêm plintita, uma mistura pobre em húmus, rica em ferro e argilas cauliniticas, com quartzo e outros componentes; por exposição repetida a ciclos de umedecimento e secagem, transforma-se irreversivelmente em uma camada com nódulos endurecidos, em *hardpan* (ver glossário) ou em agregados irregulares. Os **Nitisols** são solos tropicais profundos, bem drenados, avermelhados, com transição difusa entre horizontes e um horizonte subsuperficial com uma estrutura poliédrica fortemente desenvolvida com elementos nuciformes de bordas planas e cerosidade expressiva na superfície dos agregados. Os **Ferralsols** são os solos típicos das zonas tropicais; apresentam coloração avermelhada ou amarelada e são muito intemperizados.
6. O grupo seguinte engloba os solos sazonalmente alagados: **Planosols** e **Stagnosols**. Os **Planosols** possuem um horizonte superficial de cor pálida, com textura arenosa e sinais de encharcamento periódico, sobre um subsolo denso, de permeabilidade lenta e com maior teor de argila do que no horizonte superficial. Ocorrem predominantemente em áreas planas e são submetidos a encharcamento sazonal. Os **Stagnosols** apresentam um mosqueado característico dos processos de oxirredução devido ao alagamento periódico.

7. A seguir são agrupados os solos que predominam em áreas secas de estepe (p. ex. savanas). Apresentam uma camada superficial bem desenvolvida, rica em húmus e bases. Os **Chernozems** apresentam um horizonte superficial espesso, escuro e rico em húmus. Os **Kastanozems** são encontrados nas zonas mais áridas que os anteriores e igualmente apresentam um horizonte superficial rico em húmus, embora não tão escuro e espesso que os dos **Chernozems**. Os **Phaeozems**, devido às condições de maior umidade em que se encontram, são mais lavados; por isso, a saturação por bases do horizonte superficial é menor em relação aos anteriores.
8. O próximo grupo engloba solos que predominam em áreas secas com acumulações de gesso (**Gypsisols**), sílica (**Durisols**) ou carbonato de cálcio (**Calcisols**)
9. O grupo seguinte engloba solos de regiões áridas com acumulações de gesso (**Gypsisols**), sílica (**Durisols**) ou carbonato de cálcio (**Calcisols**). E Continuando, segue um conjunto de solos com subsolo rico em argila (horizonte B árgico): Os solos se agrupam segundo os seguintes critérios: a) baixa saturação por bases, com argilas tanto de alta como de baixa atividade (**Alisols** e **Acrisols**), ou b) alta saturação por bases, com argilas tanto de alta como de baixa atividade (**Luvisols** e **Lixisols**, respectivamente). Nos **Albeluvisols**, o horizonte superior penetra naquele de acumulação de argila subjacente, formando uma espécie de língua (ver página 61).
10. O último grupo é formado por solos que apresentam conteúdos de areia muito homogêneos e manifestam intemperismo incipiente: **Umbrisols**, **Arenosols**, **Cambisols** e **Regosols**. Os **Umbrisols** estão relacionados a materiais ácidos e a regiões com elevados índices de precipitação pluvial. Sob estas condições, desenvolvem-se camadas ácidas profundas de coloração bruno escuro, denominadas de horizontes úmbricos (em latim, umbra, sombra). Os **Arenosols** são solos arenosos desenvolvidos em dunas de areia recém depositadas, tais como dunas de desertos e praias. Os **Cambisols** desenvolveram um horizonte câmbico: um horizonte subsuperficial que revela evidências de alteração em relação aos horizontes subjacentes. Os **Regosols** formam um grupo taxonômico que contém todos os solos que não poderiam ser acomodados em qualquer um dos outros agrupamentos do GSR. Na prática, são solos minerais muito pouco desenvolvidos e provenientes de materiais não consolidados.

### Grupos de Solos de Referência (GSR) na ALC

O gráfico ilustra a proporção dos principais GSR da América Latina e Caribe em relação à superfície total. Os GSR que ocupam 1% ou menos da superfície foram agrupados na categoria "outros". A área total da ALC é de aproximadamente 21 milhões de km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 14% de solos do planeta. Na ALC existe uma grande diversidade de tipos de solos, uma vez que são encontrados todos os GSR incluídos na classificação WRB. É importante destacar que aproximadamente 30% dos solos da ALC apresentam um caráter tropical ou subtropical: Ferralsols (17%), Acrisols (12%), Lixisols (2%) e Plinthosols (1%). Outros grupos bem representados na ALC são: Cambisols (9%), Regosols (6%), Phaeozems (6%), Gleysols (5%), Luvisols (4%), Solonetz (3%), Arenosols (5%) e Calcisols (2%).



## Como identificar um solo de acordo com a WRB

A fim de se fazer um exercício de classificação, examinaremos em detalhe este perfil da região brasileira de Boa Vista.



A imagem acima representa o perfil de um solo tipo Stagnic Solonetz (ST). Este solo p é originado de gnaiss, uma rocha metamórfica composta pelos mesmos minerais que o granito (quartzo, mica e feldspato). É moderadamente profundo e apresenta drenagem irregular ao longo do perfil. A camada entre 0 a 18 centímetros constitui o horizonte superficial arável (horizonte Ap), seguido de um horizonte E subjacente (18-30 cm). Ambos são de textura arenosa devido à lixiviação dos minerais de argila para os horizontes subjacentes. Pela sua cor clara, o horizonte E classifica-se como albico; o termo proveniente do latim (albus) refere-se à cor clara, devido à lavagem de ferro e matéria orgânica. O horizonte seguinte, Btn, é um horizonte nátrico, cujo termo é proveniente do árabe (natroon) e significa "sal". Caracteriza-se pelo alto teor de sódio ou magnésio trocável e pelo seu elevado conteúdo de argila. A transição do horizonte E para o B é abrupta e em forma de língua. As colunas do horizonte B destacam-se por conter a parte superior arredondada; são denominadas regionalmente de "cabeça de gato".

O passo seguinte consiste em identificar os qualificadores prefixos e sufixos adequados. Seguindo as regras da WRB 2006, o nome completo deste solo seria: Stagnic Solonetz (Albic, Abruptic, Magnesianic). Stagnic significa que apresenta condições redutoras em algum momento do ano devido à estagnação de água e a translocação de ferro, seja lateralmente para fora do perfil, seja para o interior dos agregados; Abruptic refere-se ao aumento repentino no conteúdo de argila de um horizonte em relação ao horizonte subjacente do solo; Albic significa que contém um horizonte de cor pálida; por último, Magnesianic indica a presença de magnésio trocável.

### Qualificadores da WRB

Nesta seção são descritos os termos necessários para entender as legendas dos distintos mapas ilustrados neste atlas (ver página 58-59).

**Abruptic (Abruptico):** mudança textural abrupta dentro dos 100 cm da superfície.

**Acric (ácrico):** presença de horizonte de acumulação de argila com capacidade de troca catiônica (CTC) baixa e baixa saturação por bases.

**Albic (álbico):** horizonte de coloração clara com baixos teores de óxidos de ferro e matéria orgânica.

**Alic (álico):** horizonte de acumulação de argila com uma alta CTC e baixa saturação por bases.

**Alumic (alúmico):** subsolo elevada saturação por alumínio.

**Andic (ândico):** presença de uma ou mais camadas de espessura acumulada de 30 cm ou mais, com minerais de baixo grau de ordenação (alofanas e imogolitas) ou com complexos de substâncias orgânicas com alumínio, e sempre com ferridrita.

**Anthraquic (antráquico):** presença de horizonte superficial modificado pelo cultivo de arroz (inundado), causando um pé de grade relativamente denso e processos de redução dentro e acima desse pé de grade.

**Arenic (arênico):** textura, arenosa presente em uma camada de pelo menos 30 cm de espessura dentro dos 100 cm da superfície do solo.

**Aridic (arídico):** presença de características de solo seco (por exemplo, cor clara, pouca matéria orgânica, evidências de atividade eólica e/ou alta saturação por bases).

**Brunic (brúnico):** presença de camada que satisfaz os critérios de intemperismo do horizonte câmbico, mas não a seus os critérios de textura.

**Calcaria (cacareco):** contém 2% ou mais de carbonato de cálcio entre 20 e 50 cm de profundidade.

**Calcic (cálcico):** presença de horizonte enriquecido em carbonatos secundários e conteúdo equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de 15% ou mais.

**Carbic (cárbico):** presença de horizonte de iluviação de matéria orgânica, e sem iluviação de óxidos de ferro (unicamente nos Podzols).

**Chromic (crômico):** presença de camada superficial avermelhada com pelo menos 30 cm de espessura.

**Clayic (argílico):** textura argilosa numa camada de pelo menos 30 cm de espessura dentro de 100 cm da superfície.

**Cutanic (cutânico):** com revestimentos de argila em algumas partes de um horizonte ácrico.

**Drainic (drênico):** presença de horizonte hístico que foi drenado artificialmente dentro dos 40 cm superficiais.

**Duric (dúrico):** presença de horizonte com nódulos desde fracamente cimentados até endurecidos por sílica secundária ( $\text{SiO}_2$ ).

**Ekranic (ekrânico):** apresenta uma rocha dura técnica, como asfalto ou cimento (apenas nos Technosols).

**Ferralic (ferrálico):** presença de horizonte em que sua fração argilosa predomina argilas de baixa capacidade de troca catiônica.

**Ferric (férrico):** presença de horizonte com elevado teor de ferro e de mosqueados, os quais iniciam dentro de 1 m da superfície do solo.

**Fibric (fíbrico):** apresenta, depois friccionado, dois terços ou mais (em volume) de material orgânico que consiste em tecido vegetal reconhecível, dentro de 1 m da superfície do solo.

**Fluvic (flúvico):** presença de estratificação por sedimentação aluvial recente.

**Folic (fólico):** presença de camada orgânica superficial espessa, não saturada com água.

**Fractipetric (fractipétrico):** presença de horizonte cimentado ou endurecido que está fragmentado em torrões.

**Gellic (géllico):** presença de camada em que sua temperatura se mantém a 0 °C ou menos durante dois ou mais anos consecutivos dentro de 2 m da superfície.

**Geric (gérico):** presença de horizonte altamente intemperizado em que sua a fração de argila é de CTC muito baixa e/ou há predominância de troca aniônica.

**Gleyic (gleico):** influência do lençol freático em uma camada de 25 cm ou mais de espessura dentro de 100 cm de profundidade, com colorações neutras, azuladas ou esverdeadas na camada de saturação permanente e/ou cores de óxidos de ferro nas superfícies dos agregados na camada de ascensão capilar.

**Gypsic (gíbbssico):** presença de horizonte com acumulações de gesso secundário.

**Hemic (hêmico):** apresenta, depois de friccionado, de um sexto e dois terços (em volume) de material orgânico composto de tecido vegetal reconhecível, dentro de 1 m de profundidade.

**Histic (hístico):** presença de camada orgânica superficial espessa e saturada com água.

**Humic (húmico):** contém um teor médio de húmus relativamente alto dentro dos primeiros 50 cm do solo mineral.

**Hydric (hídrico):** contém, dentro dos 100 cm de profundidade, uma ou mais camadas com uma espessura mínima (somadas) de 35 cm e com retenção de água de 100% ou mais em amostras sem secar (unicamente nos Andosols).

**Leptic (léptico):** rocha contínua inicia dentro de 1 m de profundidade.

**Luvic (lúvico):** presença de horizonte com acumulação de argila de elevadas CTC e saturação por bases.

**Melanic (melânico):** presença de horizonte melânico iniciando-se dentro de 30 cm de profundidade (unicamente nos Andosols).

**Mollic (mólico):** presença de horizonte superficial escuro, rico em húmus e com alta saturação por bases.

**Nitic (nítico):** presença de horizonte subsuperficial argiloso com agregados reluzentes bem desenvolvidos e com teores elevados de óxidos de ferro.

**Novic (nóvico):** solo coberto por uma camada de sedimentos recentes (material novo) entre 5 e 50 cm de espessura.

**Oxyaquic (oxiáquico):** solo saturado com água rica em oxigênio durante um período de 20 ou mais dias consecutivos.

**Pelic (pélico):** presença de camada superficial muito escura (unicamente nos Vertisols).

**Petric (pétrico):** presença de camada fortemente cimentada.

**Plinthic (plíntico):** presença de horizonte com acumulação de óxidos de ferro com cores em padrões poligonal ou reticulado, o qual endurece de maneira irreversível quando expostos a condições repetidas de umedecimento e secagem, formando nódulos duros ou um horizonte laminar duro.

**Profondic (profúndico):** presença de um horizonte rico em argila, em que o conteúdo de argila não diminui em 20% ou mais em relação ao seu conteúdo máximo dentro de 1,5 m da superfície do solo.

**Protic (prótico):** ausência de horizontes em desenvolvimento (Arenosols unicamente).

**Rendzic (rêndzico):** presença de horizonte mineral superficial escuro, rico em húmus, o qual contém ou está imediatamente acima do material calcário com um conteúdo igual ou superior a 40% de carbonato de cálcio equivalente.

**Rheic (reico):** presença de horizonte saturado predominantemente com água subterrânea ou fluxo da água superficial que começa antes dos 40 cm de profundidade (apenas nos Histosols).

**Rhodic (ródico):** presença de camada subsuperficial vermelho escura de pelo menos 30 cm de espessura.

**Salic (sálico):** presença de horizonte rico em sais solúveis.

**Sapric (sáprico):** apresenta, depois de friccionado, menos que um sexto (em volume) de material orgânico composto de tecido vegetal reconhecível, dentro dos 100 cm de profundidade.

**Silandic (silândico):** presença de uma ou mais camadas de espessura acumulada de 15 cm ou mais, com propriedades ândicas e dominância de alofanos e imogolitas (apenas nos Andosols).

**Siltic (siltico):** presença de textura siltosa em uma camada de pelo menos 30 cm de espessura, dentro de 1 m da superfície.

**Skeletal (esquelético):** presença de 40 % ou mais (em volume) de cascalhos nos primeiros 100 cm do solo.

**Sodic (sódico):** presença de 15 % ou mais de Na ou Mg trocáveis.

**Stagnic (estagnico):** apresenta condições de redução em algum momento do ano devido às águas estagnadas e à translocação de ferro, seja lateralmente para fora do perfil, seja para dentro de agregados.

**Thionic (tiônico):** presença de uma camada rica em enxofre, de espessura mínima de 15 cm, dentro dos 100 cm da superfície do solo.

**Umbric (úmbrico):** presença de horizonte superficial escuro, rico em húmus e com baixa saturação por bases.

**Vertic (vértico):** presença de horizonte argiloso subsuperficial onde ocorre movimento de massas de solo.

**Vitric (víttrico):** presença de uma ou mais camadas de espessura acumulada de 30 cm ou mais, com vidros vulcânicos ou com uma quantidade limitada a moderada de alofana, imogolita ou substâncias orgânicas com alumínio (apenas nos Andosols).

**Xanthic (xântico):** presença de horizonte ferrálico de coloração amarelo pálido com pelo menos 30 cm de espessura, localizado dentro dos 150 cm da superfície.

## Principais tipos de solos na ALC

### Ajuda para o leitor

Nesta seção seguem os principais tipos de solos que podemos encontrar na ALC (seguido pelos tipos de solos secundários) de acordo com o esquema de classificação WRB em que são descritos os Grupos de Solos de Referência (GSR). As páginas seguintes servirão de apoio ao leitor para obter um conhecimento geral sobre as características-chaves para cada tipo de solo, suas paisagens associadas e seu padrão de distribuição na ALC.

Na ALC são encontrados 32 tipos de solos segundo a classificação WRB. Os solos apresentam-se em dois grupos: primeiro aqueles 13 tipos de solos que ocupam áreas de extensão significativa (tipos de solo principais) e a seguir os 19 tipos restantes que ocorrem com menor frequência (tipos de solos secundários). Em ambos os casos os solos foram ordenados por ordem alfabética, seguindo o sistema de classificação descrito anteriormente. Somente os Albeluvisols não se mostram aqui, devido a sua ocorrência documentada na ALC ser mínima.

Cada tipo de solo recebe uma definição clara e concisa e uma descrição das características principais, da cobertura vegetal e de seu uso. Cada descrição é complementada com um mapa de distribuição, uma foto de um perfil típico e uma imagem típica de paisagem.

A cor associada com o título de cada item (tipo de solo) é usada na legenda das páginas 58 e 59 e na legenda dos mapas regionais que seguem. Deste modo, uma cor específica no mapa corresponde à cor desta seção onde se pode consultar as características básicas do solo em questão (p. ex. Andosol = vermelho).

Não podemos esquecer que um determinado tipo de solo não se restringe à área indicada no mapa. Por um lado, os mapas ilustram apenas o tipo de solo dominante, o qual pode ir acompanhado de vários solos associados. Além disso, a escala pequena dos mapas não permite mostrar áreas de distribuição menores.

### Toxicidade causada por alumínio nos Acrisols

Esta incidência pode se dar nos solos com valores baixos do pH (< 5), em que o complexo de troca catiônica está dominado pelo alumínio, como ocorre nos Ferralsols e Acrisols. O problema agrava quando existe a dominância de argilas de baixa capacidade de troca catiônica, especialmente nos solos onde a matéria orgânica é escassa. A lavagem das bases, devido às altas precipitações (típica dos trópicos úmidos), torna-se numa séria limitação para a maioria dos cultivos, embora existam plantas tolerantes ao alumínio trocável, como o abacaxi e o chá. A toxicidade causada pelo alumínio nos solos afeta 39% da pedosfera da ALC.

### Arenosols

Solos arenosos susceptíveis à erosão, com baixo conteúdo de água disponível e baixa capacidade de retenção de nutrientes (do latim, **arena**, areia)

Os Arenosols são os solos mais extensos em âmbito mundial. Podem-se distinguir dois grupos de acordo com sua gênese: depósitos de areias recentes (desertos, praias ou dunas) e areias quartzosas que se acumulam residualmente pela intemperização in situ avançada de outros minerais, geralmente sob clima tropical úmido. Na América Latina, esses solos são especialmente adequados para o cultivo de coco, mandioca e milho. Quando ocorrem nas regiões semiáridas toleram apenas os sistemas de pastagens extensivas e de baixo rendimento.



**Esquerda:** paisagem de um Arenosol pouco desenvolvido em um pediplano da Amazônia e da Orinoquia colombiana. Os Arenosols estão localizados principalmente na Colômbia, Venezuela, Suriname, Brasil, Peru, Paraguai e Argentina. Estes solos são muito propensos à erosão, especialmente quando a cobertura vegetal é eliminada (como acontece com o sobrepastoreio). (RS)

**Abaixo:** solo arenoso no Mato Grosso do Sul, Brasil. A cor mais escura dos primeiros 70 cm deve-se à acumulação da matéria orgânica (presença de raízes) e a diferença de umidade entre o horizonte mais escuro e o subjacente. (PS)

O **mapa** mostra os locais onde há predominância dos Arenosols. Cobrem cerca de 5% da ALC e a Soil Taxonomy classifica a maioria dos Arenosols como Psamment.



### Acrisols

Solos moderada a extremamente ácidos, com subsolo rico em argila de baixa capacidade de retenção de nutrientes (do latim **acer**, ácido)

Os Acrisols são solos ácidos dominados por caulinita e com um horizonte subsuperficial de acumulação de argila. São muito abundantes na parte sul da bacia amazônica. São pobres em nutrientes, por isso requerem fertilização ou outras ações para aumentar a produtividade dos cultivos.



**Esquerda:** os Acrisols estão naturalmente cobertos por florestas tropicais e subtropicais. A agricultura de subsistência, em parte itinerante, ocupa grandes áreas de Acrisols. Como se pode observar na imagem, esses solos também são aptos para o cultivo de pastagens, embora dependam, em grande parte, de práticas adequadas de manejo do solo. (SC)

**Abaixo:** Este Acrisol no Peru contém um horizonte superior de cor clara onde a argila foi lixiviada e depositada no subsolo, de cor avermelhada. Devido à sua estrutura pouco desenvolvida, os Acrisols são suscetíveis à seca, à compactação, à formação de crostas e à erosão. (JNR)

O **mapa** mostra os locais onde predominam os Acrisols. Cobrem cerca de 12% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Ultisols.



### Calcisols

Solos com acumulação significativa de cálcio (Ca) secundário. Em geral, localizam-se em zonas áridas (do latim, **calx**, calcário)

Os Calcisols apresentam carbonatos secundários que precipitam quando a água do solo supersaturar-se de íons de cálcio e bicarbonato. O cálcio provém, sobretudo, do intemperismo de materiais calcários (p. ex. calcário), mas também do gesso ou feldspatos. Os Calcisols ocupam as zonas áridas e semi-áridas onde a água da chuva não penetra a muita profundidade ou onde a água do lençol freático, que ascende por capilaridade, evapora-se. Ambos os fenômenos provocam a precipitação dos carbonatos. Se o conteúdo em carbonatos for elevado, ocorre a formação de uma camada cimentada e impenetrável para as raízes das plantas.



**Esquerda:** a falta de água e/ou a presença de horizontes cimentados próximo à superfície do solo limita a atividade agrícola nos Calcisols. A imagem corresponde a uma paisagem em que os Calcisols surgem no vale (nas partes mais altas e menos profundas encontramos Leptosols com carbonatos primários). A pecuária extensiva é o principal uso nas zonas montanhosas com Calcisols, como pode-se observar na fotografia de Sierra de Tamaulipas, México Noroeste. (GCC)

**Abaixo:** Este Calcisol do Chile desenvolveu-se a partir de um depósito de conchas marinhas. Os carbonatos secundários foram redepositados a um nível inferior, originando uma camada cimentada. O conteúdo da matéria orgânica é muito baixo. (MF)

O **mapa** os locais de ocorrência dos Calcisols. Cobrem cerca de 2% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Inceptisols (Calcixrepts ou Calcixstepts) ou Aridisols (Calcids).



## Cambisols

Solos moderadamente desenvolvidos que apresentam pelo menos um horizonte subsuperficial incipiente (do galo-latino, **cambiare**, mudar)

Os Cambisols apresentam evidências de formação do solo através de variações na cor, remoção de carbonatos ou gesso ou formação de minerais de argila. Estes solos cobrem grandes superfícies numa ampla gama de paisagens (tanto planícies como montanhosas), climas e tipos de vegetação.



**Esquerda:** Este exemplo da cordilheira dos Andes orientais, na Bolívia, demonstra que os Cambisols suportam diversos tipos de agricultura, embora a erodibilidade, a pedregosidade e a pouca profundidade podem atuar como fatores limitantes. (RV)

**Abaixo:** Este perfil mostra um Cambisol do Chile desenvolvido a partir de depósitos não consolidados. Abaixo da camada superficial observa-se um horizonte pouco diferenciado com evidências de formação de óxido de ferro. O conteúdo de matéria orgânica é baixo. (PS)

O **mapa** mostra os locais de maior ocorrência dos Cambisols. Cobrem cerca de 9% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Inceptisols.



## Ferralsols

Solos muito alterados com baixa capacidade de retenção de nutrientes (do latim **ferrum**, ferro e **alumen**, alumínio)

Os Ferralsols são relativamente comuns na América Latina e normalmente estão associados aos Acrisols. São comuns nas áreas com ocorrência de chuvas intensas e estão associados a terrenos antigos (Terciário). Estes solos são sujeitos a processos acentuados de intemperismo que conduzem à perda da maioria dos minerais alteráveis e à lavagem de grande quantidade de silício e cátions básicos. Por esta razão, predominam os compostos estáveis, como a caulinita, os óxidos de alumínio e óxidos de ferro; estes últimos são os responsáveis pela sua cor intensa (vermelho e amarelo).



**Esquerda:** os Ferralsols ocorrem principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, principalmente em terrenos geologicamente antigos e estáveis. A fotografia corresponde à floresta tropical situada no norte da bacia amazônica (Brasil). (GG)

**Abaixo:** este perfil do Brasil revela a coloração vermelha típica dos Ferralsols. Observa-se um horizonte superficial mais escuro e menos vermelho, em que o conteúdo de carbono orgânico é mais elevado, embora em alguns casos possam ser perdidos devido ao desmatamento e às práticas agrícolas inadequadas. (MLMS)

O **mapa** indica as áreas de maior ocorrência dos Ferralsols. Cobrem cerca de 17% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Oxisols.



## Gleysols

Solos com lençol freático alcançando a superfície (do russo **gley**, pedaço de barro).

Os Gleysols ocorrem principalmente nas depressões do terreno onde a água subterrânea, que flui ou ascende por capilaridade, chega à superfície do solo. Nas porções inferiores do perfil surgem o ferro reduzido, juntamente com colorações cinza azuladas. Provinda das camadas mais profundas, a água ascende por capilaridade e evapora-se na superfície dos agregados, onde o ferro oxida-se na presença do oxigênio atmosférico, dando origem a mosqueados amarronzados, vermelhos ou amarelos. As suas maiores extensões localizam-se nos trópicos úmidos (escudo de Guiana, Amazônia e regiões andinas úmidas).



**Esquerda:** os Gleysols são encontrados nas áreas úmidas. Na imagem observa-se uma zona úmida no México. Embora ocupem menores superfícies que nos trópicos úmidos, os Gleysols também encontram-se na América do Norte, América Central e América austral. (GCC)

**Abaixo:** os tons acinzentados e os mosqueados alaranjados localizados na parte inferior do perfil (acima da água) são indicadores de condições redutoras constantes. Abaixo do nível da água o solo apresenta coloração acinzentada. A fotografia corresponde a um Gleysol do Brasil. (HGS)

O **mapa** mostra as principais áreas de ocorrência dos Gleysols. Cobrem cerca de 5% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos dentro das subordens "áquicos".



## Leptosols

Solos pouco profundos sobre rocha dura contínua ou com elevada quantidade de cascalho (do grego **leptós**, delgado)

Os Leptosols contêm pouca quantidade de terra fina, o que reduz a sua capacidade de armazenar água. Podem-se distinguir dois tipos: solos pouco profundos que recobrem uma massa rochosa, e solos muito pedregosos que, localmente, podem ser profundos. Estendem-se por todo o mundo e são comuns nas regiões montanhosas, nos desertos e nas áreas onde o solo foi erodido. Geralmente, os Leptosolos são utilizados com a pecuária extensiva e reflorestamento.



**Esquerda:** Esta colina perto de Lima, no Peru, é dominada por Leptosols. Entre os afloramentos rochosos podem-se observar pequenas manchas de solo fino, embora sejam as rochas que predominam na superfície. O material de origem encontra-se muito exposto às intempéries e às baixas temperaturas. (JNR)

**Abaixo:** este perfil do Peru mostra um Leptosol pouco profundo e pedregoso, onde praticamente não houve o desenvolvimento do subsolo. (JNR)

O **mapa** indica as áreas onde os Leptosols são predominantes. Cobrem cerca de 11% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes como Entisols.



## Lixisols

Solos ligeiramente ácidos, com subsolo rico em argila e com baixa capacidade de retenção de nutrientes (do latim *lixivia*, substâncias lavadas)

Os Lixisols são solos moderadamente ácidos ou neutros, dominados por caulinita e com um horizonte subsuperficial de acumulação de argila. Os horizontes superficiais destes solos não são muito estáveis estruturalmente, o que os tornam propensos à formação de crostas e/ou à erosão se forem expostos ao impacto direto das gotas de chuva (pela remoção da cobertura vegetal). O uso de máquinas pesadas ou arado quando o solo está úmido lhe é muito prejudicial.



**Esquerda:** Na imagem observa-se um Lixisol cultivado em Carabobo, Venezuela. O uso de máquinas pesadas ou de arado quando o solo está úmido promove vários impactos graves, como a compactação e deterioração da estrutura do solo. (ST)

**Abaixo:** o perfil de coloração avermelhada corresponde a um Lixisol da Venezuela. A maioria destes solos ocorrem em ambientes tropicais subúmidos ou semi-áridos e apresentam baixo conteúdo de carbono orgânico. (ST)

O **mapa** indica as áreas onde predominam os Lixisols. Cobrem cerca de 2% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Alfisols.



## Luvisols

Solos ligeiramente ácidos, com o subsolo rico em argila e com alta capacidade de retenção de nutrientes (do latim *luere*, lavar)

Os Luvisols (tal como os Lixisols, Acrisols e Alisols) apresentam uma diferenciação textural acentuada ao longo do perfil, devido à migração de argilas da superfície até o interior do solo. Caracterizam-se por uma elevada saturação por bases e por conter argilas de alta atividade. Estão localizados nos seguintes países, sobretudo nas paisagens jovens com período de seca bem definido: México, Cuba, República Dominicana, Nicarágua, Equador, Peru, Venezuela, Brasil, Uruguai e Argentina. Os solos deste grupo, excetuando-se algumas unidades, são aptos para uma grande variedade de usos.



**Esquerda:** Imagem de um cultivo na Venezuela sobre Luvisols, muito adequados para a agricultura devido à sua fertilidade. Nas vertentes declivosas é necessário tomar medidas para minimizar a erosão. (ST)

**Abaixo:** no perfil se pode distinguir o horizonte húmico superficial, seguido de um horizonte lixiviado. A partir dos 60 cm aparece o horizonte árgico, que concentra as argilas provenientes dos horizontes superficiais. (JEVP)

O **mapa** indica as áreas onde predominam os Luvisols. Cobrem cerca de 4% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Alfisols.



## Phaeozems

Solos ligeiramente ácidos ou neutros, com um horizonte mineral superficial espesso e escuro (do grego *phaiós*, escuro e do russo, *zemlja*, terra).

Os Phaeozems são caracterizados por apresentarem um horizonte mineral superficial escuro, rico em húmus. São encontrados principalmente nas regiões temperadas subúmidas. Sua umidade relativamente alta impede que se acumulem carbonatos secundários ou sais solúveis no perfil. Devido ao alto teor de húmus e de íons cálcio, que se ligam às partículas do solo, os Phaeozems são bem estruturados e permeáveis. São solos férteis, predominantemente encontrados nas florestas do pampas da América do Sul e nas florestas de elevadas altitudes dos trópicos.



**Esquerda:** Esta imagem mostra uma paisagem com predominância de Phaeozem em Monagas, Venezuela. Estes solos também ocorrem nas grandes pastagens da América do Norte e nas estepes temperadas da Eurásia. (ST)

**Abaixo:** neste exemplo da zona do Mar del Plata, Argentina, o horizonte superficial de cor escura recobre um subsolo marrom bem estruturado. (PS)

O **mapa** indica as áreas onde há predominância dos Phaeozems. Cobrem cerca de 6% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Mollisols.



## Plinthosols

Solos com acumulação de óxidos de ferro de forma nodular ou reticular (do grego *plinthos*, tijolo)

Os Plinthosols se desenvolvem sobre materiais cauliniticos ricos em óxidos de ferro. As reações químicas causadas pela presença de água subterrânea ou estagnada resultam na redistribuição dos óxidos de ferro num padrão reticular ou nodular e com espaços intermediários pobres em ferro e de cor clara. Estes horizontes recebem o nome plintita e endurecem com o umedecimento e secagem repetida. A presença da plintita pode limitar o uso destes solos. Para prevenir o endurecimento, as camadas superiores devem estar protegidas contra a erosão.



**Esquerda:** cultivo de cana-de-açúcar nos Plinthosols em uma topografia suavemente ondulada da região nordeste do Brasil. (MBON)

**Abaixo:** este perfil fotografado na Venezuela mostra um Plinthosol clássico com os característicos nódulos vermelhos da plintita, ocorrendo abaixo de 35 cm de profundidade. Na parte superior do perfil, o deslocamento do ferro em condições de saturação d'água resulta num embranquecimento. O endurecimento da plintita gera uma lâmina dura contínua (petroplintita, laterita, rochas de ferro) ou em nódulos duros discretos (pisolitos). (ST)

O **mapa** indica as áreas onde predominam solos do tipo Plinthosols. Cobrem cerca de 3% da ALC. A Soil Taxonomy classifica-os como oxisols ou Ultisols.



## Regosols

Solos pouco desenvolvidos originados de material não consolidado (do grego, **rhegos**, manta)

Os Regosols são solos provenientes de materiais de origem macios; são pouco desenvolvidos e com baixos conteúdos de matéria orgânica. A produção agrícola nesses solos é bastante escassa e, como no caso dos Leptosols, a maioria deles encontram-se sob pastagens extensivas. Em determinados locais, a vegetação natural é preservada ou reflorestada nas encostas. Em geral, o seu uso agrícola é rentável apenas em climas úmidos e frios.



**Esquerda:** paisagem com Regosols na Bolívia. Observam-se as voçorocas formadas devido à erosão provocada pelo escoamento superficial das águas pluviais. Os afloramentos rochosos são típicos neste tipo de solo. (RV)

**Abaixo:** Regosol de uma área de acumulação de estratos de diferentes cores, com intemperismo incipiente e pouca acumulação de matéria orgânica. (RV)

O **mapa** ilustra as regiões onde predominam os Regosols. Cobrem cerca de 6% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Entisols.



## Solonetz

Solos com um horizonte de acumulação de argila e sódio (do russo, **sol**, sal)

Os Solonetz são solos que apresentam um horizonte subsuperficial com acumulação de argila e uma alta proporção de sódio e/ou de magnésio trocável. Essas características imprimem elevada alcalinidade a esses solos, bem como uma estrutura colunar típica, bastante desenvolvida. Estes solos geralmente estão associados a materiais de origem não consolidados (principalmente sedimentos de textura fina), a terrenos planos e a climas semi-áridos. O subsolo dos Solonetz normalmente encontra-se endurecido durante a estação seca e volta a ser pegajoso quando umedecido, o que torna seu cultivo bastante problemático.



**Esquerda:** plantação de palmas num Solonetz argiloso do Departamento Presidente Hayes, no Paraguai. Um problema habitual dos Solonetz é a acumulação de água sobre os solos inicialmente secos durante as chuvas intensas. (PAJ)

**Abaixo:** Solonetz bem desenvolvido no Chile, com um horizonte superficial de coloração marrom claro (0-40 cm) sobre um horizonte escuro, rico em argila e sódio (40-80 cm). Abaixo dos 80 cm de profundidade aparece um horizonte cálcico. Observa-se claramente a estrutura colunar ou prismática, típica dos Solonetz. (PS)

O **mapa** indica os locais onde predominam os Solonetz. Cobrem cerca de 5% da ALC. A Soil Taxonomy classifica a maioria destes solos como Alfisols (p. ex. Natraqualfs).



**Solos secundários na ALC:** Mesmo sendo importantes localmente, os tipos de solo descritos a seguir ocupam pequenas extensões territoriais (<2% da superfície da ALC).

## Alisols

Solos moderadamente a extremamente ácidos, com um subsolo rico em argila e com alta capacidade de retenção de nutrientes (do latim **alumen**, alumínio)



Estes solos apresentam um alto conteúdo de argila na zona subsuperficial, como consequência da migração de sua parte superior. Os Alisols têm baixa saturação por bases a determinadas profundidades e argilas de alta atividade (p.ex., vermiculita, ilita e montmorilonita) no horizonte rico em argila. Ocorrem principalmente nas áreas úmidas subtropicais e temperadas; este clima produz acidez e lixiviação de bases. O intemperismo dos silicatos primários pode liberar uma quantidade elevada de alumínio - normalmente a níveis tóxicos.

**Esquerda:** Perfil profundo, marrom-avermelhado, características comuns aos Alisols. Encontra-se em um terreno utilizado para a produção de vinho no Chile. A natureza ácida do solo impede a podridão das raízes. (MF)

**Abaixo:** Nesta paisagem de relevo ondulado localizada na região central do Chile e coberta por vinhedos, Alisols são os solos predominantes. Estes solos ocorrem em terrenos geologicamente jovens. (MF)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Ultisols.



## Andosols

Solos jovens desenvolvidos principalmente a partir de materiais que contêm vidros vulcânicos (do japonês, **an**, escuro, e **do**, solo).



Muitos Andosols são derivados de cinzas vulcânicas, pedras-pomes ou outros materiais vulcânicos. O intemperismo rápido dos vidros dá origem a minerais com baixo grau de ordenação cristalina, como alofanos e imogolitas (Silandic Andosols) ou a substâncias orgânicas complexadas com alumínio (Aluandic Andosols). Ambos contêm óxidos de ferro, tais como a ferridrita. Os Andosols aparecem nas regiões vulcânicas em todo o mundo. No entanto, os Aluandic Andosols também podem se desenvolver em outros materiais ricos em silicatos sob condições de intemperismo ácido, em climas úmidos e perúmidos.

**Esquerda:** Um Silandic Andosol do Chile. O intemperismo rápido dos vidros vulcânicos sob condições de pH elevado resulta na formação de alofanos e imogolitas. (PS)

**Abaixo:** paisagem dos Aluandic Andosols. As principais atividades agrícolas sob este solo correspondem a produção de aveia e milho. San Lorenzo, Departamento de San Marcos, Guatemala. (HTV)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Andisols.



## Anthrosols

Solos formados pela atividade humana (do grego, *ánthros*, homem)



Os Anthrosols são formados pelas atividades relacionadas ao uso do solo, como a adição de materiais orgânicos, resíduos domésticos, cal, carvão vegetal, sedimentos lacustres (como nas chinampas mexicanas) ou de carga de sedimentos da água de irrigação. Habitualmente, estes materiais adicionados são enterrados profundamente no solo. Muitos campos de arroz e terras irrigadas antigas também podem ser considerados como Anthrosols. No entanto, os solos que contêm uma quantidade significativa de produtos advindos de artefatos recentes (p. ex., resíduos de exploração de minérios ou escambros) são classificados como Technosols, e não Anthrosols.

**Esquerda:** terra preta de Índio (TPI - Hortic Anthrosol). Formou-se pela adição de grandes quantidades de carvão, ossos, esterco e fragmentos de cerâmica em um solo caulínico, relativamente infértil (horizonte amarelo), durante um longo período de tempo. (WGT)

**Abaixo:** TPI muito escura e fértil, cultivada com milho e localizada na bacia do rio Amazonas. (WGT)

Na **Soil Taxonomy** não existe equivalência, porém muitos destes são classificados como Anthrepts.



## Chernozems

Solos com um horizonte mineral superficial profundo, preto e rico em matéria orgânica, com presença de carbonatos secundários no subsolo (do russo *cherniy*, preto, e *zemlja*, terra).



Os Chernozems apresentam um horizonte superficial escuro, rico em matéria orgânica e com valores de pH tendendo a neutralidade. Os Carbonatos secundários ocorrem nos primeiros 50 cm a partir do limite inferior da camada rica em húmus. Estes solos apresentam uma elevada atividade biológica e encontram-se tipicamente nas áreas de pastagens naturais de porte alto em condições de clima temperado subúmido ou semi-árido (p. ex. campos altas). Trata-se de um dos solos mais produtivos do mundo.

**Esquerda:** na parte superior do perfil observa-se claramente o horizonte móico, que é um horizonte mineral muito rico em matéria orgânica. (PK)

**Abaixo:** paisagem com ocorrência dos Chernozems em Veracruz, México. (PK)

A **Soil Taxonomy** classifica estes solos como Mollisols.



## Cryosols

Solos com permafrost (do grego, *krýos*, frio)



Os Cryosols apresentam um subsolo permanentemente congelado (permafrost). Quando existe a presença da água, dá-se principalmente na forma de gelo. Nos Cryosols a atividade biológica natural ou induzida pelo ser humano limita-se à camada da superfície ativa que derrete a cada verão. Este ciclo de congelamento e descongelamento pode provocar a mistura do material da camada ativa, processo conhecido como crioturbação.

**Esquerda:** Cryosol formado em loess na tundra do norte de Alaska (EUA). A matéria orgânica, fortemente crioturpada, encontra-se dispersa pelos distintos horizontes. Neste caso, o limite superior do permafrost encontra-se a 50 cm da superfície. Esta profundidade indica o início da massa de gelo. (CP)

**Abaixo:** permafrost de montanha nos Andes Secos (Mendoza, Argentina). Uma paisagem típica dos ambientes periglaciais. (LR)  
A **Soil Taxonomy** classifica estes solos como Gelisols.



## Durisols

Solos com acumulação de sílica secundária (do latim *durus*, duro).



Os Durisols estão principalmente associados a superfícies antigas em ambientes áridos e semi-áridos e acomodam os solos pouco profundos que contêm sílica ( $\text{SiO}_2$ ) secundária dentro dos 100 cm da superfície do solo. A sílica pode formar nódulos independentes e endurecidos ou uma camada dura contínua.

**Esquerda:** perfil com horizonte endurecido (duripã), que se encontra a cerca de 80 cm da superfície do solo. Estação Experimental Las Cardas, província de Elqui, IV Região de Coquimbo (Chile). (OS)

**Abaixo:** vale com vegetação dispersa nas margens do deserto do Atacama (Chile). (OS)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Durids, Durustepts e Durixerepts



## Fluvisols

Solos jovens, típicos de planícies de inundação, vales, lagos, deltas ou praias (do latim *fluvius*, rio)



Estes solos são encontrados nos depósitos aluviais das planícies de inundação, fundo dos vales, deltas e áreas pantanosas costeiras, em todos os continentes e zonas climáticas. Muitos Fluvisols são inundados periodicamente de maneira natural. Apresentam estratos ao longo do perfil e a diferenciação entre os horizontes é fraca. Muitos Fluvisols possuem uma grande quantidade de húmus na camada superficial do solo. Com frequência aparecem traços característicos dos processos de oxirredução, especialmente na parte inferior do perfil.

**Esquerda:** neste perfil de um Fluvisol mexicano, os primeiros 40 cm caracterizam-se pela presença de sedimentos estratificados por deposição de areias finas como o resultado de um lento fluxo de água. Ao redor dos 30 cm de profundidade houve uma mudança abrupta no fluxo, uma vez que aparecem materiais mais grossos. Abaixo dos 40 cm, a predominância de areias grossas misturadas com cascalho é igualmente indicadora de condições de fluxos mais turbulentos. falta de camadas estratificadas abaixo de 40 cm de profundidade sugere uma deposição contínua em condições semelhantes de fluxo durante um longo período de tempo. (CCG)

**Abaixo:** vale fluvial em Tapacari, Bolívia. Observa-se a planície de inundação com cultivos inundados (RV)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Fluvents.



## Gypsisols

Solos com acumulação de gessos secundários, situados geralmente em zonas áridas (do grego *gýpsos*, gesso)



Os Gypsisols são solos com acumulação substancial de gesso secundário ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Estes solos são encontrados em regiões muito áridas. Muitos deles aparecem nas depressões do terreno e estão relacionados a antigos leitos de lagos que secaram pela evaporação. A vegetação natural é escassa e é dominada por arbustos xerofíticos ou espécies herbáceas perenes.

**Esquerda:** no perfil observa-se a acumulação de gesso na matriz do solo, especialmente entre 40 e 80 cm da superfície do solo (horizonte gipsico). (JNR)

**Abaixo:** paisagem típica dos Gypsisols numa zona árida do Peru, próxima da costa. Os Gypsisols costumam aparecer nas áreas onde a evapotranspiração é muito superior a quantidade de precipitação. (JNR)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Gypsisols.



## Histosols

Solos ricos em matéria orgânica, que se desenvolvem geralmente em condições de excesso de água ou baixas temperaturas (do grego *histós*, tecido)



Os Histosols são solos formados a partir de material orgânico. Incluem desde os solos de turfeiras das regiões árticas e boreais, até os solos de manguezais e florestas permanentemente inundadas dos trópicos úmidos. A maioria destes solos ocorrem nas depressões do terreno.

**Esquerda:** detalhe do solo num vale do dos Andes. (JNR)

**Abaixo:** paisagem correspondente ao solo da esquerda. Trata-se de uma bacia de cabeceira em altitudes superiores a 3.900 m, onde as temperaturas são muito baixas (inclusive abaixo de 0°C), as precipitações são abundantes e a vegetação é composta por pastagens naturais. (JNR)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Histosols.



## Kastanozems

Solos com um horizonte mineral superficial escuro e rico em matéria orgânica, com carbonatos secundários no subsolo (do latim *castanea*, castanho, e russo *zemlja*, terra).



Os Kastanozems possuem um perfil semelhante aos Chernozems; diferenciam-se desses apenas pela presença de horizonte superficial do solo de tonalidade mais clara. Além disso, tanto o conteúdo de húmus como a sua espessura tendem a ser menores em relação aos Chernozems. Também costumam apresentar maiores acumulações de carbonatos secundários na parte subsuperficial. Compreendem os solos que se desenvolvem sob pastagens ou matagais secos. Os Kastanozems são solos potencialmente ricos; a falta periódica de umidade é o principal obstáculo para alcançar altos rendimentos agrícolas. Na ALC são encontrados, por exemplo, nos vales inter-andinos.

**Esquerda:** este Kastanozem encontra-se nas planícies do norte do México. A cor escura da camada superior surge devido à acumulação da matéria orgânica. (CCG)

**Abaixo:** paisagem correspondente ao perfil. Trata-se de um ecossistema de matagal típico; constitui uma das áreas mais férteis da região. Somente aqueles Kastanozems irrigados mantêm-se produtivos durante todo o ano. (CCG)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Mollisols.



## Nitisols

Solos avermelhados profundos com estrutura bem desenvolvida e agregados nuciformes (do latim, *nitidus*, brilhante)



Os Nitisols são solos tropicais profundos, bem drenados, com limites difusos entre os horizontes. Apresentam um horizonte subsuperficial tipicamente vermelho, contendo 30 % ou mais de argila, estrutura do tipo blocos angulares que facilmente esboroam-se em característicos agregados reluzentes, de cantos planos ou nuciformes. Embora o intemperismo seja relativamente avançado, os Nitisols são muito mais produtivos do que a maioria dos outros solos tropicais. Muitos Nitisols são correlacionados com os "nitossolos" da classificação nacional brasileira.

**Esquerda:** a cor vermelha deste exemplo de Cuba indica a presença de grande quantidade de óxidos de ferro. Note a falta de diferenciação na zona de transição entre os horizontes e os agregados em forma de nozes. (OMU)

**Abaixo:** cultivo de repolho e alface em Cuba. Os Nitisols caracterizam-se pela sua produtividade, apesar da sua alta capacidade de fixação de fosfatos. Neste país, os Nitisols são muito demandados por parte dos agricultores para a produção de cultivos variados, como a cana-de-açúcar, tabaco, hortaliças e café. (OMU)

Na **Soil Taxonomy** estes solos pertencem às categorias dos Oxisols, Ultisols e Inceptisols.



## Planosols

Solos com alteração abrupta de textura entre um horizonte superficial e um horizonte subsuperficial mais argiloso, causando acumulação de água (do latim, *planus*, plano).



Os Planosols apresentam um horizonte superficial de textura mais grosseira, imediatamente abaixo do qual aparece um subsolo adensado, de permeabilidade lenta e mais rico em argila, o que causa estagnação da água de chuva e condições redutoras periódicas. O ferro reduzido da superfície do solo é lavado lateralmente para fora do perfil, deixando um horizonte de coloração clara, concentrando-se na parte subsuperficial em forma de mosqueados. No mundo, os Planosols concentram suas maiores extensões nas regiões subtropicais e temperadas em que há uma alternância clara de estação seca e úmida (p. ex., Paraguai, Argentina e o sul do Brasil).

**Esquerda:** O perfil corresponde a um solo do México. Pode-se observar a típica mudança textural abrupta: varia de grossa no horizonte superficial de coloração clara claro, passando para mais fina no horizonte escuro subjacente, até chegar a uma estrutura mais densa no subsolo. (CCG)

**Abaixo:** terreno plano, típico de Planosols. Estes solos ocorrem em todo o mundo; normalmente estão associados a extensos vales fluviais. (ER)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Albaqualfs, Albaquults y Argialbolls.



## Podzols

Solos ácidos e arenosos, com um horizonte lavado sobre um horizonte de acumulação de matéria orgânica, alumínio e ferro (do russo, *pod*, abaixo, e *zola*, cinza).



Os Podzols são solos com um horizonte subsuperficial superior (logo abaixo do horizonte superficial) tipicamente de cor cinza, descolorado pela perda da matéria orgânica e óxidos de ferro, sobre um horizonte escuro com acumulação de húmus iluvial, seguido por outro horizonte com acumulação de óxidos de ferro de cor marrom a avermelhado. São frequentes nas áreas úmidas das zonas boreais ou temperadas e aparecem localmente nos trópicos. A presença de camadas orgânicas é comum nas áreas de baixas temperaturas. Devido ao baixo nível de nutrientes, de retenção de água e do pH, os Podzols são pouco aptos para a agricultura.

**Esquerda:** Trata-se de solos arenosos desde a superfície, com acumulação de matéria orgânica, alumínio e/ou óxidos de ferro na parte mais profunda do solo. Geralmente são solos muito pobres e ácidos. A toxicidade por alumínio e deficiência de P são problemas comuns. A foto é de um Podzol do Brasil, onde distribuem-se de forma irregular ao longo do litoral, e em alguns lugares da Amazônia Ocidental. Nesses locais, o horizonte lavado pode atingir alguns metros de profundidade. (Embrapa)

**Abaixo:** paisagem de Podzol no Brasil. (Embrapa)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Spodosols.



## Solonchaks

Solos com acumulação de sais solúveis (do russo, *sol*, sal)



Os Solonchaks são solos que contêm concentrações elevadas de sais mais solúveis do que o gesso (p. ex; cloreto de sódio ou sulfato de magnésio). Estes sais podem mover-se no perfil ao longo do ano. Os Solonchaks estão confinados às zonas climáticas áridas e semi-áridas. As suas características limitam o crescimento das plantas dependendo da quantidade de sais, da profundidade em que se encontram e de sua composição.

**Esquerda:** A acumulação de sal é evidente nos primeiros 50 cm do solo (horizonte sálico) (ISRIC)

**Abaixo:** Os Solonchaks surgem nas regiões muito áridas, como é o caso desta paisagem boliviana. (RV)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Salids.



## Stagnosols

Solos com estagnação periódica de água (do latim, *stagnare*, estagnar).



Os Stagnosols são solos que apresentam uma camada de água estagnada sazonalmente. A drenagem é periodicamente impedida na camada subsuperficial do solo e provoca uma estagnação periódica da água da chuva, causando condições redutoras. O ferro, em forma reduzida, transloca-se para o interior dos agregados, onde se reoxida e forma concreções ou mosqueados de cores intensas. A saturação periódica de água é um problema para o uso deste solo. Em alguns sistemas de classificação, estes solos recebem o nome de pseudogleys.

**Esquerda:** observa-se no perfil um intrincado padrão de cores neste tipo de solo. A cor uniforme dos 30 cm superficiais deve-se ao cultivo ao longo dos anos. (EM)

**Abaixo:** as paisagens típicas dos Stagnosols destacam-se por serem planas, como esta da costa de Golfo do México. (CCG)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Epiaqualfs, Epiaquults e Epiaquepts.



## Technosols

Solos que foram recobertos por matérias de origem artificial (artefatos) ou que os contém (do grego *technikós*, feito com habilidade).



Os Technosols contêm grandes quantidades de artefatos produzidos pelo homem (p. ex., lixos domésticos, restos de construção ou resíduos industriais), ou materiais extraídos da superfície (p. ex. rejeitos de mineração ou derrames de petróleo) ou, ainda, foram recobertos por material artificial (p. ex. rodovias). Frequentemente contêm materiais tóxicos. A maioria destes solos está localizado em áreas urbanas ou de mineração.

**Esquerda:** perfil típico de um Technosol, o qual revela evidências de antigas construções na sua parte superior. (ER)

**Abaixo:** aterro onde são depositados os resíduos da construção civil. Embora os Technosols possam ter certa importância em âmbito local, numa escala continental ocupam menos que 1,5% da área de ALC. (ER)

Não têm equivalência na **Soil Taxonomy**.



## Umbrisols

Solos ácido, com um horizonte mineral superficial escuro e rico em matéria orgânica (do latim, *umbra*, sombra)



Os Umbrisols possuem um horizonte mineral superficial rico em matéria orgânica, porém com baixo conteúdo de nutrientes. Em geral, estão associados a materiais de origem de natureza ácida e/ou a áreas onde ocorrem chuvas intensas. Na ALC, os Umbrisols são comuns na cordilheira dos Andes da Colômbia, Equador e, em menor proporção, na Venezuela, Bolívia e Peru. Também ocorrem no Brasil (p. ex.: na Serra do Mar).

**Esquerda:** solo argiloso de 33 cm de profundidade e com acumulação de húmus no horizonte mineral superficial. Apresenta valor de pH neutro, porém com saturação por bases inferior a 50% a partir dos 14 centímetros de profundidade. Este perfil localiza-se em condições de clima temperado úmido na região do grande planalto duranguense (2.620 m de altitude), associado à Sierra Madre Occidental, México. (CCG)

**Abaixo:** Floresta nublada do Parque Henri Pitter, Venezuela. As nuvens formam-se pela ação das massas de ar úmido ascendentes, o que favorece a produção da matéria orgânica e intensa lixiviação de nutrientes, resultando na formação de Umbrisols. (ISRIC)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Inceptisols.



## Vertisols

Solos ricos em argila que experimentam expansão e contração (do latim, *vertere*, verter)



Os Vertisols são solos muito argilosos com alta proporção de argilas expansivas. A sua designação faz referência à remoção constante de material do solo. Na sua parte subsuperficial aparecem agregados em forma de cunha, com superfícies estriadas e polidas (slickensides). Quando o solo seca (o que ocorre quase todos os anos), formam-se fendas largas e profundas da superfície do solo até maiores profundidades. Os Vertisols são encontrados nas posições baixas da paisagem, tais como nos fundos de lagos secos, bacias fluviais, terraços inferiores de rios e outras planícies, onde o clima revela uma alternância entre a estação chuvosa e seca. Os Vertisols aparecem na maioria dos países da ALC.

**Esquerda:** perfil de um Vertisol do México que apresenta as fendas típicas, resultantes da contração de argilominerais durante os períodos secos. (CCG)

**Abaixo:** Campo de cereais colhidos: os Vertisols são solos muito férteis (embora requeiram cuidados especiais com o uso das máquinas agrícolas). (CCG)

A **Soil Taxonomy** classifica a maioria destes solos como Vertisols.



## Os solos da ALC: fortalezas, oportunidades, fraquezas e ameaças

Nesta seção enfatizam-se as fortalezas, fraquezas, oportunidades e ameaças dos principais tipos de solo da ALC, principalmente para o uso agrícola.

### Acrisols

**Fortalezas:** extensas áreas desses solos estão cobertas com vegetação natural ou são manejadas mediante sistemas de corte e queima (agricultura nômade).

**Oportunidades:** esses solos podem ser produtivos se fertilizados. No entanto, a fertilização deve ser frequente e em pequenas quantidades devido ao fato de serem incapazes de reter uma grande quantidade de nutrientes. As espécies tolerantes à acidez, como abacaxi ou o chá, e outras pouco exigentes em nutrientes, como a mandioca, podem ser cultivadas com sucesso nestes solos. Devido ao baixo conteúdo de argila na camada superficial dos Acrisols, bem como a sua estrutura fraca, é necessário proteger o solo caso seja mantido descoberto por longos períodos de tempo. A preparação do solo, juntamente com a remoção de ervas daninhas, permitem que a água da chuva infiltre no solo, evitando a erosão. Os sistemas agroflorestais são uma alternativa para preservar a matéria orgânica do solo e evitar a erosão.

**Fraquezas:** apresentam baixa capacidade de retenção de nutrientes e baixo conteúdo de húmus. São solos geralmente bastante ácidos.

**Ameaças:** os Acrisols são suscetíveis à erosão quando expostos e mantidos sem qualquer tipo de cobertura vegetal.

### Arenosols

**Fortalezas:** os solos arenosos são fáceis de serem trabalhados.

**Oportunidades:** dado que os Arenosols se estendem, sobretudo, pelas áreas semiáridas do continente, o uso desses solos normalmente se limita à pastagem extensiva. Com suficiente precipitação pluvial ou uso de sistemas de irrigação, podem se tornar adequados ao cultivo de cereais em pequena escala, de melões, leguminosas e espécies forrageiras, sempre com uso de fertilizantes.

**Fraquezas:** são solos pobres em matéria orgânica, nutrientes e com baixa capacidade de retenção de água. Exigem fertilização e irrigação frequentes sob condições de clima sub-úmido e semiárido a fim de manter a umidade.

**Ameaças:** os Arenosols das regiões semiáridas são propensos à erosão eólica e hídrica se medidas de conservação do solo não forem implementadas.



A pesar de não serem um dos grupos mais abundantes na ALC, os Vertisols são muito importantes em termos relativos. A imagem foi obtida da República Dominicana e ilustra o manejo do solo em uma plantação de mandioca (*Manihot esculenta*) cultivada sobre um Vertisol de coloração escura característica. São solos muito produtivos, desde que se utilize tecnologias apropriadas (se não for o caso, recomenda-se a criação extensiva de gado e/ou o uso florestal moderado). A mandioca é cultivada em todo o país durante os doze meses do ano, sendo um dos alimentos mais consumidos. (PNR)

### Calcisols

**Fortalezas:** se cultivado pode levar a altos rendimentos com o uso de irrigação.

**Oportunidades:** na região mediterrânea da ALC (Chile), os calcisols são usados para a agricultura intensiva (hortaliças, árvores frutíferas, videiras).

**Fraquezas:** para serem utilizados se faz necessário a adubação com nitrogênio, fósforo e oligoelementos como ferro e zinco uma vez que esses nutrientes são escassos nos Calcisols.

**Ameaças:** a falta de cobertura vegetal torna os Calcisols suscetíveis a erosão eólica e hídrica

### Cambisols

**Fortalezas:** em geral, os Cambisols constituem boas terras agrícolas, permitindo seu uso intensivo (especialmente aqueles com alta saturação por bases).

**Oportunidades:** dependendo de sua profundidade, podem ter elevada capacidade de retenção de água. Os Cambisols localizados nos trópicos úmidos são geralmente pobres em nutrientes, porém, são mais ricos em relação aos Acrisols ou Ferralsols. Além disso, os Cambisols possuem maior CTC, o que representa uma vantagem ao reter os elementos da fertilização.

**Fraquezas:** os Cambisols fortemente intemperizados são pouco férteis.

## Todos os solos existem na ALC

A classificação WRB estabelece 32 Grupos de Referência de Solo, sendo que todos estão presentes na América Latina e Caribe. Isto se deve, sobretudo, a ampla variação das condições ambientais existentes na ALC. Inclusive os Albeluvisols, não encontrados num continente tão extenso como a África, podem ocorrer em ambientes periglaciais da América do Sul.

Este tipo de solo tem um horizonte superficial delgado e escuro, assente sobre um horizonte lavado (de eluviação) que penetra como línguas em um horizonte de acumulação de argila (horizonte iluvial); este apresenta seu limite superior irregular ou quebrado. O resultado é a presença de línguas do material lixiviado dentro do horizonte iluvial de acumulação de argila. São originados principalmente do intemperismo de materiais geológicos não consolidados provenientes das geleiras, de materiais de origem lacustre ou fluvial, bem como de depósitos eólicos (loess). Ocorrem nas planícies de relevo plano a ondulado, sob floresta de coníferas (incluindo taiga) ou sob floresta mista de clima temperado a boreal, com invernos frios e verões curtos e frescos (por esta razão, estes solos são mais abundantes nas altas latitudes do Hemisfério Norte). Nas línguas pode-se observar elementos horizontais semelhantes a cunhas de gelo, o que sugere sua formação associada a condições de frio intenso. Estas condições podem ser encontradas em ambientes periglaciais da ALC.

Apesar de se ter certeza de sua existência na ALC, os Albeluvisols são muito difíceis de serem localizados já que, no passado, a sua característica diagnóstica principal (línguas albelúvicas) não era anotada durante os levantamentos de solos.



Albeluvisol de Alemanha onde se observam as línguas desde o horizonte eluvial até o horizonte de acumulação de argila (vermelho). (EM)

**Ameaças:** nas áreas montanhosas, onde os Cambisols são mais frequentes, é necessário tomar medidas para prevenção do processo erosivo quando o solo encontra-se descoberto. Nestas áreas é melhor manter uma cobertura florestal ou utilizá-las com cultivos perenes, como o chá.

### Ferralsols

**Fortalezas:** abrigam uma exuberante vegetação natural, geralmente floresta tropical, ou são manejados mediante sistemas de corte e queima. Podem ser cultivados de forma intensiva se manejados com uso de calagem e fertilizantes.

**Oportunidades:** embora a maioria dos Ferralsols sejam ácidos e apresentem elevada saturação por alumínio, a quantidade real do elemento trocável no solo é baixa, o que facilita sua correção mediante aplicação de calcário. No entanto, o elevado conteúdo de óxidos promove a fixação do fósforo dos fertilizantes. Os sistemas agroflorestais são uma alternativa moderna para manter a matéria orgânica e fornecer nutrientes ao solo.

**Fraquezas:** os níveis inerentes de nutrientes e a capacidade de retenção dos mesmos são muito baixos. Para desenvolver uma agricultura intensiva é necessário aplicar fertilizantes em pequenas doses. A forte microagregação dos Ferralsols leva à predominância de poros grandes; em consequência, a maioria dos Ferralsols apresentam uma baixa capacidade de retenção de água, o que pode promover a falta de água suplementar às plantas em períodos anormais de seca em plena estação chuvosa (veranico).

**Ameaças:** manter a fertilidade do solo e um certo conteúdo de matéria orgânica são os requisitos mais importantes no manejo dos Ferralsols.



Plantação de café (*Coffea spp.*) na Costa Rica em um Acrisol. (SLCS)

## Gleysols

**Fortalezas:** em geral, os Gleysols estão relacionados a terrenos planos. A proximidade à água subterrânea torna esses solos - ideal para o cultivo de arroz.

**Oportunidades:** quando drenados, podem ser cultivados ou utilizados com pecuária.

**Fraquezas:** quando ocorre o ferro reduzido em grandes quantidades, é necessário tomar medidas para evitar a toxidez por excesso do elemento e baixas produtividades. Na maior parte dos casos é necessário a implantação de práticas de drenagem e de controle dos níveis de água no solo.

**Ameaças:** alagamentos, falta de oxigênio para as raízes e compactação.

## Leptosols

**Fortalezas:** possuem uma base sólida para a construção civil.

**Oportunidades:** os Leptosols destinam-se principalmente à pastagem extensiva e à silvicultura. O uso agrícola requer medidas preventivas contra a erosão. Nos trópicos, os Leptosols podem ser mais produtivos em relação aos Ferralsols.

**Fraquezas:** apresentam uma profundidade de enraizamento limitada, uma baixa capacidade de retenção de água e os nutrientes estão limitados à pequena quantidade de terra fina presente.

**Ameaças:** elevado risco de erosão

## Lixisols

**Fortalezas:** os Lixisols podem ser produtivos se a sua baixa fertilidade natural for contornada com uma repetida adição de fertilizantes, preferivelmente aplicados próximo as plantas. A calagem não é necessária.

**Oportunidades:** se o solo for mantido coberto durante o pousio, pode-se evitar a formação de uma crosta superficial. Devido ao clima, pode ser necessário a irrigação a fim de cultivá-lo durante a estação seca ou para superar episódios de seca durante a estação chuvosa (veranicos). É recomendável implementar práticas agrícolas para armazenar a maior quantidade possível de água no solo.

**Fraquezas :** ocorrem principalmente nas regiões subúmidas ou semiáridas onde há pouca produção de biomassa, resultando em baixo teor de húmus nas camadas superficiais. Além disso, a parte superficial do solo contém um baixo conteúdo de argila. Uma chuva intensa pode destruir a estrutura do solo.

**Ameaças:** são propensos à erosão, mais do que os seus contrapartes ácidos, os Acrisols. Se não forem protegidos de maneira adequada, podem desenvolver um encrostamento superficial que impede a infiltração da água de chuva no solo. Em decorrência, o escoamento superficial poderia arrastar a camada superficial do solo (a mais fértil). Os Lixisols também são suscetíveis à erosão eólica.

## Luvissols

**Fortalezas:** os Luvissols são solos produtivos e de grande importância agrícola (exceto as unidades Lepic, Stagnic, Albic e Ferric). São solos ricos em argilas na parte subsuperficial, apresentam fertilidade moderada a alta, concentram uma grande quantidade de nutrientes minerais e são bem arejados. Podem ser encontrados sob uso com pastagens, campos de arroz ou cultivos anuais; em alguns casos, nas encostas de declive acentuados, são mantidos cobertos por florestas e vegetação natural ou são construídos terraços quando utilizados.

**Oportunidades:** são solos que toleram vários usos agrícolas.

**Fraquezas:** em algumas zonas da ALC, a camada superficial do solo foi erodida devido ao seu cultivo prolongado, requerendo práticas para recompor a matéria orgânica a fim de manter boas produtividades.

**Ameaças:** são propensos à erosão em áreas com declives acentuados.

## Grandes civilizações e Leptosols

Nas regiões de ocorrência dos Leptosols, as culturas e as civilizações indígenas souberam aproveitar tais terrenos problemáticos, construindo terraços para cultivar nas encostas muito íngremes e, até mesmo, os agricultores transportavam o solo nos ombros até eles, como é o caso do Santuário Histórico de Machu Picchu, no sul do Peru.



Machu Picchu é, talvez, uma das cidades mais emblemáticas construídas pelos Incas nos Andes. Na imagem observam-se terraços no setor agrícola da cidade abandonada. O solo de suas áreas não cobertas é provido de um sistema de drenagem (camadas de cascalho e de rochas), concebido para evitar respingos e erosão, o qual desemboca principalmente no "fosso" (o principal dreno da cidade) que separa a área urbana da agrícola. Estima-se que 60% do esforço construtivo de Machu Picchu foi aplicado para construir as fundações cimentadas sobre os terraços preenchidos com cascalho a fim de obter uma boa drenagem do excesso de água. Os incas aproveitaram a tecnologia já inventada, melhorando-a e aplicando-a de maneira generalizada. (MVR)

Os povos pré-colombianos desenvolveram sistemas eficientes de aproveitamento dos recursos hídricos para a irrigação e drenagem dos seus campos. Estas admiráveis obras de engenharia hidráulica permitiram transformar pequenos espaços hostis do ponto de vista agrícola, em oásis de alta produtividade, imersos numa paisagem de difíceis condições climáticas e topográficas.

Hoje em dia, algumas destas obras de engenharia ainda são utilizadas para irrigar os terraços da área, como no caso de Tipón, ao leste de Cuzco, onde se encontram as ruínas Incas de um complexo de terraços com um canal de irrigação em perfeito estado de conservação. Acredita-se que estes terraços foram utilizados como um "laboratório experimental" para cultivar espécies agrícolas em diferentes microclimas.



O Templo do Cóndor, em Machu Picchu, revela uma série de irregularidades na sua arquitetura, cuja finalidade era de se fundir com o seu entorno, unindo-se com o perfil que ofereciam os afloramentos rochosos ao redor. Trata-se de um exemplo da solidez dos Leptosols para a construção civil; neste caso, a construção é de cunho religioso, o que permitiu preservar esse patrimônio histórico até hoje. (MVR)



Não todas as obras de engenharia hidráulica tinham um fim agrícola: também eram construídas para fins sagrados. Na imagem observa-se a "fuente de la juventud" (fonte da juventude), no complexo arqueológico de Ollantaytambo, o qual foi um importante centro agrícola e religioso do Valle Sagrado de los Incas (sul do Peru) no século XV. (MVR)

## Phaeozems

**Fortalezas:** os Phaeozems são solos ricos em matéria orgânica e altamente produtivos.

**Oportunidades:** têm ótimo potencial para a agricultura.

**Deficiências:** o cultivo agrícola intensivo e o pastoreio com alta densidade de animais, podem causar degradação do solo. Também são vulneráveis à erosão eólica.

**Ameaças:** risco de erosão eólica.

## Solonetz

**Fortalezas:** muitos desses solos são mantidos com habitats naturais, uma vez que não têm interesse agrícola.

**Oportunidades:** embora sejam solos alcalinos (elevado valor de pH), o pH do solo pode ser diminuído através da calagem ou gessagem que promovem a substituição dos íons de sódio pelo cálcio no complexo de troca.

**Fraquezas:** a parte subsuperficial densa do solo pode limitar o enraizamento e promover a estagnação de água. A alcalinidade, pela sua abundância de sódio promove desequilíbrios de nutrientes. Quando os Solonetz secam, o solo endurece, tornando-se difícil de ser trabalhado, especialmente de maneira manual.

**Ameaças:** risco de sofrer erosão eólica e/ou hídrica.

## Análise FOFA: Fortalezas, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças

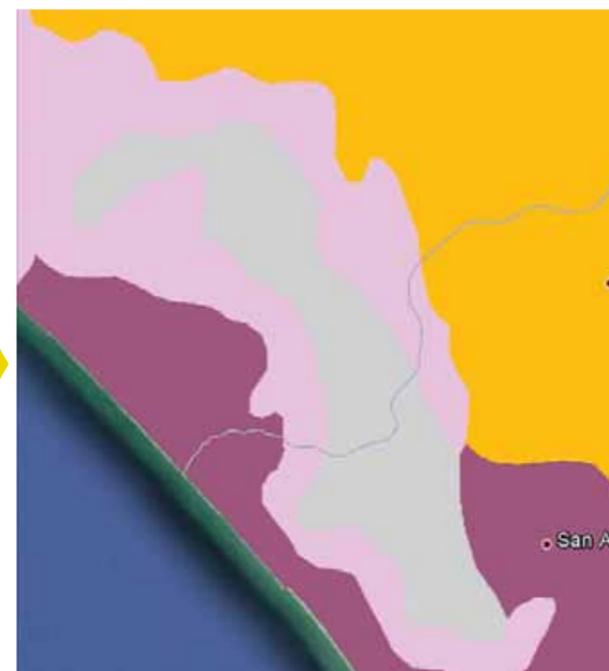
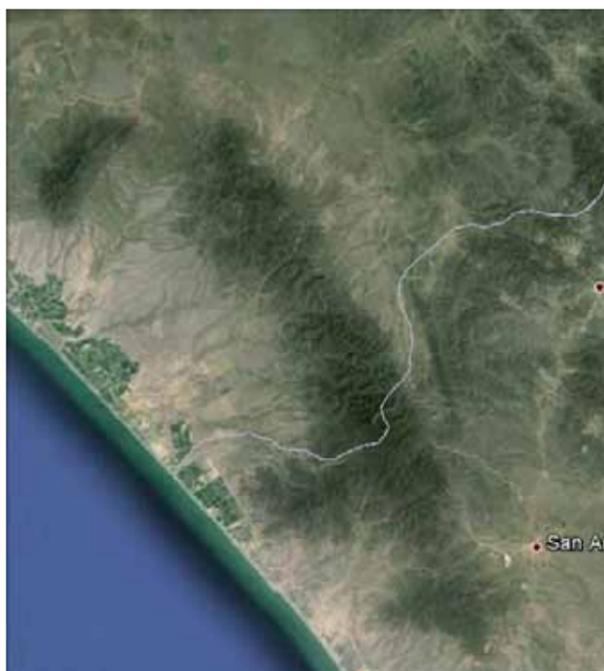
A análise FOFA, também conhecida como matriz ou análise SWOT (em inglês: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) é uma metodologia de estudo que considera a situação de um recurso, de uma empresa ou de um projeto, analisando tanto as suas características internas (Fraquezas e Fortalezas) como a sua situação externa (Ameaças e Oportunidades) num esquema de matriz quadrada. Esta ferramenta, elaborada no início da década de setenta, produziu uma revolução no campo da estratégia empresarial. Mais tarde, foi aplicada à avaliação dos recursos naturais.

Seguindo este esquema, no texto precedente adaptamos a abordagem FOFA para os diferentes tipos de solo da classificação WRB, considerando-se o potencial e as práticas agrícolas mais adequadas para cada tipo de solo:

- Fortalezas: propriedades inerentes do solo que o tornam muito apto para a agricultura.
- Fraquezas: propriedades inerentes do solo que o tornam desfavorável ao uso agrícola.
- Oportunidades: potencialidade de um solo considerando-se os fatores externos e outras características intrínsecas que possam ocorrer nele, como p. ex. a profundidade.
- Ameaças: risco de degradação de um solo por efeito de fatores externos (p. ex., uso, manejo e condições climáticas).



Estudantes realizando práticas de manejo do solo nas áreas de Estelí, Nicarágua. (JLMR)



Nesta página apresenta-se de maneira esquemática o processo convencional de elaboração de mapas de solo. O primeiro passo consiste na leitura do território através de fotografias aéreas ou imagens de satélite (imagem à esquerda. Fonte: Google Earth, Digital Globe, Marina dos NOAA dos EUA), para a seguir definir as unidades do solo (mediante levantamentos pedológicos, como é ilustrado na imagem do centro. Foto: CCG) e paisagem. Através do estudo dos solos estima-se a sua distribuição e por último, as unidades são delimitadas graficamente (imagem à direita. Fonte: JRC).

## Por que mapear os solos?

O mapeamento dos solos é útil para vários fins, tais como:

- Fornecer informações para facilitar a gestão do território (p.ex., para fins agrícolas como os zoneamentos) através da identificação dos recursos naturais e a capacidade do solo;
- Fornecer informações estratégicas sobre o estado atual do solo (p. ex., para o desenvolvimento de políticas nacionais).
- Extrapolar os resultados de estudos locais e redes de monitoramento do solo;
- Demonstrar como a variabilidade do solo em âmbito local e nacional faz parte de um padrão global (transnacional).

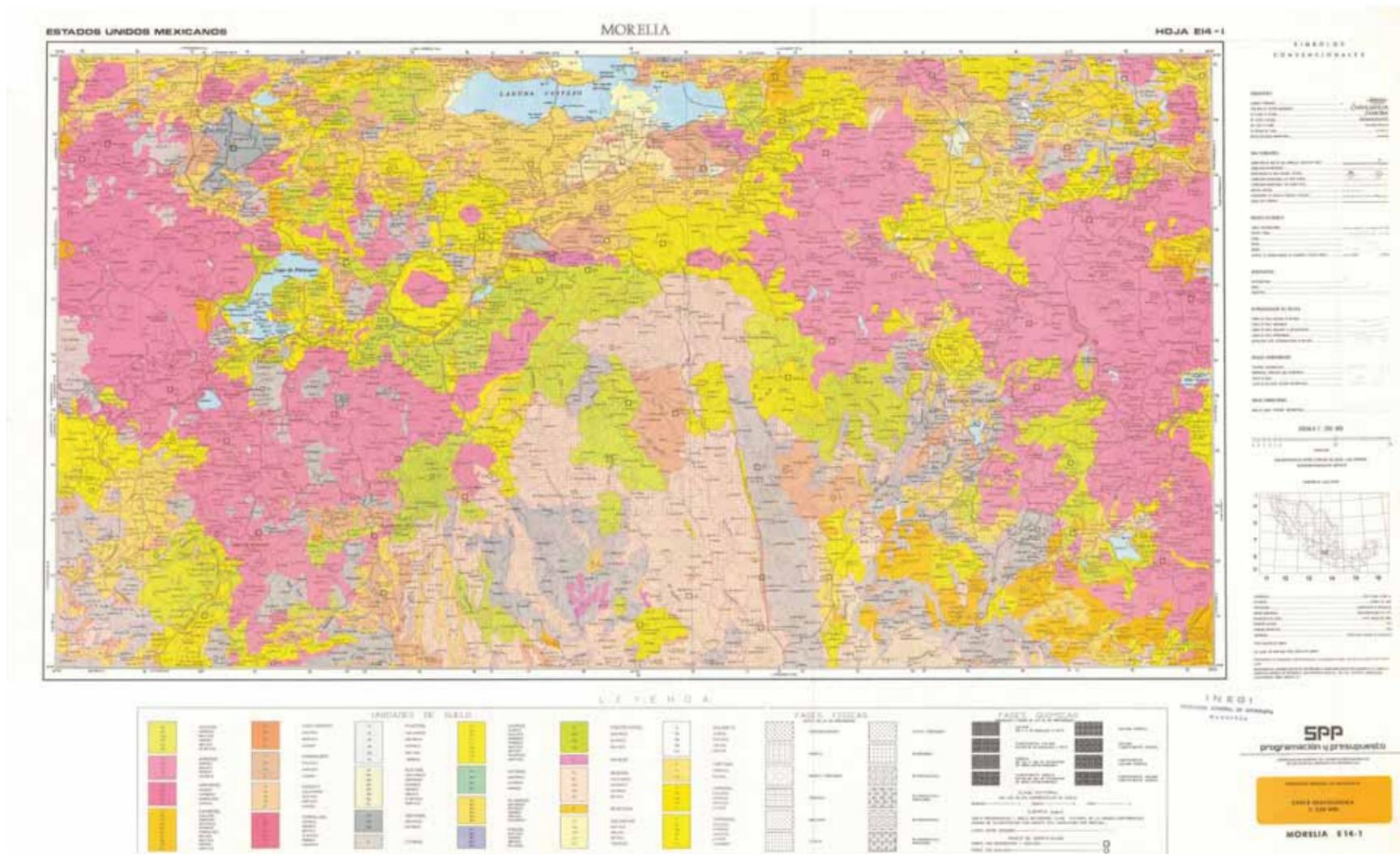
O alcance da informação requerida para cada um desses propósitos é variado, embora muitas vezes se sobreponham entre eles. Por isso, as técnicas utilizadas na cartografia e nos inventários de solos podem ser muito diversas, dependendo do objetivo do mapeamento. Geralmente, os estudos de solos são divididos em gerais e

específicos. Os mapas gerais pretendem quantificar e descrever uma ampla gama de propriedades dos solos, de modo que possam ser utilizados para diferentes aplicações. Este tipo de mapa geralmente abrange grandes áreas, desde bacias hidrográficas até continentes. Por outro lado, os mapas com objetivos específicos são orientados para a quantificação e variação espacial de uma dada propriedade do solo ou atributo (p.ex., o conteúdo de nutrientes, a capacidade de retenção de água ou a textura). Nas áreas menores pode-se realizar mapeamentos mais específicos, como é o caso das parcelas experimentais ou terrenos nos quais que se desempenha uma determinada atividade ou um incidente que tenha contaminado o solo.

### Evolução da cartografia de solos

Desde 1980, a Topografia, ciência que estuda a representação gráfica da superfície da Terra, tem adotado ferramentas

computacionais cada vez mais sofisticadas. O uso de tecnologias como o sensoriamento remoto (sensores e câmaras instaladas em aviões e satélites utilizados para obter imagens), os Sistemas de Posicionamento Global (GPS) (para georreferenciar a informação dos dados coletados no campo), os tablets, (para as observações de campo) e as bases de dados (para armazenar a informação), na atualidade, são hoje em dia, usados pelas organizações responsáveis pelos levantamentos de solos. Mediante o uso de Sistemas de Informação Geográfica, (ver página 136), todos esses dados podem ser compilados e armazenados num ambiente único de computação, para a elaboração de mapas de solo, onde a precisão e os erros podem ser estimados (Mapeamento Digital de Solos). Os dados fornecidos pelos sensores com alta resolução espacial e espectral, juntamente com os novos softwares de geoestatística, serão cada vez mais utilizados para completar a informação dos inventários de campo.



México realizou o seu mapeamento de solos a escala 1:250.000 em dois sistemas diferentes de classificação de solos. O primeiro é baseado na legenda da FAO-UNESCO e o segundo, de acordo com a classificação da Base de Referência Mundial (WRB) de 1998. No transcurso dessa atividade foram gerados 121 mapas impressos e 146 mapas digitais. A imagem corresponde a um mapa impresso da área E1503. A carta denomina-se "Morelia", por ser a localidade mais importante que aparece. O mapeamento em escala 1:250.000 foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), desde 1983. (INEGI)

Os mapas de solos são baseados em observações de campo e a seguir, na interpretação das características do solo e suas variações. As interpretações são realizadas a partir de modelos conceituais que incorporam as características do solo, e os fatores e processos de formação do solo. Para a maioria dos mapas de solos elaborados durante o século XX, estes modelos conceituais nunca foram explicitamente definidos ou quantificados, mas apenas baseados na experiência dos pedólogos e nas observações das variações locais das propriedades dos solos. Com a chegada da era digital, estes modelos conceituais começaram a ser quantificados, tornando-se mais assim robustos [64].

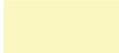
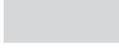
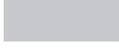
As observações de campo são a chave para elaborar mapas de solos de qualidade. A localização de cada ponto de amostragem é escolhida pelo pedólogo para proporcionar a melhor qualidade da informação sobre a variação das características do solo. Os fatores que determinam esta variação, e que portanto têm sido utilizados para desenvolver o modelo conceitual da variação espacial do solo são a geologia local, a paisagem, a vegetação e o clima. Os pontos de amostragem geralmente localizam-se num transecto que atravessa o território por uma área onde a

topografia (com declives variáveis que resultam em mudanças nas propriedades do solo) e a geologia variam. Nos casos em que a paisagem for mais homogênea, os pontos de amostragem podem situar-se - aleatoriamente. Em alguns casos, como nos casos de inventários nacionais, por exemplo, os pontos de observação encontram-se em intervalos predeterminados por uma quadrícula regular (p.ex., intervalos de 10 x 10 km).

Segundo o método de amostragem tradicional, em cada ponto são examinadas as características do solo, seja através da escavação de uma trincheira (para observar o perfil do solo) ou por meio do uso de um trado (instrumento em forma de espiral, que possui a extremidade inferior pontiaguda, que ao ser girado, perfurara e extrai a amostra) para extrair amostras de solo. Mediante ambas as técnicas, realizam-se amostragens de até cerca de 2 m de profundidade (se não surgir antes, a rocha matriz). Cada ponto de amostragem é georreferenciado e as características do solo são anotadas em folhas de registro, muitas vezes em forma de símbolos ou notas. No mapeamento de solos moderno, a informação registra-se diretamente em formato digital ou em formulários padronizados que são em

seguida, digitalizados. A informação registrada para cada horizonte pode variar, embora geralmente inclua a espessura, a cor, a textura, o tamanho e a estrutura do solo, a presença de carbonatos e pedregosidade [44]. Para realizar uma avaliação mais detalhada das propriedades do solo, as amostras são analisadas em laboratório. Após a amostragem dos pontos requeridos, desenvolve-se um modelo conceitual das relações entre as características do solo e topografia local, material de origem, clima e uso do solo. Em seguida, são desenhadas limites provisórios onde as características do solo se alteram (para este aspecto torna-se crucial a observação no campo). Este processo costuma dar lugar a alterações no modelo conceitual utilizado para interpolar entre os pontos, delineando assim os limites no mapa utilizado no campo. O resultado do inventário de campo é um conjunto de mapas com os limites delineados entre os diversos tipos de solos.

# Legenda

	<b>Acrisols</b>
	<b>Alisols</b>
	<b>Andosols</b>
	<b>Arenosols</b>
	<b>Calcisols</b>
	<b>Cambisols</b>
	<b>Chernozems</b>
	<b>Cryosols</b>
	<b>Durisols</b>
	<b>Ferralsols</b>
	<b>Fluvisols</b>
	<b>Gleysols</b>
	<b>Gypsisols</b>
	<b>Histosols</b>
	<b>Kastanozems</b>
	<b>Leptosols</b>
	<b>Lixisols</b>
	<b>Luvisols</b>
	<b>Nitisols</b>
	<b>Phaeozems</b>
	<b>Planosols</b>
	<b>Plinthosols</b>
	<b>Podzols</b>
	<b>Regosols</b>
	<b>Solonchaks</b>
	<b>Solonetz</b>
	<b>Stagnosols</b>
	<b>Technosols</b>
	<b>Umbrisols</b>
	<b>Vertisols</b>

Acrisols	
AC	Acrisols sem diferenciação
ACap	Haplic Acrisols (Abruptic)
ACar	Haplic Acrisols (Arenic)
ACau	Haplic Acrisols (Alumic)
ACcr	Chromic Acrisols
ACct	Haplic Acrisols (Cutanic)
ACfr	Ferric Acrisols
ACgl	Gleyic Acrisols
ACha	Haplic Acrisols
AChd	Haplic Acrisols (Hyperdystric)
AChu	Humic Acrisols
ACle	Leptic Acrisols
ACpl	Plinthic Acrisols
ACro	Rhodic Acrisols
ACst	Stagnic Acrisols
ACum	Umbric Acrisols
Alisols	
ALap	Haplic Alisols (Abruptic)
ALau	Haplic Alisols (Alumic)
ALcr	Chromic Alisols
ALct	Haplic Alisols (Cutanic)
ALfr	Ferric Alisols
ALgl	Gleyic Alisols
ALha	Haplic Alisols
ALhu	Humic Alisols
ALpf	Haplic Alisols (Profondic)
ALpl	Plinthic Alisols
ALpp	Petroplinthic Alisols
ALum	Umbric Alisols
Andosols	
ANca	Silandic Andosols (Calcaric)
ANcc	Calcic Silandic Andosols
ANeu	Eutric Silandic Andosols
ANge	Aluandic Andosols (Gelic)
ANha	Andosols sem diferenciação
ANhu	Aluandic Andosols
ANhy	Silandic Andosols (Hydric)
ANle	Leptic Silandic Andosols
ANml	Melanic Silandic Andosols
ANmo	Mollic Silandic Andosols
ANsn	Silandic Andosols
ANum	Umbric Aluandic Andosols
ANvi	Vitric Andosols
Arenosols	
AR	Arenosols sem diferenciação
ARab	Albic Arenosols
ARad	Eutric Arenosols (Aridic)
ARbr	Brunic Arenosols

ARca	Calcaric Arenosols
ARdy	Dystric Arenosols
AREu	Eutric Arenosols
ARfl	Ferralic Arenosols
ARfo	Folic Arenosols
ARha	Arenosols sem diferenciação
ARle	Leptic Arenosols*
ARwl	Hypoluvic Arenosols
ARng	Endogleyic Arenosols
ARpr	Protic Arenosols
ARso	Eutric Arenosols (Sodic)
ARws	Hyposalic Arenosols
Chernozems	
CHcc	Calcic Chernozems
CHha	Haplic Chernozems
CHle	Haplic Chernozems (Leptic)
CHpc	Petrocalcic Chernozems
CHvr	Vertic Chernozems
Calcisols	
CLad	Haplic Calcisols (Aridic)
CLar	Haplic Calcisols (Arenic)
CLha	Haplic Calcisols
CLle	Leptic Calcisols
CLlv	Luvic Calcisols
CLng	Haplic Calcisols (Endogleyic)
CLns	Haplic Calcisols (Endosalic)
CLpt	Petric Calcisols
CLso	Haplic Calcisols (Sodic)
CLwc	Haplic Calcisols (Hypocalcic)
Cambisols	
CMad	Eutric Cambisols (Aridic)
CMan	Andic Cambisols
CMca	Calcaric Cambisols
CMcr	Chromic Cambisols
CMdy	Dystric Cambisols
CMeu	Eutric Cambisols
CMfl	Ferralic Cambisols
CMfr	Dystric Cambisols (Ferric)
CMfv	Fluvic Cambisols
CMge	Dystric Cambisols (Gelic)
CMha	Cambisols sem diferenciação
CMhu	Dystric Cambisols (Humic)
CMle	Leptic Cambisols
CMng	Endogleyic Cambisols
CMns	Endosalic Cambisols
CMoa	Dystric Cambisols (Oxyaquic)
CMro	Rhodic Cambisols
CMsk	Skeletal Cambisols
CMso	Eutric Cambisols (Sodic)

CMst	Stagnic Cambisols
CMvr	Vertic Cambisols
Cryosols	
CRle	Leptic Cryosols
Durisols	
DUFp	Fractipetric Durisols
DUha	Haplic Durisols
DUpt	Petric Durisols
Fluvisols	
FLar	Dystric Fluvisols (Arenic)
FLca	Calcaric Fluvisols
FLce	Eutric Fluvisols (Clayic)
FLdy	Dystric Fluvisols
FLeu	Eutric Fluvisols
FLgl	Gleyic Fluvisols
FLha	Fluvisols sem diferenciação
FLhi	Histic Fluvisols
FLsl	Eutric Fluvisols (Siltic)
FLst	Stagnic Fluvisols
Ferralsols	
FRac	Acric Ferralsols
FRdy	Haplic Ferralsols (Dystric)
FRgr	Geric Ferralsols
FRha	Haplic Ferralsols
FRhu	Humic Ferralsols
FRoa	Haplic Ferralsols (Oxyaquic)
FRpl	Plinthic Ferralsols
FRro	Rhodic Ferralsols
FRum	Umbric Ferralsols
FRxa	Xanthic Ferralsols
Gleysols	
GLal	Dystric Gleysols (Alic)
GLan	Dystric Gleysols (Andic)
GLaq	Eutric Gleysols (Anthraquic)
GLar	Dystric Gleysols (Arenic)
GLca	Calcaric Gleysols
GLcc	Calcic Gleysols
GLce	Dystric Gleysols (Clayic)
GLdy	Dystric Gleysols
GLEu	Eutric Gleysols
GLfo	Folic Gleysols
GLfv	Eutric Gleysols (Fluvic)
GLha	Gleysols sem diferenciação
GLhi	Histic Gleysols
GLhu	Dystric Gleysols (Humic)
GLmo	Mollic Gleysols
GLns	Eutric Gleysols (Endosalic)
GLpl	Plinthic Gleysols
GLpy	Dystric Gleysols (Petrogleyic)

GLso	Eutric Gleysols (Sodic)
GLti	Thionic Gleysols
GLum	Umbric Gleysols
<b>Gypsisols</b>	
GYha	Haplic Gypsisols
GYpt	Petric Gypsisols
<b>Histosols</b>	
HSdr	Sapric Histosols (Drainic)
HSfi	Fibric Histosols
HSha	Histosols sem diferenciação
HShm	Hemic Histosols
HSrh	Rheic Histosols
HSsa	Sapric Histosols
HSso	Hemic Histosols (Sodic)
<b>Kastanozems</b>	
KScC	Calcic Kastanozems
KScR	Haplic Kastanozems (Chromic)
KSha	Haplic Kastanozems
KSle	Haplic Kastanozems (Leptic)
KSlv	Luvic Kastanozems
KSpC	Petrocalcic Kastanozems
KSSo	Haplic Kastanozems (Sodic)
<b>Leptosols</b>	
LPca	Eutric Leptosols (Calcaric)
LPdy	Dystric Leptosols
LPeu	Eutric Leptosols
LPfo	Folic Leptosols
LPfa	Leptosols sem diferenciação
LPfk	Hyperskeletal Leptosols
LPfu	Dystric Leptosols (Humic)
LPli	Lithic Leptosols
LPmo	Mollic Leptosols
LPrz	Rendzic Leptosols
LPsk	Eutric Leptosols (Skeletal)
LPum	Umbric Leptosols
<b>Luvissols</b>	
LV	Luvissols sem diferenciação
LVab	Albic Luvissols
LVap	Haplic Luvissols (Abruptic)
LVcc	Calcic Luvissols
LVcr	Chromic Luvissols
LVct	Haplic Luvissols (Cutanic)
LVed	Haplic Luvissols (Epidystric)
LVha	Haplic Luvissols
LVhu	Haplic Luvissols (Humic)
LVle	Leptic Luvissols
LVni	Haplic Luvissols (Nitric)
LVpf	Haplic Luvissols (Profondic)
LVro	Rhodic Luvissols

LVsk	Skeletal Luvissols
LVso	Haplic Luvissols (Sodic)
LVst	Stagnic Luvissols
LVvr	Vertic Luvissols
<b>Lixissols</b>	
LXap	Haplic Lixissols (Abruptic)
LXcr	Chromic Lixissols
LXha	Haplic Lixissols
LXhu	Haplic Lixissols (Humic)
LXni	Haplic Lixissols (Nitric)
LXpf	Haplic Lixissols (Profondic)
LXro	Rhodic Lixissols
<b>Nitissols</b>	
NTdy	Dystric Nitissols
NTeu	Eutric Nitissols
NTfi	Ferralic Nitissols
NTha	Nitissols sem diferenciação
NThu	Humic Nitissols
NTmo	Mollic Nitissols
NTro	Rhodic Nitissols
NTum	Umbric Nitissols
<b>Phaeozems</b>	
PHar	Haplic Phaeozems (Arenic)
PHca	Calcaric Phaeozems
PHgl	Gleyic Phaeozems
PHha	Haplic Phaeozems
PHle	Leptic Phaeozems
PHlv	Luvic Phaeozems
PHpc	Petrocalcic Phaeozems
PHpd	Haplic Phaeozems (Petroduric)
PHph	Haplic Phaeozems (Pachic)
PHrz	Rendzic Phaeozems
PHsk	Skeletal Phaeozems
PHsl	Haplic Phaeozems (Siltic)
PHso	Haplic Phaeozems (Sodic)
PHst	Haplic Phaeozems (Stagnic)
PHvr	Vertic Phaeozems
<b>Planossols</b>	
PLab	Dystric Planossols (Albic)
PLal	Alic Planossols
PLdy	Dystric Planossols
PLeu	Eutric Planossols
PLlv	Luvic Planossols
PLmo	Mollic Planossols
PLsl	Dystric Planossols (Siltic)
<b>Plinthossols</b>	
PTab	Albic Plinthossols
PTdy	Dystric Plinthossols
PThu	Dystric Plinthossols (Humic)

PTnv	Dystric Plinthossols (Novic)
PTpx	Pisoplinthic Plinthossols
PTst	Stagnic Plinthossols
<b>Podzols</b>	
PZab	Albic Podzols
PZcb	Carbic Podzols
PZgl	Gleyic Entic Podzols
PZha	Entic Podzols
<b>Regossols</b>	
RGad	Eutric Regossols (Aridic)
RGar	Dystric Regossols (Arenic)
RGca	Calcaric Regossols
RGdy	Dystric Regossols
RGel	Epileptic Regossols
RGeu	Eutric Regossols
RGge	Dystric Regossols (Gelic)
RGha	Regossols sem diferenciação
RGhu	Dystric Regossols (Humic)
RGle	Leptic Regossols
RGsk	Skeletal Regossols
RGso	Eutric Regossols (Sodic)
<b>Solonchaks</b>	
SCad	Haplic Solonchaks (Aridic)
SCcc	Calcic Solonchaks
SCgl	Gleyic Solonchaks
SCgy	Gypsic Solonchaks
SCha	Haplic Solonchaks
SCso	Sodic Solonchaks
SCvr	Haplic Solonchaks (Vertic)
<b>Solonetz</b>	
SNad	Haplic Solonetz (Aridic)
SNcc	Calcic Solonetz
SNgl	Gleyic Solonetz
SNha	Haplic Solonetz
SNhu	Haplic Solonetz (Humic)
SNmo	Mollic Solonetz
SNpc	Petrocalcic Solonetz
SNst	Stagnic Solonetz
SNvr	Haplic Solonetz (Vertic)
<b>Stagnossols</b>	
STha	Stagnossols sem diferenciação
STpl	Albic Stagnossols (Plinthic)
<b>Technossols</b>	
TCek	Ekranic Technossols
<b>Umbrissols</b>	
UMhd	Haplic Umbrissols (Hyperdystric)
UMhu	Haplic Umbrissols (Humic)
UMle	Leptic Umbrissols
UMne	Haplic Umbrissols (Endoeutric)

<b>Vertissols</b>	
VRca	Haplic Vertissols (Calcaric)
VRcc	Calcic Vertissols
VRcr	Chromic Vertissols
VRee	Haplic Vertissols (Epieutric)
VReu	Haplic Vertissols (Eutric)
VRgl	Haplic Vertissols (Gleyic)
VRgy	Gypsic Vertissols
VRha	Haplic Vertissols
VRhu	Haplic Vertissols (Humic)
VRnl	Haplic Vertissols (Endoleptic)
VRnv	Haplic Vertissols (Novic)
VRpd	Haplic Vertissols (Duric)
VRpe	Pellic Vertissols
VRso	Sodic Vertissols
VRst	Haplic Vertissols (Stagnic)
VRsz	Salic Vertissols

<b>Miscelânea</b>	
	Áreas urbanas
BR	Rochas
CA	Corpos d'água
GC	Geleiras
	Sem dados

(\*Leptic Regossols (Arenic))

### Informação adicional para os elementos WRB

Consultar as páginas 44 e 45 para obter mais informação sobre a nomenclatura e qualificadores do sistema WRB.

#### EUTRIC, DYSTRIC E HAPLIC

- **Eutric (eutrófico):** contém uma saturação de bases de 50% ou mais, entre 20 a 100 cm de profundidade.
- **Dystric (distrófico):** contém uma saturação de bases inferior a 50%, entre 20 e 100 cm de profundidade.
- **Háplico (háplico):** utilizado unicamente se nenhum dos qualificadores anteriores forem aplicados.

#### PREFIXOS

Os seguintes prefixos podem ser utilizados para indicar a profundidade de ocorrência ou para expressar a intensidade de certas características do solo. Sempre são adicionados ao princípio e combinados com outros elementos em uma única palavra (p.ex., Endoskeletal).

**Endo** – característica que se inicia entre os 50 e 100 cm da superfície do solo.

**Epi** – característica que se inicia dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo.

**Hyper** – revela uma forte expressão da característica em questão.

**Hypo** – revela uma fraca expressão da característica em questão.

**Petro** – após uma camada fortemente cimentada ou endurecida que se inicia antes dos 100 cm da superfície. A segunda parte do nome irá descrever a composição dominante da camada cimentada (p.ex., Petrocalcic = camada cimentada com carbonato de cálcio).

**Piso** – mais de 40% do horizonte consiste de nódulos endurecidos e nódulos de plintita.

Devido ao mapeamento dos distintos dados nacionais, a representação das áreas urbanas pode variar de mapa a mapa.

## Para que serve a legenda do mapa?

A legenda descreve os símbolos cartográficos utilizados num mapa e serve para explicar o seu conteúdo. Tipicamente, consiste de um ou uma série de símbolos, com cores ou tons específicos, que se repetem de uma maneira regular.

## Elaboração da legenda

O primeiro pertence à versão 2006 da Base de Referência Mundial para Recursos de Solos [44] (WRB, de sua sigla em inglês), utilizada para definir os Grupos de Solo de Referência (GSR ou RSG, em inglês) e seus qualificadores. No entanto, a sequência dos qualificadores que aparecem neste documento é feita para as unidades de solos individuais (pedons) e não para os mapas. Por essa razão, em 2010 foi publicado um guia para a elaboração de legendas de mapas em pequena escala com a classificação WRB ("Guidelines for constructing small-scale map legends using the WRB"). Segundo as diretrizes desse guia, os qualificadores dividem-se para cada GSR, em principais e opcionais. Os principais categorizam-se por ordem hierárquica (de importância), enquanto os opcionais não seguem qualquer ordem e são listados por ordem alfabética. Devido à pequena escala dos mapas deste Atlas, para a maioria das unidades de solo, existe apenas um qualificador (o primeiro qualificador principal correspondente). Em alguns casos, aparece um segundo qualificador, que provém dos principais (segundo a lista em ordem decrescente) ou então dos opcionais. Este segundo qualificador apresenta-se entre parênteses antes do nome do GSR.

Nesta página são apresentados os GSR categorizados em ordem alfabética. A divisão dentro de cada GSR também segue esta ordem (ou seja, os qualificadores principais encontram-se por ordem alfabética). Na página 110 pode-se encontrar uma breve explicação sobre as principais características do solo.

O tipo de solo mais representativo em cada polígono ou unidade cartográfica, está representado neste atlas com uma cor que corresponde a um GSR específico da classificação WRB e um código de quatro caracteres que indica as suas características dominantes (ver página 46 para obter uma descrição detalhada de cada GSR). Por exemplo, o quadro azul contendo o código GLmo representa Mollic Gleysols no mapa (solos com lençol freático próximo da superfície e um horizonte superficial escuro, rico em nutrientes e matéria orgânica). Juntamente com o tipo de solo dominante, no mesmo polígono podem existir outros (que ocupam menores áreas), embora não se encontrem representados no mapa.

## Os mapas de solos

A seguinte seção do Atlas contém uma série de mapas que mostram a distribuição regional dos Grupos de Solo de Referência da WRB na ALC.

Como ilustrado no diagrama abaixo, um mapa de solos indica as áreas onde as propriedades do solo, de acordo com o sistema de classificação utilizado, são similares. Neste exemplo, os tons azuis do mapa correspondem ao perfil do solo da foto, enquanto que as áreas em rosa e marrom correspondem a outros tipos de solos.

Um mapa de solos é uma expressão bidimensional de um objeto tridimensional, portanto, o solo representa a mudança espacial ou geográfica nas propriedades do solo.



## Generalização do mapa de solos: o caso de México

Na elaboração do mapa de solos, é muito comum o processo de generalização, que consiste em reduzir a escala de um mapa e adaptar todos os seus elementos à nova escala e/ou objetivos do novo mapa que se quer realizar. O objetivo principal deste processo é produzir um mapa impresso de fácil interpretação, a partir de uma informação base considerada demasiado densa para a escala de representação ou a finalidade do mapa.

A generalização pode ser **geométrica** (quando o número de polígonos é reduzido) ou **temática** (quando o número de classes é reduzido). Na maioria dos casos, faz-se uma combinação das duas.

No caso dos mapas de solos apresentados no Atlas, foi necessário generalizar os mapas de alguns países (originalmente mapeados em escalas grandes), a fim de incluí-los no mapa geral em escala 1:5.000.000. As seguintes figuras a ilustram o processo de generalização feito para o México, a fim de integrar o mapa nacional (escala 1:250.000) no mapa do SOTERLAC.



Acima: detalhe do processo de generalização. (JRC)



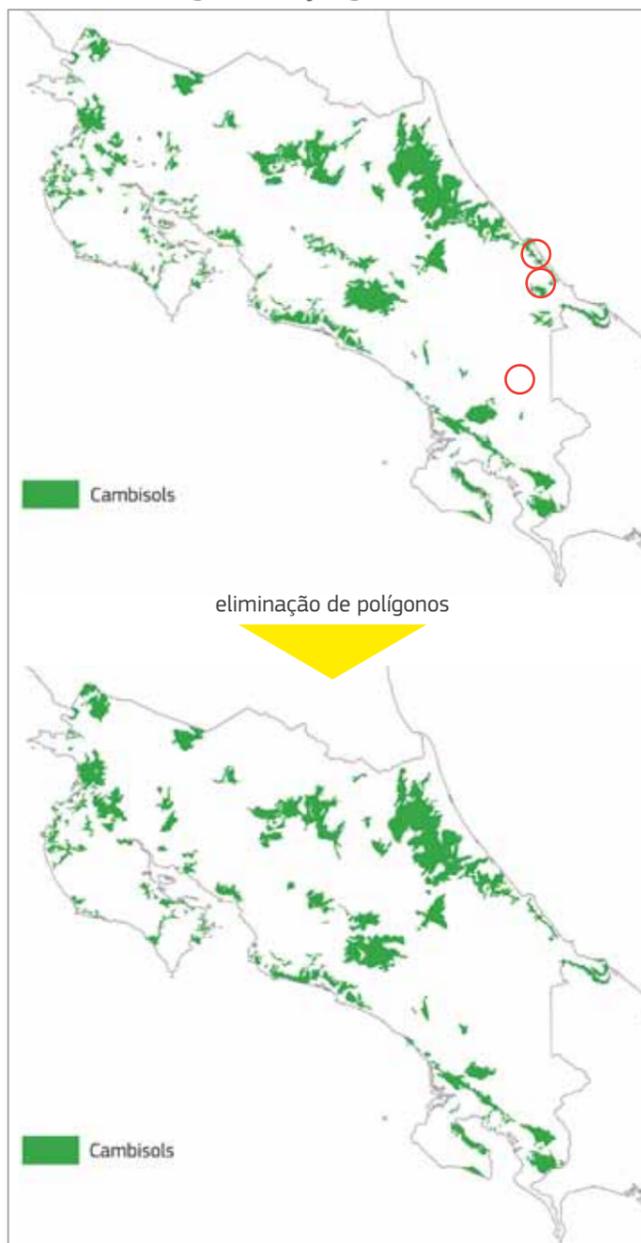
Acima: aspecto dos polígonos originais em escala 1:250.000 em ambiente SOTERLAC. (JRC)

Abaixo: aspecto dos vetores generalizados em escala 1: 3.000.000 (mais próxima a 1:5.000.000) para futura integração no mapa de SOTERLAC. (JRC)



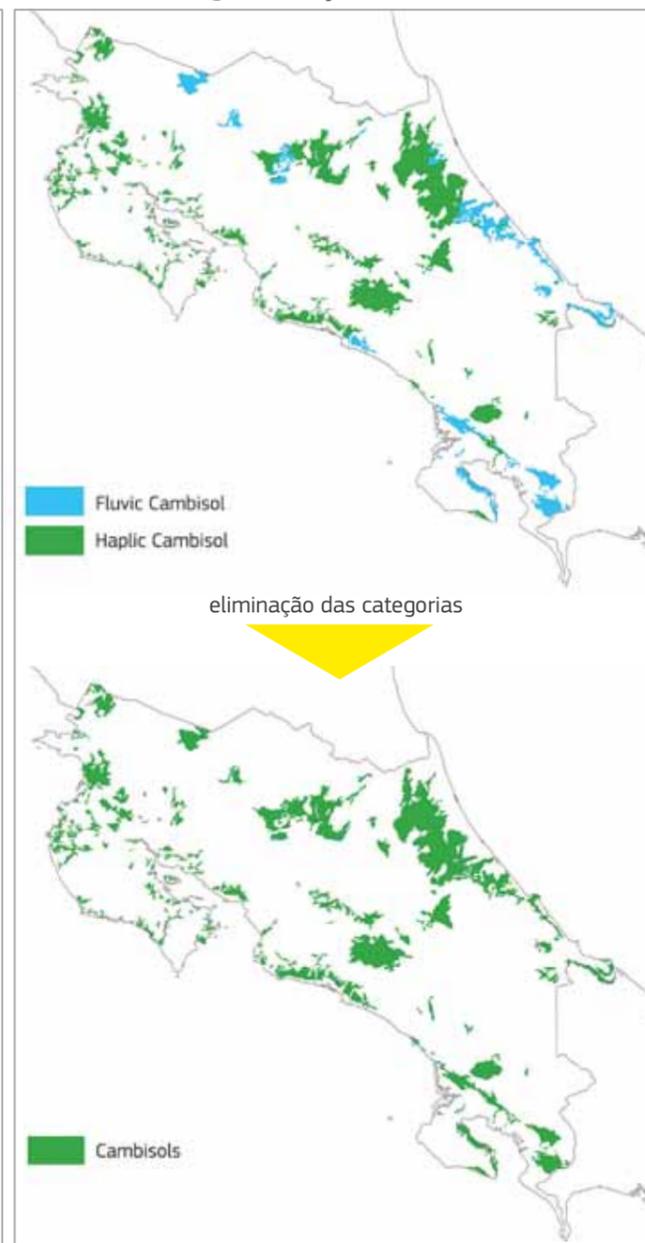
mapas originais

### generalização geométrica



eliminação de polígonos

### generalização temática



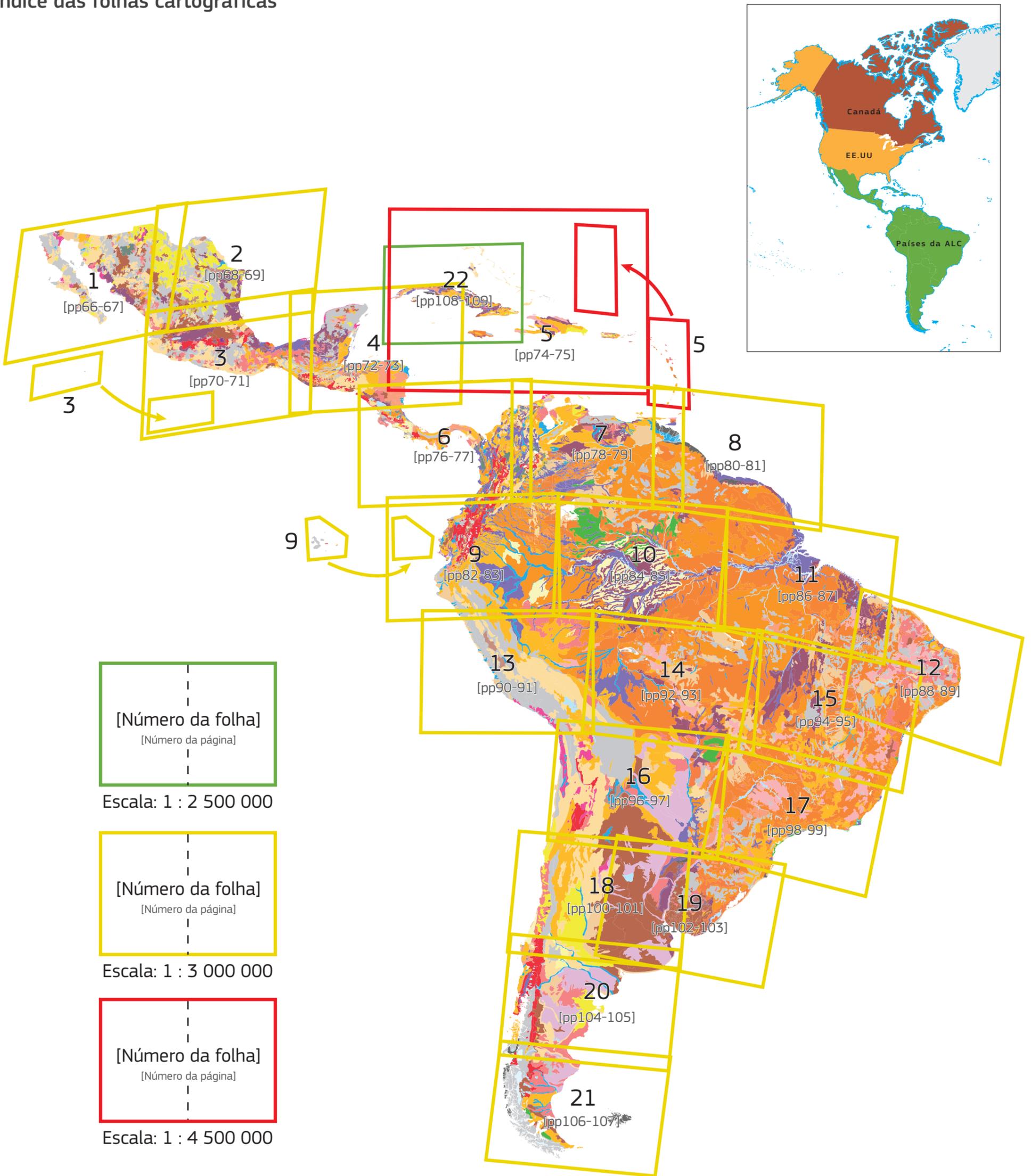
eliminação das categorias

### Processo de Generalização.

À esquerda, de cima para abaixo, processo de generalização geométrica. Pode-se observar como alguns polígonos pequenos foram eliminados ao serem generalizados. (JRC)

À direita, de cima para abaixo, processo de generalização temática. De duas classes, passa-se a uma, ao considerar-se todo o conjunto de Cambisols. (JRC)

# Índice das folhas cartográficas



## Principais tipos de solos da América Latina e Caribe

Os mapas a seguir correspondem à atualização da versão 2.0 de SOTERLAC. Foram realizados por alguns países da ALC (México, Cuba, Porto Rico, Costa Rica, Panamá, Colômbia, Venezuela, Equador, Peru, Brasil e Uruguai) e foram integrados em âmbito nacional, para os objetivos deste trabalho.

O mapa abaixo ilustra a distribuição geográfica dos solos na região América Latina e Caribe. A parte central do continente corresponde ao trópico úmido, onde dominam os Ferralsols (marrom alaranjado) e os Acrisols (laranja). Estes solos também são os mais representativos de todo o continente. Nesta região, estes dois tipos de solos são dominantes e estão associados aos Plinthosols (marrom escuro), Gleysols, Alisols e Podzols.

Nas regiões desérticas do México, Venezuela, Peru e Chile predominam os Calcisols (amarelo forte), Leptosols (solos rasos, cinzentos), Regosols (rosa pálido), Arenosols (marrom amarelado), Gypsisols (amarelo pálido) e Solonchacks (fúcsia). A Cor púrpura designa a localização dos Vertisols, que estão localizados predominantemente na América Central (principalmente no México), na zona do Caribe, Venezuela e Colômbia. Por outro lado, a cor vermelha indica a distribuição das áreas em que predominam os Andosols, geralmente relacionados com os vulcões da América Central e da cadeia Andina.

Na região de solos de campos temperados e subtropicais existem os grupos Phaeozems, Kastanozems e Chernozems. Estes solos são muito férteis e sobre eles se desenvolvem as atividades agrícolas orientadas para a produção de cereais, soja e carne (gado).

Quanto aos Nitisols (cor salmão), estão localizados em sua maioria na América Central e no Caribe (Cuba, principalmente). Por outro lado, os Solonetz estendem-se principalmente por Argentina, Paraguai e Bolívia. Por último, nas áreas urbanas e próximas das maiores áreas de exploração mineral, encontram-se solos altamente alterados pela atividade humana, denominados Technosols.

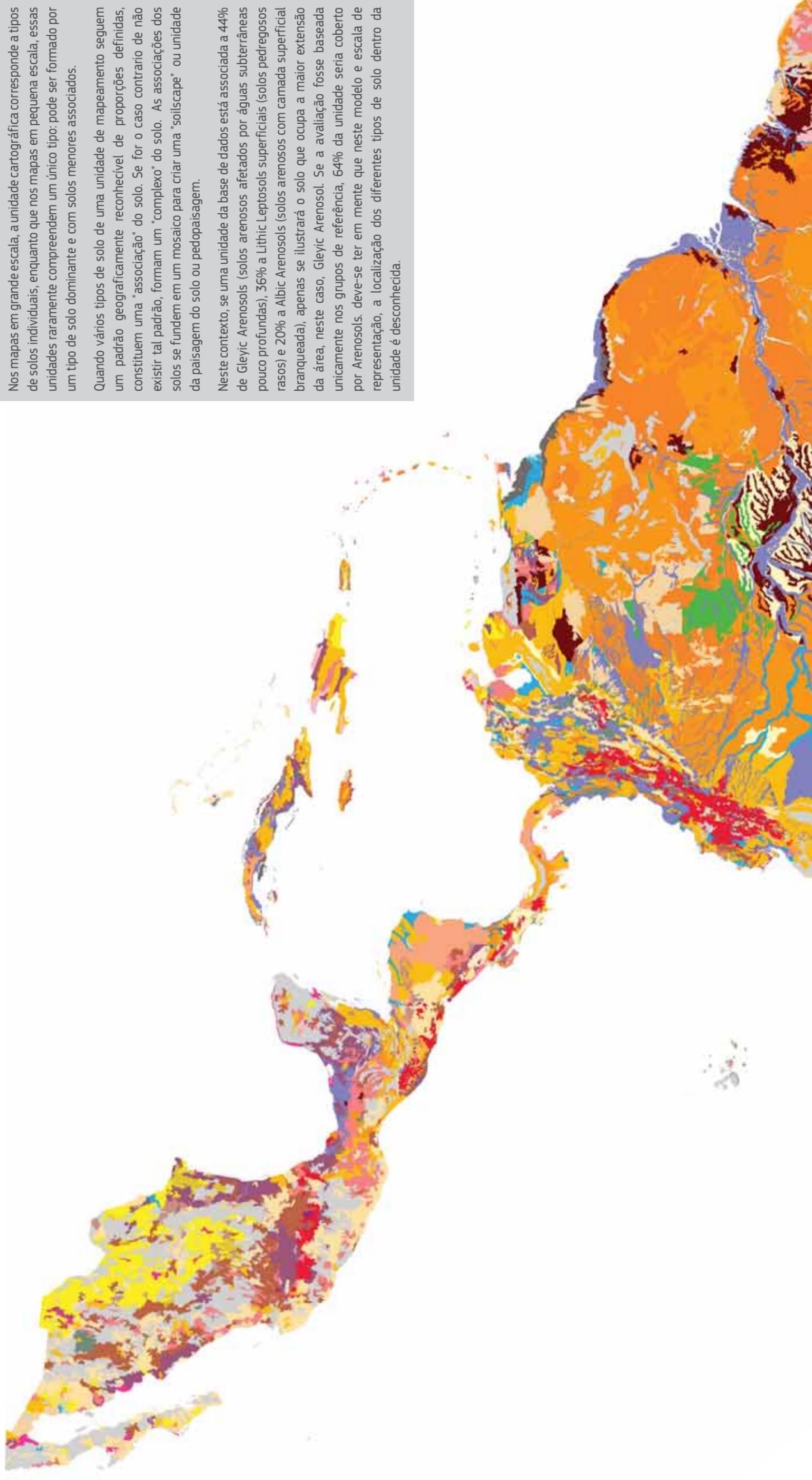
## Unidades Cartográficas de Solos

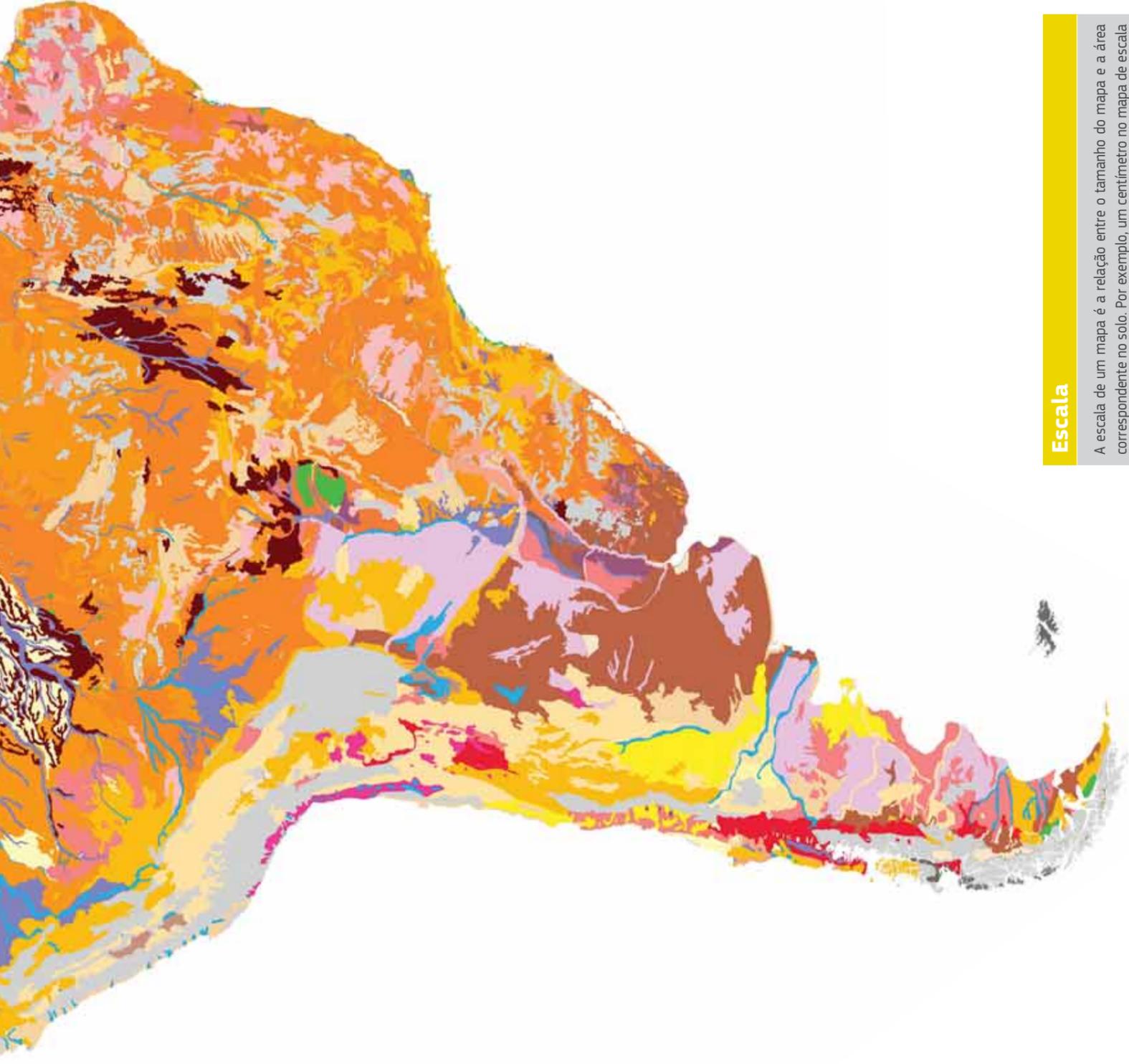
A unidade de mapeamento é o componente geográfico básico num mapa de solos. Um tipo de solo é um solo específico com características definidas.

Nos mapas em grande escala, a unidade cartográfica corresponde a tipos de solos individuais, enquanto que nos mapas em pequena escala, essas unidades raramente compreendem um único tipo: pode ser formado por um tipo de solo dominante e com solos menores associados.

Quando vários tipos de solo de uma unidade de mapeamento seguem um padrão geograficamente reconhecível de proporções definidas, constituem uma "associação" do solo. Se for o caso contrário de não existir tal padrão, formam um "complexo" do solo. As associações dos solos se fundem em um mosaico para criar uma "soilscape" ou unidade da paisagem do solo ou pedopaisagem.

Neste contexto, se uma unidade da base de dados está associada a 44% de Gleyic Arenosols (solos arenosos afetados por águas subterrâneas pouco profundas), 36% a Lithic Leptosols superficiais (solos pedregosos rasos) e 20% a Albic Arenosols (solos arenosos com camada superficial branqueada), apenas se ilustrará o solo que ocupa a maior extensão da área, neste caso, Gleyic Arenosol. Se a avaliação fosse baseada unicamente nos grupos de referência, 64% da unidade seria coberto por Arenosols. Deve-se ter em mente que neste modelo e escala de representação, a localização dos diferentes tipos de solo dentro da unidade é desconhecida.





Acrisols	Kastanozems
Alisols	Leptosols
Andosols	Lixisols
Arenosols	Luvisols
Calcisols	Nitisols
Cambisols	Phaeozems
Chernozems	Planosols
Cryosols	Plinthosols
Durisols	Podzols
Ferralsols	Regosols
Fluvisols	Solonchaks
Gleysols	Solonetz
Gypsisols	Stagnosols
Histosols	Technosols
	Umbrisols
	Vertisols
	Corpos d'água

### Escala

A escala de um mapa é a relação entre o tamanho do mapa e a área correspondente no solo. Por exemplo, um centímetro no mapa de escala 1:100.000 equivale a 100.000 cm (1km) na realidade.

Os mapas com precisão suficiente para ilustrar a localização de lotes individuais de uns poucos hectares, são de escala 1:5.000 (1cm : 50m) a 1:25.000 (1cm : 250m) e são considerados como mapas de grande escala ou detalhados. Em âmbito regional ou nacional, os mapas mais adequados são elaborados em escalas intermediárias, geralmente 1:100.000 (1 cm: 1 km) ou 1:500.000 (1 cm: 5 km).

A maioria dos mapas exibidos neste Atlas foram elaborados com o objetivo de ilustrar uma perspectiva regional e se baseiam em mapas compilados em escalas menores que 1:1.000.000 (1cm : 10 km), que são considerados como de pequena escala.

## O território da ALC: visão política e geológica



Politicamente, a ALC é constituída de 33 estados reconhecidos pelas Nações Unidas e por alguns territórios pertencentes a outros países (por exemplo, Guiana Francesa (França), Ilhas Cayman (Reino Unido)). Destes 33 países, 20 estão situados no continente, enquanto 13 representam nações insulares. A área total dos 33 países é de 20.454.918 km<sup>2</sup>, com uma população de 583.717.872 de habitantes (sem contar com a Guiana Francesa, com 60.000 habitantes em 93.200 km<sup>2</sup> e outros pequenos territórios do Caribe).

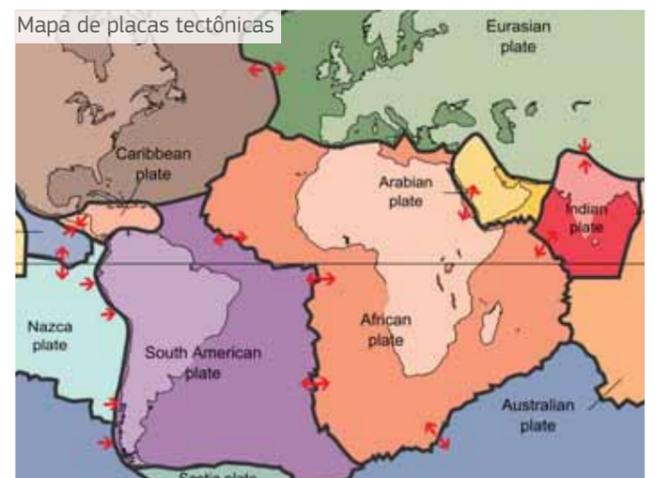
O Brasil é o maior país (8.514.877 km<sup>2</sup>) e o mais populoso (190.732.694 habitantes), enquanto a Federação de São Cristóvão e Neves é o menor país (261 km<sup>2</sup>) e menos povoado, com apenas 38.950 habitantes nas suas duas ilhas.

A população da maioria dos países da ALC incrementa entre 1 e 3 % ao ano. A Guatemala é um dos países que mostra um maior crescimento (cerca de 3 %). No entanto, existem países cuja população diminui, como Cuba ou Porto Rico.

Do ponto de vista geológico, a ALC encontra-se sobre a placa tectônica da América do Norte (México), a placa do Caribe (região do Caribe e partes da América Central) e a placa Sul-americana (subcontinente da América do Sul).

Estas placas são significativamente maiores do que a massa de terra continental visível (ver imagem à direita). As setas vermelhas no mapa indicam a direção atual do movimento tectônico. A colisão da placa de Nazca com a placa Sul-americana é responsável pela formação da Cordilheira dos Andes e dos vulcões da América do Sul.

Com o propósito de divulgação, as informações sobre o solo nesta publicação abrangem toda a massa terrestre continental do México, América Central, região do Caribe e América do Sul, bem como todas as ilhas pertencentes aos países da ALC. Por essa razão, também estão incluídas algumas ilhas pertencentes a outros países (por exemplo, em Porto Rico, "território não incorporado" dos EUA), localizados nas placas mencionadas anteriormente.



## ALC vista do espaço



Esta imagem impressionante corresponde à vista espacial da América Latina e Caribe. Esta perspectiva sobre o continente foi obtida graças a dezenas de imagens menores, livres de nebulosidade, obtidas pelo sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) da NASA entre junho e setembro de 2001. O sensor MODIS viaja a bordo de um satélite que orbita a Terra a cada 1-2 dias, a uma altitude de 705 km e é um exemplo dos dados obtidos por sensoriamento remoto. As imagens são processadas para a produção do mosaico final que se ilustra como uma imagem. Neste caso, as cores da imagem correspondem quase inteiramente à realidade, sendo semelhante ao que seria observado desde o espaço.

As tonalidades verdes correspondem às áreas de vegetação: as florestas tropicais da Bacia Amazônica são fáceis de identificar, em verde escuro. Inclusive, observa-se o efeito do desmatamento tanto nas áreas limitrofes como no interior da bacia amazônica.

O cultivo intensivo, concentrado no Pampa e em algumas regiões do sudeste e nordeste do Brasil, também se destaca na imagem de satélite, com uma cor que varia do verde a marrom claro.

As áreas áridas e os picos dos Andes são desprovidos de vegetação ou possuem vegetação escassa, mostradas em cores variando do branco ao marrom claro.

Pode-se também observar os rios Amazonas e da Prata, juntamente com seus afluentes; com maior destaque para suas desembocaduras.

As tonalidades mais claras de azul nas Bahamas indicam águas muito pouco profundas.

A porção de terra mais ou menos triangular que surge na parte inferior do mapa é a Península Antártica, a parte mais setentrional da Antártida. A Terra do Fogo, no extremo meridional da América do Sul, é localizada a apenas cerca de 1.000 km, separada pelo Estreito de Drake. (NASA/JRC)



- Fronteira internacional — — — — —
- Fronteira disputada - - - - -
- Capital nacional □ CARACAS
- Localidade (por número de habitantes)
- 200.000+ ○ MARACAIBO
- 100.000 – 200.000 ○ Mérida
- 25.000 – 100.000 ○ Valera
- 1 – 25.000 ○ Boconó

**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal

Este mapa ilustra os solos do noroeste do México, a região mais setentrional do Atlas, limitando-se com os Estados Unidos e o Oceano Pacífico. A maior parte do território ilustrado neste mapa está situado ao norte do Trópico de Câncer.

A paisagem desta região é composta pela península árida e montanhosa da *Baja Califórnia* (mais de 1.300 km de comprimento e, no máximo, 150 km de largura), as terras baixas da costa do Pacífico ao longo do Golfo da Califórnia e ao leste da cadeia Sierra Madre Occidental, marcam a margem ocidental do vasto planalto norte, uma extensão de terreno árido, atravessada por montanhas e com algumas depressões. Uma parte da área do mapa é ocupado pelo *Gran Desierto de Altar*, o qual forma parte do deserto de Sonora. É uma área tectonicamente ativa. A falha de *San Andrés* atravessa o Golfo da Califórnia.

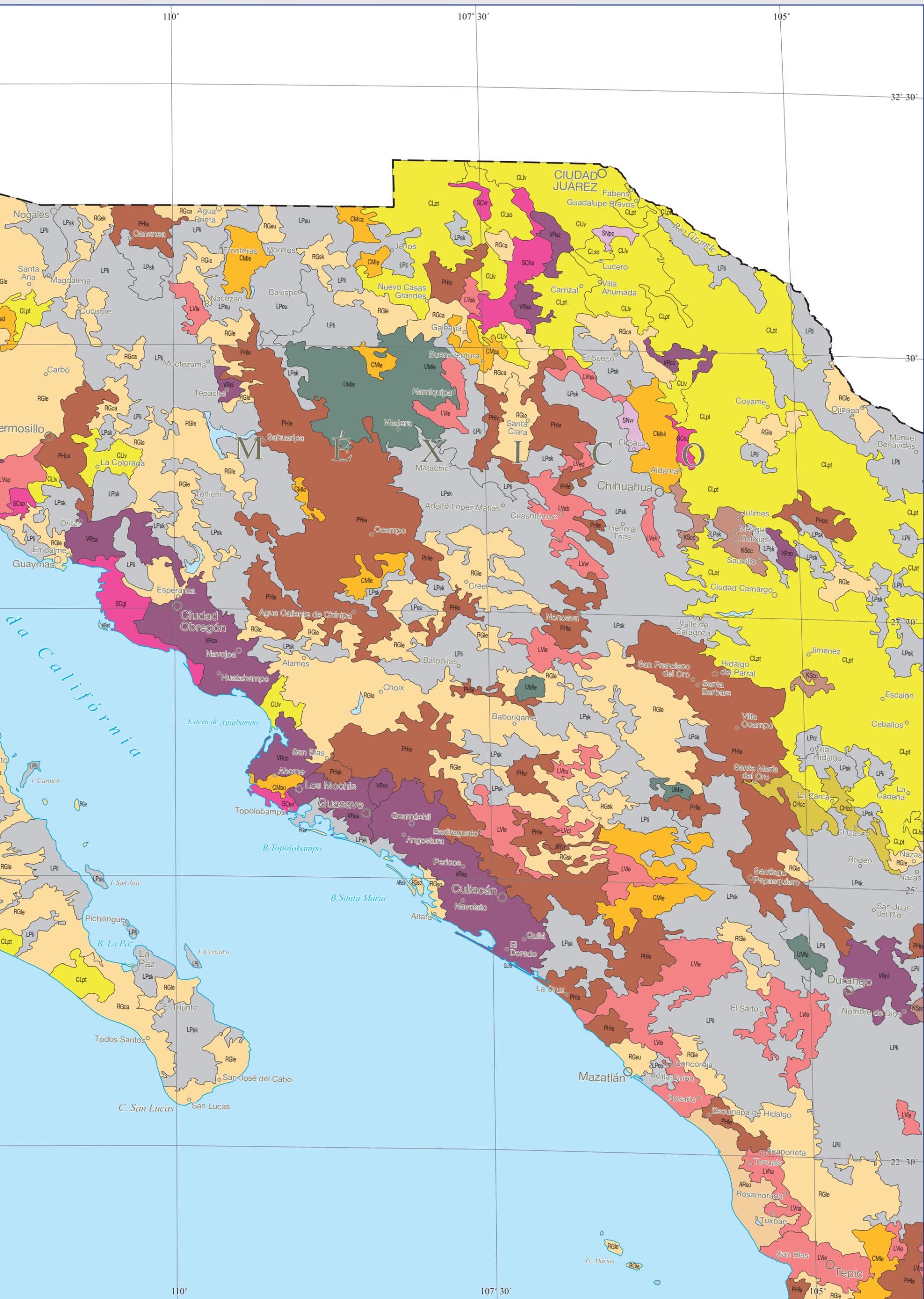
O clima da região é quente e árido. As temperaturas ultrapassam os 45°C em meados do verão, o que é comum em áreas desérticas, tanto na área central como na Baja Califórnia. Fora das áreas de alta montanha, as temperaturas raramente caem abaixo dos 0°C. Com exceção da *Sierra Madre Occidental*, as precipitações anuais ficam abaixo dos 500 mm, enquanto em quase toda *Baja*

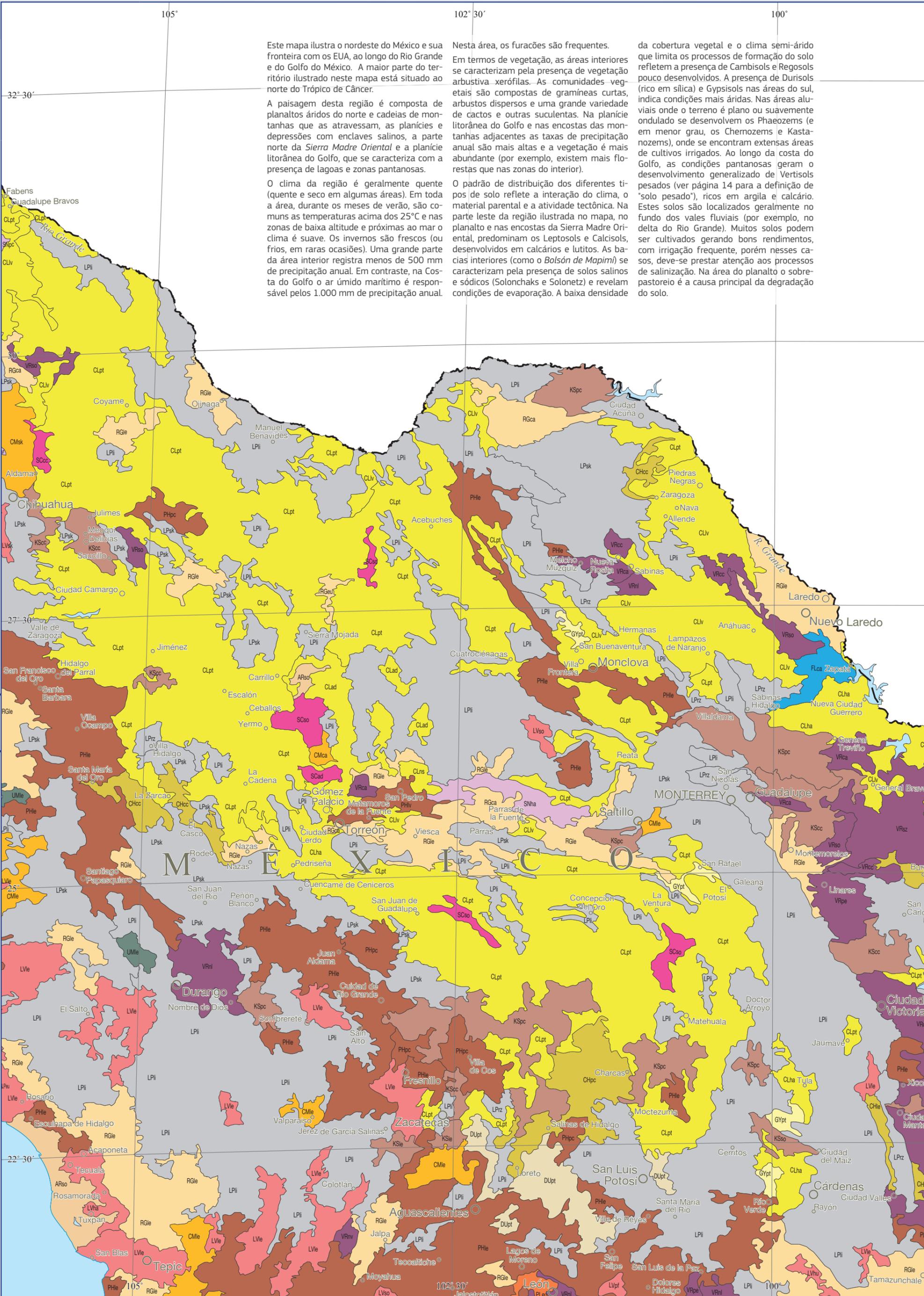
*Califórnia*, a maior parte de Sonora e grande parte de Chihuahua recebem menos de 250 mm.

A escassa vegetação é a principal característica na maior parte da paisagem. As comunidades de plantas são compostas de gramíneas curtas, arbustos dispersos e uma variedade de cactos e outras plantas suculentas, localizadas nas altitudes mais elevadas. Nas zonas de altitude mais elevadas da Serra Madre Occidental encontram-se as extensas florestas de coníferas.

O padrão do solo no mapa reflete a interação do clima, litologia e atividade tectônica. Os Leptosols pouco profundos predominam nas encostas das áreas montanhosas. Ao Nordeste, surgem vastas áreas de Calcisols que evoluíram a partir de rochas sedimentares, como rochas calcárias, lutitos e conglomerados. Estes solos muitas vezes apresentam horizontes cimentados. A presença de solos salinos e sódicos (Solonchaks e Solonetz) indicam as condições de evaporação que frequentemente ocorrem nas depressões do terreno. A ampla extensão de Arenosols observado no extremo norte do Golfo da Califórnia é o deserto de areia ativo (denominado *erg*) da América do Norte apresentando dunas gigantes em forma de estrela ou piramidais, por vezes com mais de 100 m de

altura. A combinação de Leptosols, Cambisols e Regosols, pouco desenvolvidos, reflete a atividade tectônica contínua na área, o que se traduz nas altas taxas de erosão e na presença de sedimentos recentemente depositados. Nas áreas aluviais onde o terreno é geralmente plano ou suavemente ondulado, surgem os Phaeozems, ricos em matéria orgânica, e em menor medida, os Chernozems e Kastanozems; nas planícies costeiras encontram-se os Vertisols, ricos em argila. A presença destes solos reflete a deposição de sedimentos ricos em bases pelo efeito da água. Os Vertisols suportam áreas extensas de culturas de irrigação nas planícies costeiras. Nas regiões florestais surgem vastas extensões de Umbrisols e Luvisols; este último revela a presença de material de origem de rochas ígneas extrusivas (por exemplo, basalto). A ausência de Fluvisols resulta das condições áridas da região. Existem solos potencialmente adequados para o cultivo, se forem submetidos a sistemas de irrigação, embora, nestes casos, deva-se prestar atenção aos potenciais problemas de salinização que possa ocorrer no solo. A erosão e desertificação são as principais causas naturais de degradação na região.





Este mapa ilustra o nordeste do México e sua fronteira com os EUA, ao longo do Rio Grande e do Golfo do México. A maior parte do território ilustrado neste mapa está situado ao norte do Trópico de Câncer.

A paisagem desta região é composta de planaltos áridos do norte e cadeias de montanhas que as atravessam, as planícies e depressões com enclaves salinos, a parte norte da *Sierra Madre Oriental* e a planície litorânea do Golfo, que se caracteriza com a presença de lagoas e zonas pantanosas.

O clima da região é geralmente quente (quente e seco em algumas áreas). Em toda a área, durante os meses de verão, são comuns as temperaturas acima dos 25°C e nas zonas de baixa altitude e próximas ao mar o clima é suave. Os invernos são frescos (ou frios, em raras ocasiões). Uma grande parte da área interior registra menos de 500 mm de precipitação anual. Em contraste, na Costa do Golfo o ar úmido marítimo é responsável pelos 1.000 mm de precipitação anual.

Nesta área, os furacões são frequentes.

Em termos de vegetação, as áreas interiores se caracterizam pela presença de vegetação arbustiva xerófila. As comunidades vegetais são compostas de gramíneas curtas, arbustos dispersos e uma grande variedade de cactos e outras suculentas. Na planície litorânea do Golfo e nas encostas das montanhas adjacentes as taxas de precipitação anual são mais altas e a vegetação é mais abundante (por exemplo, existem mais florestas que nas zonas do interior).

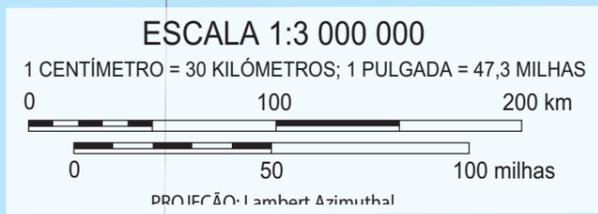
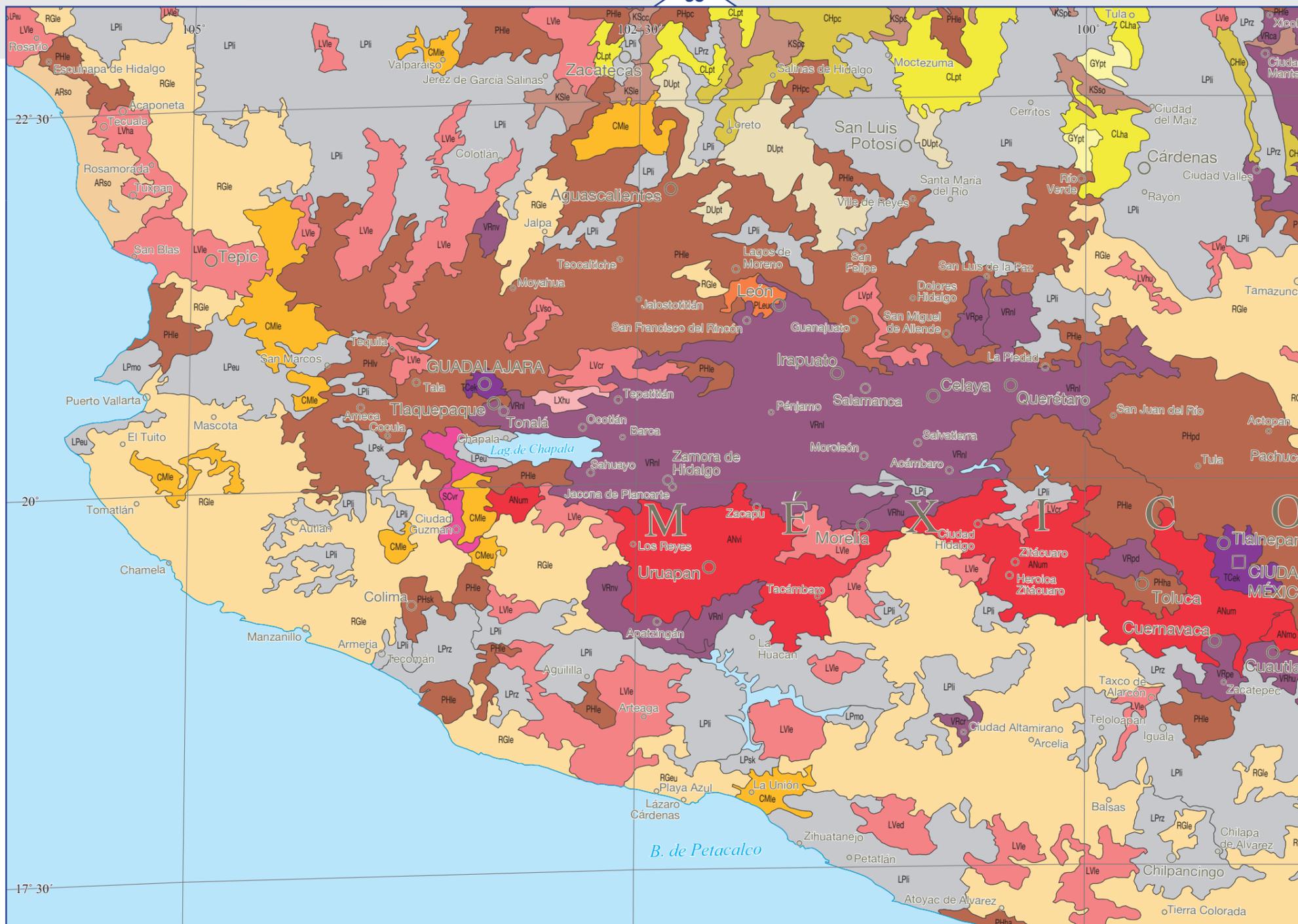
O padrão de distribuição dos diferentes tipos de solo reflete a interação do clima, o material parental e a atividade tectônica. Na parte leste da região ilustrada no mapa, no planalto e nas encostas da Sierra Madre Oriental, predominam os Leptosols e Calcisols, desenvolvidos em calcários e lutitos. As bacias interiores (como o *Bolsón de Mapimi*) se caracterizam pela presença de solos salinos e sódicos (Solonchaks e Solonetz) e revelam condições de evaporação. A baixa densidade

da cobertura vegetal e o clima semi-árido que limita os processos de formação do solo refletem a presença de Cambisols e Regosols pouco desenvolvidos. A presença de Durisols (rico em sílica) e Gypsisols nas áreas do sul, indica condições mais áridas. Nas áreas aluviais onde o terreno é plano ou suavemente ondulado se desenvolvem os Phaeozems (e em menor grau, os Chernozems e Kastanozems), onde se encontram extensas áreas de cultivos irrigados. Ao longo da costa do Golfo, as condições pantanosas geram o desenvolvimento generalizado de Vertisols pesados (ver página 14 para a definição de "solo pesado"), ricos em argila e calcário. Estes solos são localizados geralmente no fundo dos vales fluviais (por exemplo, no delta do Rio Grande). Muitos solos podem ser cultivados gerando bons rendimentos, com irrigação frequente, porém nesses casos, deve-se prestar atenção aos processos de salinização. Na área do planalto o sobrepastoreio é a causa principal da degradação do solo.

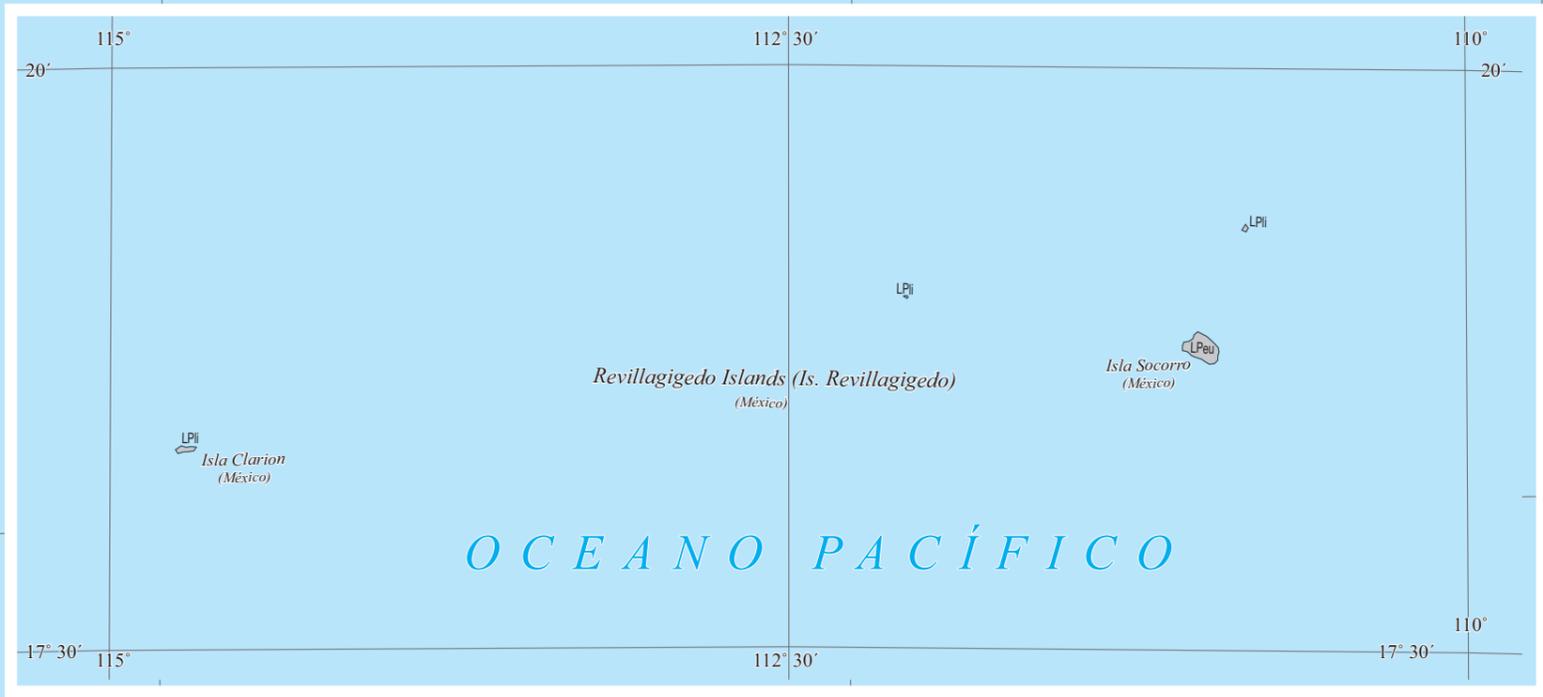
67

70

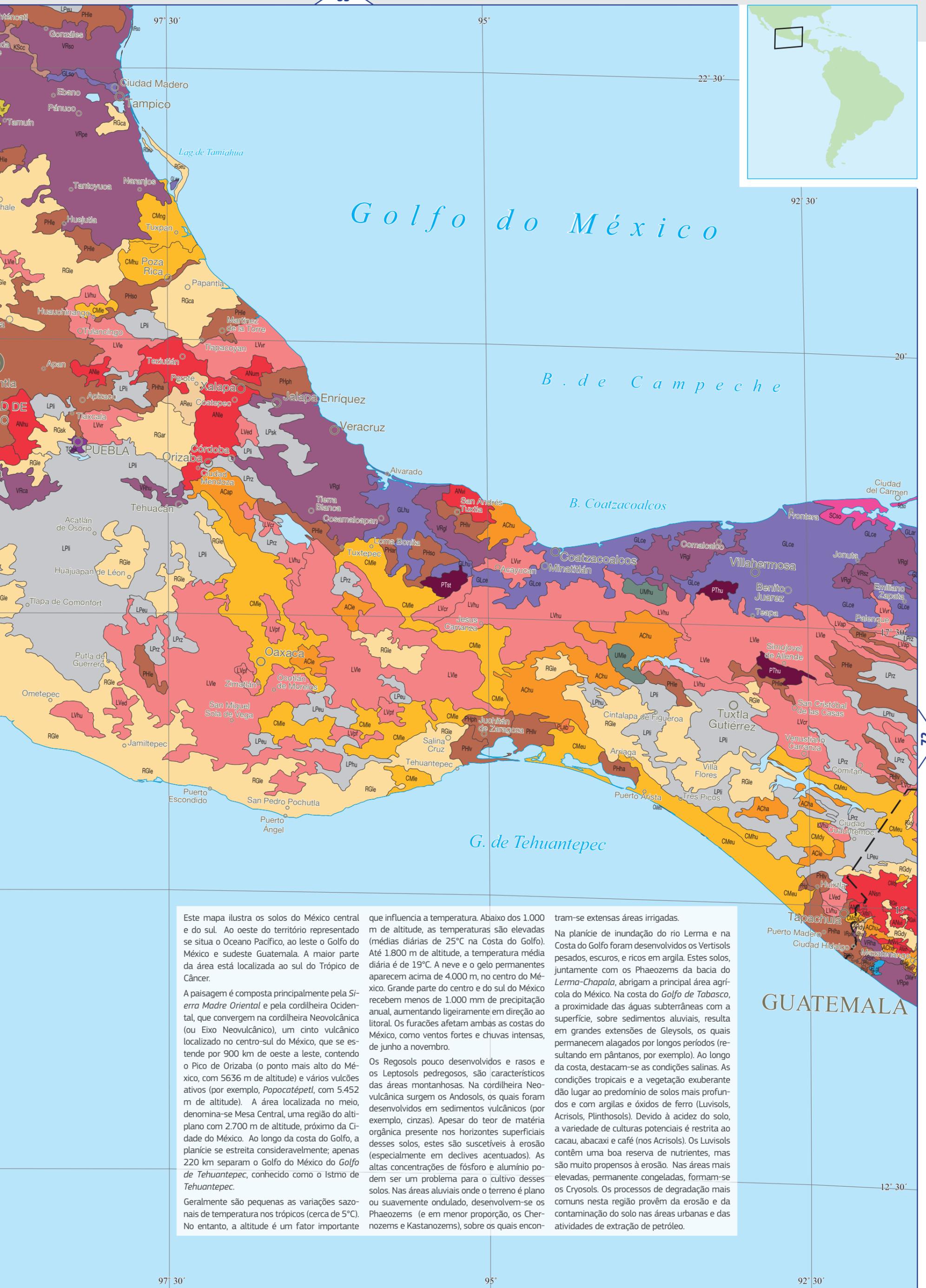


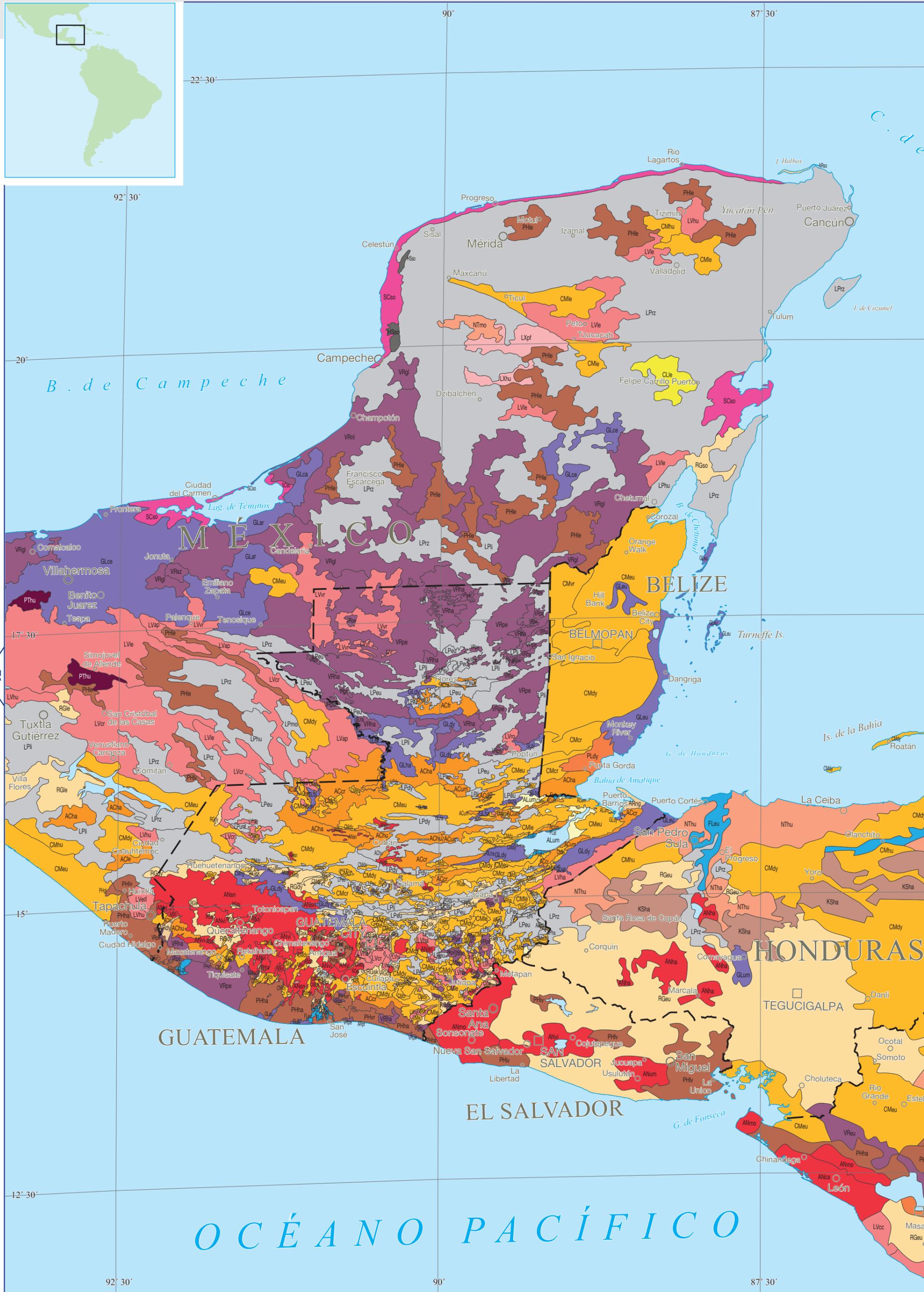


OCEANO PACÍFICO



OCEANO PACÍFICO







CUBA

Mar do Caribe

Grandes Antilhas

Este mapa ilustra os solos do sul do México, Belize, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Cuba (ver Folha 22). As fronteiras territoriais limitam-se no oeste com o Oceano Pacífico e no leste com o Mar do Caribe. O elemento mais destacado do mapa é a península de Yucatán, que separa o Golfo do México do Mar do Caribe.

Nesta região a paisagem é muito contrastante. A maior parte do terreno oriental é plano ou levemente ondulado. As áreas baixas e pantanosas são abundantes. Por outro lado, em direção a costa do Pacífico, o relevo é composto por altas montanhas. Existem vários cones vulcânicos no sul da Guatemala (mais de 4.000 m de altitude). A maioria dos países conta com vulcões ativos. Entre as cadeias de montanhas centrais e o Oceano Pacífico, situa-se uma planície costeira estreita e fértil. O *Gran Lago de Nicarágua* (lago Cocibolca) é um lago de água doce localizado na Nicarágua e é o maior da América Central.

Em geral, o clima da região varia de subtropical a tropical, de forte a moderadamente úmido, com chuvas abundantes (com sazonalidade acentuada) e altas temperaturas (com algumas variações sazonais). As altitudes mais baixas e a proximidade da costa modificam estas condições. Por exemplo, o clima do norte de *Yucatán* é quente (a temperatura diária situa-se entre os 24 e 38°C) e seco (<500 mm de precipitação anual), enquanto ao sul, a precipitação ultrapassa os 2.000 mm e as temperaturas são moderadas, devido aos ventos marítimos. Em Belize e Guatemala, as temperaturas médias mensais, em altitudes abaixo dos 1.000 m, são geralmente entre 21 e 27 °C. No entanto, diminuem significativamente com o aumento de altitude (temperaturas médias anuais de cerca de 14°C a 2.000 m de altitude). Ao sul (El Salvador, Honduras e Nicarágua), as temperaturas correspondentes às essas mesmas altitudes, são mais elevadas, devido à proximidade com o Equador. Ao longo da costa do Caribe, os níveis de precipitação anual são altos e constantes (2000-4000 mm), especialmente nas encostas orientadas para o norte e o leste. Muitas regiões experimentam uma estação seca marcada no inverno, mas a precipitação anual geralmente excede os 1.000 mm na totalidade da área do mapa (com um aumento geral nas zonas elevadas). As montanhas de

Guatemala, muitas vezes registram mais de 4.500 mm de precipitação anual. A precipitação anual nas planícies do Pacífico são de 1.700 mm. De junho a novembro, os furacões podem trazer fortes ventos e chuvas.

Estas chuvas intensas na região tornam possível a existência de extensas e densas florestas perenes. Ao subir de altitude, aparecem as florestas mistas. Por outro lado, nas baixas altitudes, as árvores dão lugar a campos e vegetação arbustiva mesófila, que se estendem pelas bacias interiores e pelos vales. Nas planícies costeiras do Pacífico e nas encostas das montanhas adjacentes, geralmente encontram-se florestas tropicais decíduas e savanas. A vegetação das zonas pantanosas perto da costa é formada por florestas de mangue e palmeiras.

A península de *Yucatán* é quase inteiramente composta de recifes e rochas calcárias porosas, que dão lugar a extensas áreas de *Leprosols* pouco profundos, pedregosos e secos. Ao sul, nas planícies de inundação dos vales amplos e pouco profundos se desenvolvem os *Vertisols*. Ao longo da costa do Caribe, os antigos sedimentos marinhos e a proximidade das águas subterrâneas em relação à superfície, em áreas de sedimentos aluviais mal drenados, resultam na formação de *Solonchaks* (solos salinos) e *Gleysols* (solos mal drenados). Nas áreas baixas de Honduras e Nicarágua, predominam os *Nitisols*, que se caracterizam pela alta concentração de óxidos de ferro. Nas terras altas se desenvolvem os férteis *Andosols* oriundos de material vulcânico (por exemplo, lavas e cinzas), juntamente com os *Cambisols* e os *Regosols*, que são solos relativamente jovens, pouco desenvolvidos. Os sedimentos ricos em nutrientes sob pastagens permanentes nos vales dos rios, dão lugar a férteis *Phaeozems* e *Kastanozems* ou *Fluvisols*, caso estejam situados sobre material fluvial estratificado. Finalmente, aparecem os *Luvissols*, que são solos profundos e ricos em argila, em áreas onde as chuvas são mais constantes.

A fronteira nítida entre Belize e Guatemala/México reflete diferenças nas escalas dos mapas disponíveis entre os países. Para evitar essas diferenças abruptas entre os tipos de solos, especialmente nas fronteiras, há necessidade de melhorar e harmonizar as escalas de mapeamento entre os países.

**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

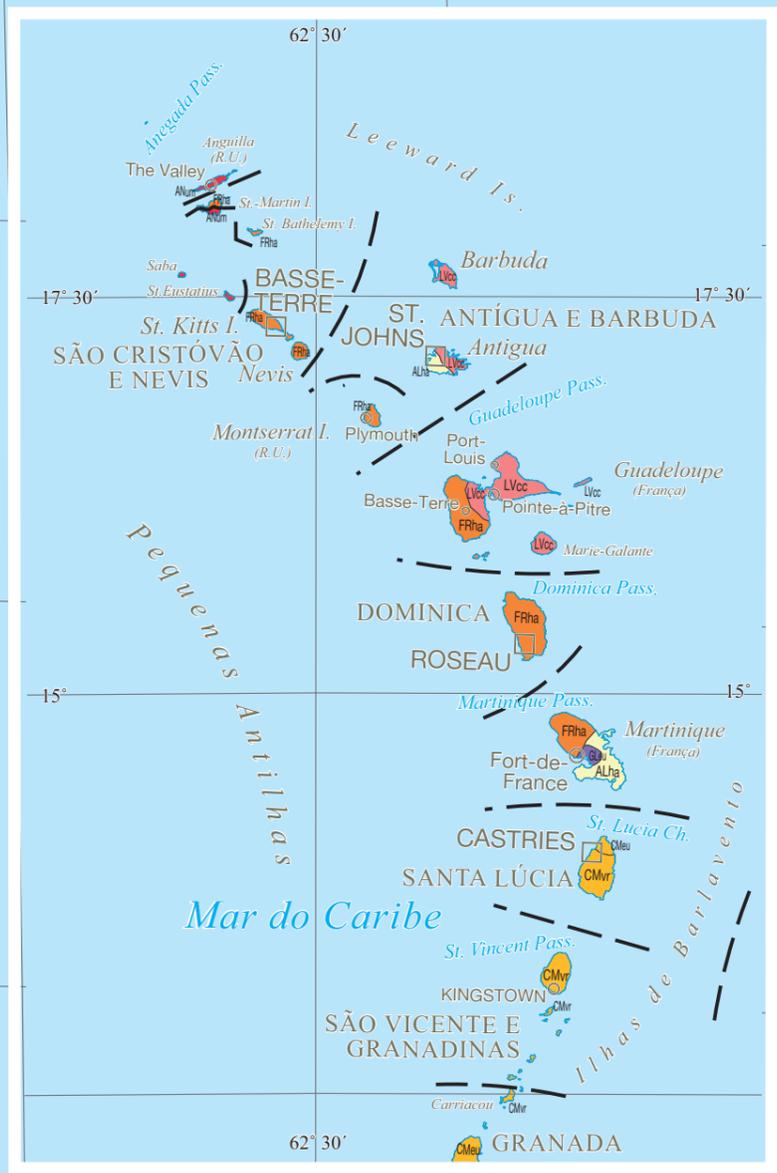
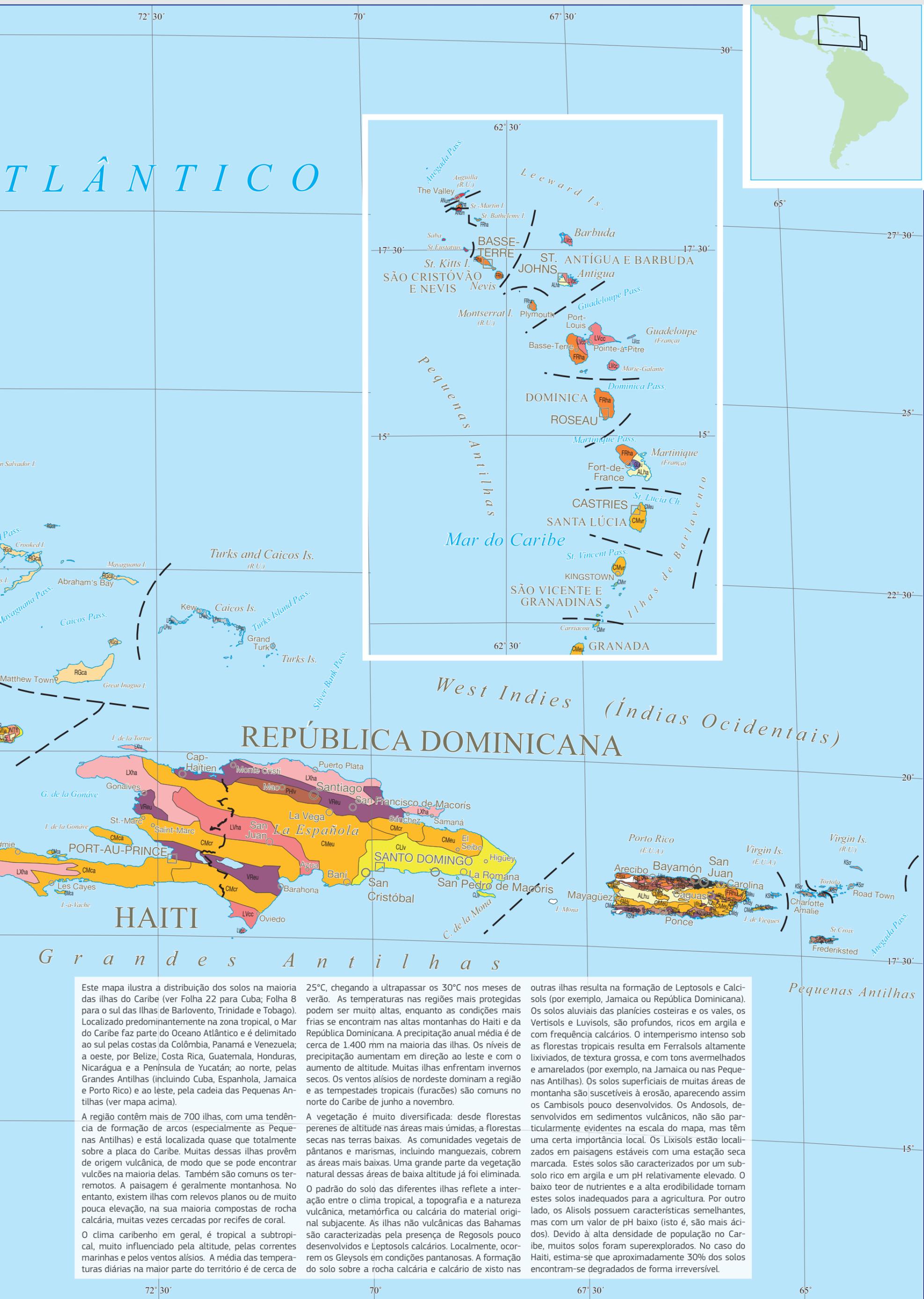
0 100 200 km

0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal



# ATLÂNTICO



## REPÚBLICA DOMINICANA

Este mapa ilustra a distribuição dos solos na maioria das ilhas do Caribe (ver Folha 22 para Cuba; Folha 8 para o sul das Ilhas de Barlovento, Trindade e Tobago). Localizado predominantemente na zona tropical, o Mar do Caribe faz parte do Oceano Atlântico e é delimitado ao sul pelas costas da Colômbia, Panamá e Venezuela; a oeste, por Belize, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicarágua e a Península de Yucatán; ao norte, pelas Grandes Antilhas (incluindo Cuba, Espanhola, Jamaica e Porto Rico) e ao leste, pela cadeia das Pequenas Antilhas (ver mapa acima).

A região contém mais de 700 ilhas, com uma tendência de formação de arcos (especialmente as Pequenas Antilhas) e está localizada quase que totalmente sobre a placa do Caribe. Muitas dessas ilhas provêm de origem vulcânica, de modo que se pode encontrar vulcões na maioria delas. Também são comuns os terremotos. A paisagem é geralmente montanhosa. No entanto, existem ilhas com relevos planos ou de muito pouca elevação, na sua maioria compostas de rocha calcária, muitas vezes cercadas por recifes de coral.

O clima caribenho em geral, é tropical a subtropical, muito influenciado pela altitude, pelas correntes marinhas e pelos ventos alísios. A média das temperaturas diárias na maior parte do território é de cerca de

25°C, chegando a ultrapassar os 30°C nos meses de verão. As temperaturas nas regiões mais protegidas podem ser muito altas, enquanto as condições mais frias se encontram nas altas montanhas do Haiti e da República Dominicana. A precipitação anual média é de cerca de 1.400 mm na maioria das ilhas. Os níveis de precipitação aumentam em direção ao leste e com o aumento de altitude. Muitas ilhas enfrentam invernos secos. Os ventos alísios de nordeste dominam a região e as tempestades tropicais (furacões) são comuns no norte do Caribe de junho a novembro.

A vegetação é muito diversificada: desde florestas perenes de altitude nas áreas mais úmidas, a florestas secas nas terras baixas. As comunidades vegetais de pântanos e marismas, incluindo manguezais, cobrem as áreas mais baixas. Uma grande parte da vegetação natural dessas áreas de baixa altitude já foi eliminada. O padrão do solo das diferentes ilhas reflete a interação entre o clima tropical, a topografia e a natureza vulcânica, metamórfica ou calcária do material original subjacente. As ilhas não vulcânicas das Bahamas são caracterizadas pela presença de Regossols pouco desenvolvidos e Leptosols calcários. Localmente, ocorrem os Gleysols em condições pantanosas. A formação do solo sobre a rocha calcária e calcário de xisto nas

outras ilhas resulta na formação de Leptosols e Calcisols (por exemplo, Jamaica ou República Dominicana). Os solos aluviais das planícies costeiras e os vales, os Vertisols e Luvisols, são profundos, ricos em argila e com frequência calcários. O intemperismo intenso sob as florestas tropicais resulta em Ferralossols altamente lixiviados, de textura grossa, e com tons avermelhados e amarelados (por exemplo, na Jamaica ou nas Pequenas Antilhas). Os solos superficiais de muitas áreas de montanha são suscetíveis à erosão, aparecendo assim os Cambisols pouco desenvolvidos. Os Andossols, desenvolvidos em sedimentos vulcânicos, não são particularmente evidentes na escala do mapa, mas têm uma certa importância local. Os Lixisols estão localizados em paisagens estáveis com uma estação seca marcada. Estes solos são caracterizados por um subsolo rico em argila e um pH relativamente elevado. O baixo teor de nutrientes e a alta erodibilidade tornam estes solos inadequados para a agricultura. Por outro lado, os Alisols possuem características semelhantes, mas com um valor de pH baixo (isto é, são mais ácidos). Devido à alta densidade de população no Caribe, muitos solos foram superexplorados. No caso do Haiti, estima-se que aproximadamente 30% dos solos encontram-se degradados de forma irreversível.



# OCEANO PACÍFICO

Neste mapa destaca-se o istmo centro-americano, conhecido como o estreito do Panamá, por causa do país em que está localizado. Limita-se com América do Sul e com a Costa Rica, o oeste da Colômbia, Panamá e sul da Nicarágua. O istmo do Panamá separa o Oceano Atlântico do Oceano Pacífico e é a parte mais estreita do continente americano (50 km de largura em algumas áreas).

Com exceção da região noroeste do leste da Nicarágua e da Colômbia, a maior parte do terreno é montanhoso e escarpado. Vários picos da *Cordillera Central* superam os 3.000 m de altitude, e muitos deles são vulcões ainda ativos. Ao Oeste da cordillera, à medida que se desce em direção ao Pacífico, o terreno vai se transformando em uma planície litorânea suave ondulada. Toda a região é geologicamente ativa; as erupções vulcânicas e os terremotos ocorrem com frequência. O *Lago Nicarágua* é o maior lago da América Central. Por outro lado, Costa Rica e Colômbia são as regiões de alta biodiversidade.

Devido à sua proximidade com o Equador, o clima quente e úmido torna-se mais tropical. Contudo, em muitas áreas encontra-se uma estação seca de dezembro a abril e uma estação chuvosa, de maio a novembro (durante este tempo, em algumas áreas pode chover de modo contínuo). Naturalmente, existem variações de acordo com a altitude, a precipitação ou a topografia. A temperatura média

anual nas planícies costeiras do Caribe varia entre 24 e 38°C, caindo para 10°C nos picos das montanhas mais altas. As temperaturas na costa do Pacífico são um pouco mais baixas. No entanto, existe pouca variação sazonal. As encostas das montanhas do Caribe e da Cordillera Central da Costa Rica recebem a maior precipitação (mais de 5.000 mm por ano em algumas áreas).

O clima tropical favorece o desenvolvimento de um grande número de espécies de plantas. As florestas são o ecossistema mais representado, ocasionalmente são interrompidos por campos e vegetação arbustiva, onde as chuvas são menos frequentes. O desmatamento é uma ameaça constante em muitas regiões. Ocorrem manguezais em ambas as costas, com maior abundância nos deltas.

A característica pedológica dominante deste mapa, é o domínio de Andossols, que são desenvolvidos a partir de cinzas vulcânicas e lavas, especialmente nas regiões montanhosas da Costa Rica, Panamá e da *Cordillera Occidental* da Colômbia. Em muitos lugares, os Andossols são excepcionalmente produtivos para o cultivo de café. Por outro lado, os Regossols pouco desenvolvidos e os Leptosols pouco profundos, se desenvolvem a partir de granitos e rochas metamórficas. Ambos os tipos representam solos jovens nas áreas montanhosas. As terras baixas ao leste da Nicarágua são dominadas por Niti-

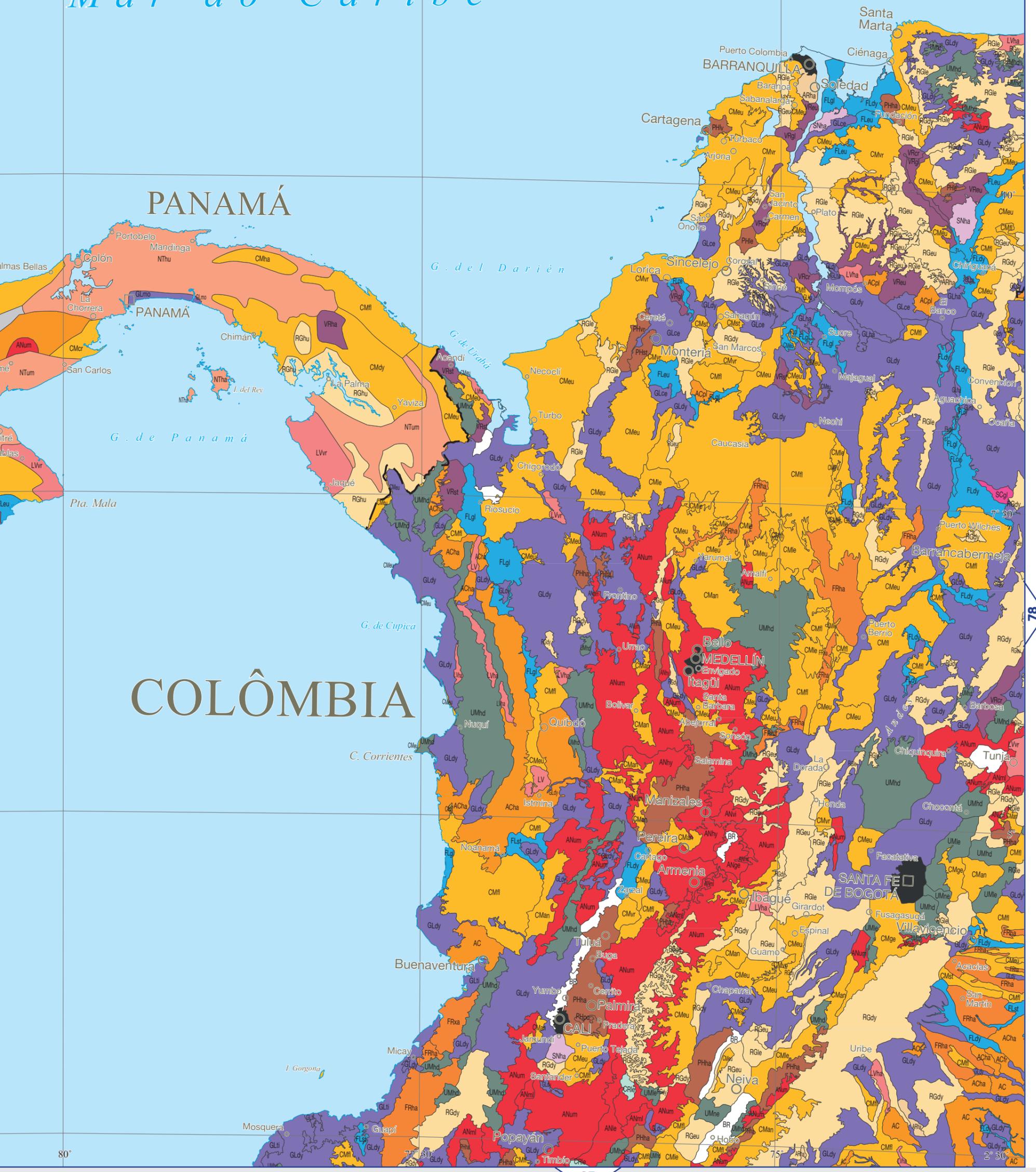
sols, caracterizados pela alta concentração de óxidos de ferro e argilas. Estes solos são potencialmente os mais férteis da região tropical, devido ao seu alto teor de nutrientes, à sua profundidade e permeabilidade e por isso, são com frequência destinados à agricultura. Os Ferralossols, Acrissols e Alissols representam solos ácidos muito intemperizados, geralmente pobres em nutrientes. Estes tipos de solo contêm altos níveis de óxidos de ferro e alumínio, resultando em uma coloração vermelha ou amarela característica. Os Ferralossols contêm uma fração granulométrica grossa e contêm caulinita, enquanto a principal característica dos Acrissols e Alissols é a acumulação de argila no subsolo. Os Acrissols são desenvolvidos sobre a rocha matriz ácida, enquanto os Alissols são formados pelas rochas metamórficas. Os sistemas fluviais são representados pelos Fluvisols; ao longo da costa, nos manguezais, estão localizados os Gleysols. Estes últimos (e em menor proporção os Vertissols) no oeste da Colômbia, ocupam as extensas planícies pantanosas dos rios *Atrato*, *Magdalena* e *Cauca*. Estas bacias aluviais (algumas são leitos antigos de lagos) estão separadas por montanhas com Andossols profundos, Cambissols e Regossols. Por último aparecem os Umbrisols, que representam solos com um horizonte superficial escuro, ácido e rico em matéria orgânica, desenvolvido sob florestas nos climas frios e úmidos (regiões montanhosas).

80° 77° 30' 75°

12° 30'



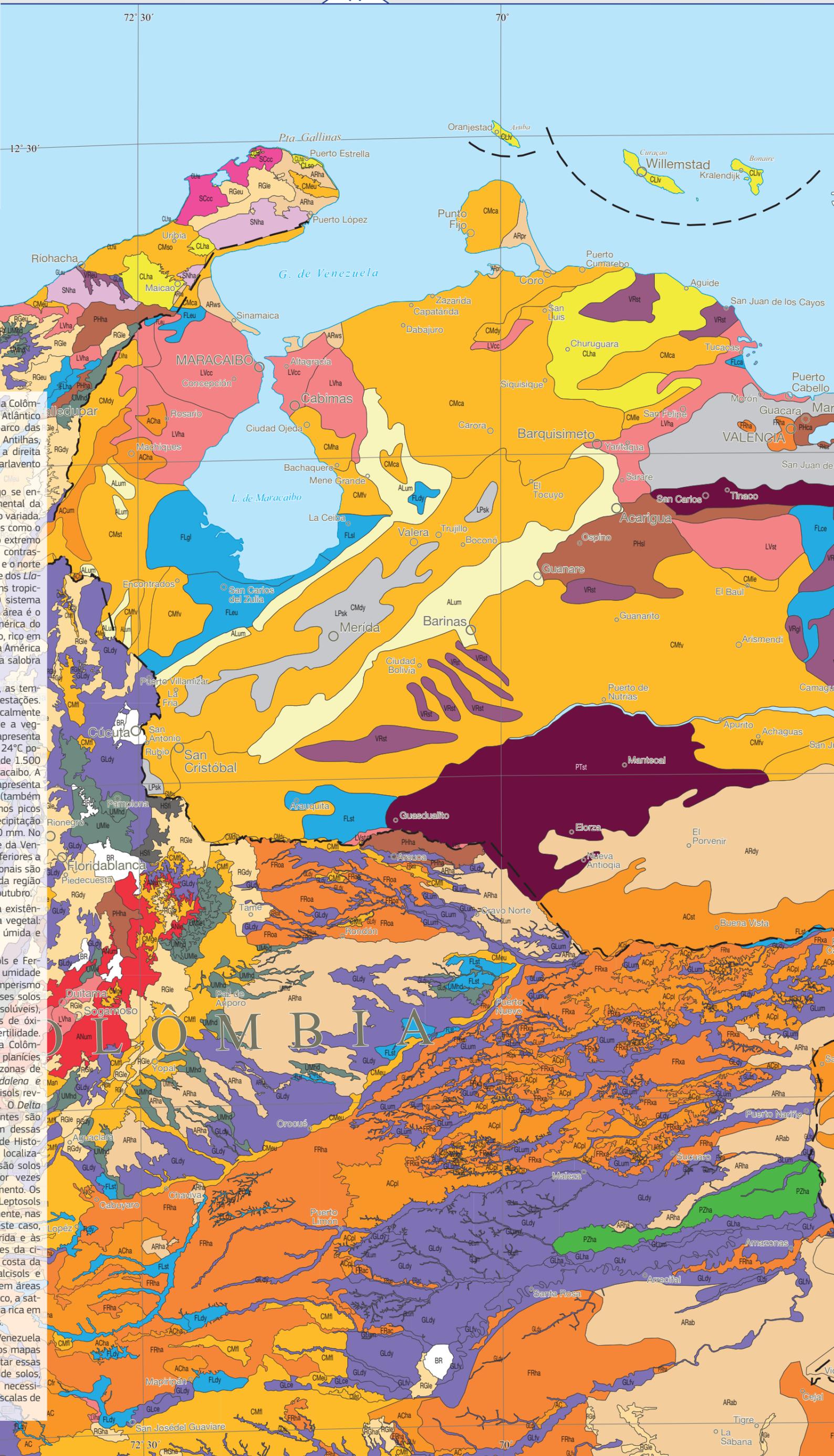
# Mar do Caribe



## PANAMÁ

## COLÔMBIA

80° 77° 30' 75°



Este mapa ilustra os solos do leste da Colômbia e da Venezuela, com o Oceano Atlântico ao norte. Perto da costa surge o arco das Ilhas de Sotavento nas Pequenas Antilhas, enquanto na extremidade superior a direita surgem o extremo das Ilhas de Barlavento (ver Folha 5).

Geologicamente, Trinidad e Tobago se encontram sobre a plataforma continental da América do Sul. A topografia é muito variada. O mapa ilustra alguns notáveis como o de Bolívar (4.979 m de altitude) e o extremo norte da cordilheira dos Andes, que contrastam com a maior parte da Colômbia e o norte da Venezuela, os quais formam parte dos Llanos, uma vasta planície de pastagens tropicais que se inunda regularmente. O sistema hidrográfico mais importante desta área é o rio Orinoco, um dos maiores da América do Sul (2.140 km). O Lago de Maracaibo, rico em petróleo, é o maior corpo de água na América do Sul e apresenta uma grande baía salobra do Golfo da Venezuela.

Por se tratar de uma zona tropical, as temperaturas variam pouco entre as estações. No entanto, a altitude influencia localmente as temperaturas, as precipitações e a vegetação. Uma maior parte da área apresenta temperatura média anual acima de 24°C podendo chegar a 19°C, em altitudes de 1.500 m, ou atingir 28°C na costa de Maracaibo. A maioria das áreas montanhosas apresenta condições de clima temperado (também podem ocorrer condições glaciais nos picos mais altos das montanhas). A precipitação anual na região é de cerca de 1.000 mm. No entanto, na costa árida do noroeste da Venezuela registram-se precipitações inferiores a 500 mm por ano. As variações regionais são muito marcadas; em grande parte da região a estação chuvosa dura de maio a outubro.

As chuvas no interior possibilitam a existência de diferentes tipos de cobertura vegetal: a savana tropical, floresta tropical úmida e cultivos e pastagens.

Os solos dominantes são os Acrisols e Ferrisols. As altas temperaturas e a umidade abundante são a causa do alto intemperismo com a lixiviação dos nutrientes desses solos (com exceção dos minerais mais insolúveis), deixando os solos com altos níveis de óxidos de ferro e alumínio e baixa fertilidade. Os Gleysols localizados ao leste da Colômbia indicam a presença de extensas planícies pantanosas que correspondem às zonas de inundação dos rios Orinoco, Magdalena e Cauca, enquanto os Fluvisols e Vertisols revelam a existência de bacias aluviais. O Delta do Orinoco e as planícies adjacentes são ricos em aluviões. A má drenagem dessas áreas baixas resulta na formação de Histosols. Os Andossols vulcânicos estão localizados nas encostas das montanhas; são solos potencialmente férteis, embora por vezes muito erodidos devido ao desmatamento. Os Regossols pouco desenvolvidos e os Leptossols rasos e pedregosos ocorrem, geralmente, nas principais regiões montanhosas. Neste caso, correspondem à cordilheira de Mérida e às montanhas costeiras nas imediações da cidade de Caracas. O clima árido da costa da Venezuela leva à formação de Calcisols e Arenossols. Na área dos Llanos surgem áreas extensas de dunas. No vale do Orinoco, a saturação do solo com água subterrânea rica em ferro leva à formação de Plinthossols.

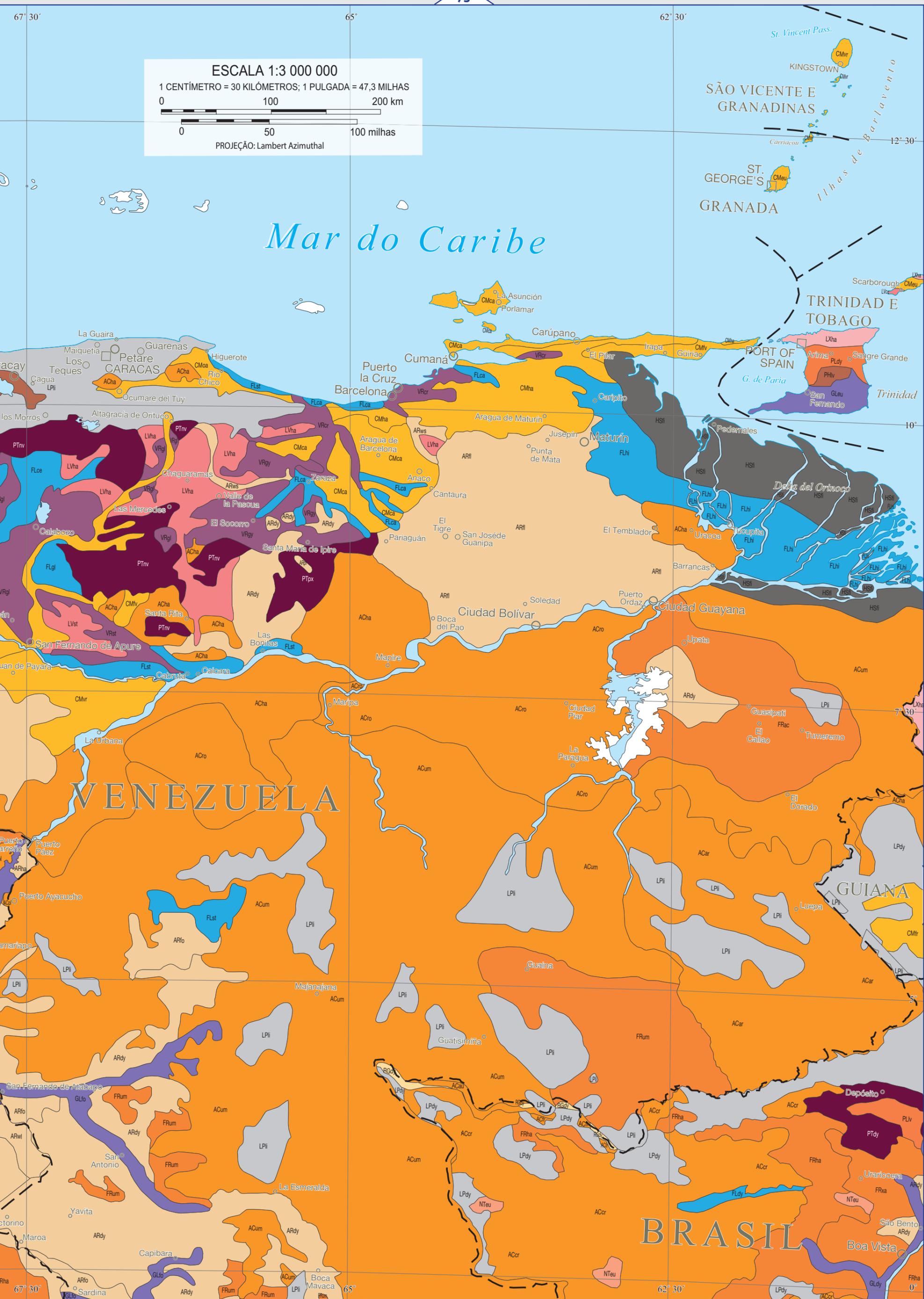
A fronteira nítida entre Colômbia e Venezuela reflete as diferenças nas escalas dos mapas disponíveis entre os países. Para evitar essas diferenças abruptas entre os tipos de solos, especialmente nas fronteiras, há necessidade de melhorar e harmonizar as escalas de mapeamento entre os países.

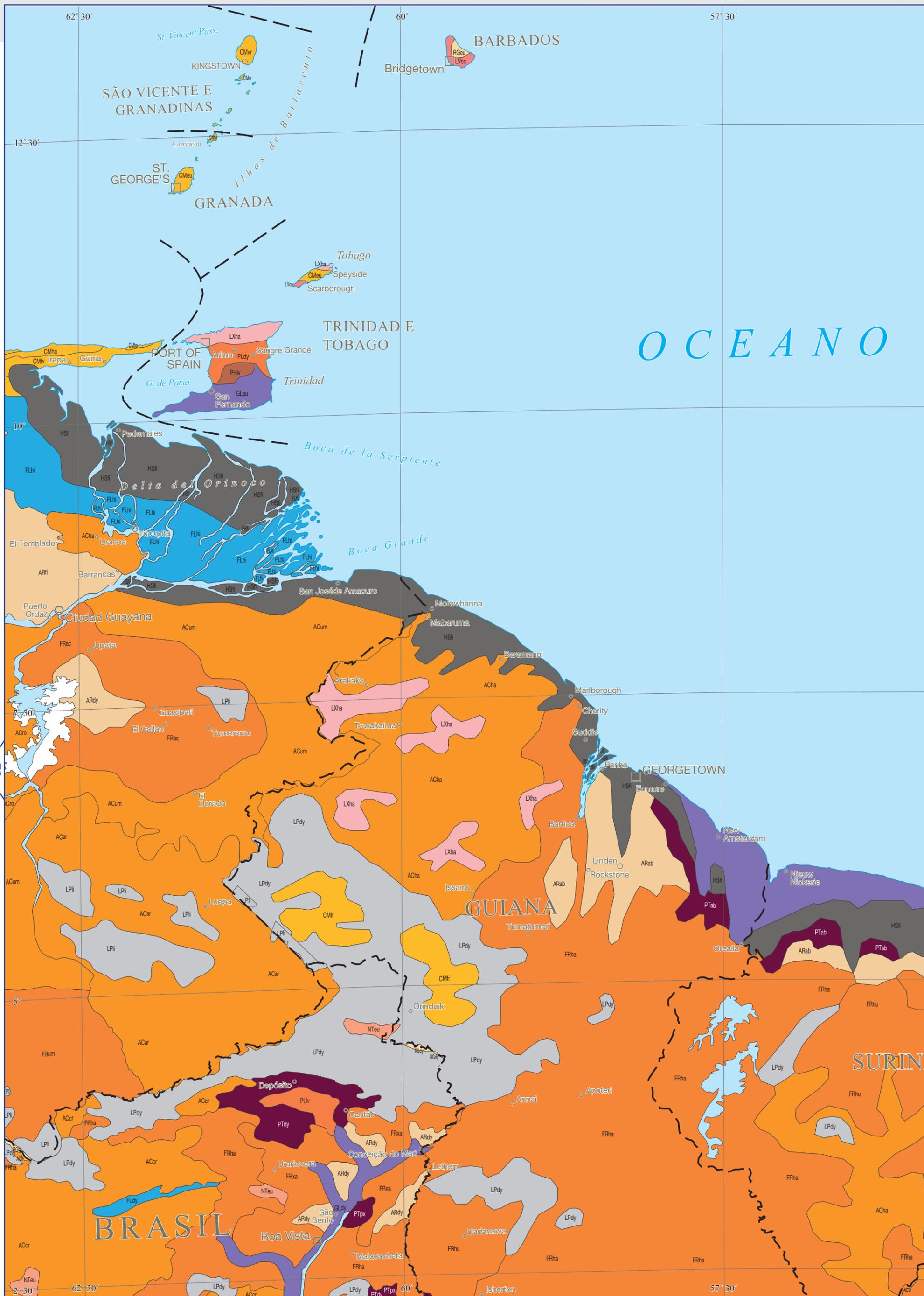
**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

0 100 200 km  
 0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimutal

# Mar do Caribe





# ATLÂNTICO



Este mapa revela os solos das ilhas localizadas a sudoeste das Pequenas Antilhas, parte do norte do Brasil, Guiana, Guiana Francesa, Suriname e leste de Venezuela, todos banhados pelo Oceano Atlântico. A zona costeira ocidental do mapa é dominada pelo Delta de Orinoco.

O delta pantanoso se estende por 450 km na costa Atlântica e é dividido em vários canais ou braços dos rios que desaguam no oceano. O canal principal é o *Boca Grande*. Para o sudeste, surge uma planície costeira estreita e de baixa altitude, com um relevo suave ondulado, que corre paralelo à costa. Esta se eleva até o sul até se converter nas *Escudo das Guianas*, uma região de montanhas baixas com mesetas e cobertas de florestas; o *Monte Roraima*, também conhecido como tepuy Roraima, com 2.810 m de altitude, é o ponto culminante da cadeia de mesetas *tepuy*s (chapadas) da serra de *Pacaraima*. Ao sul destas montanhas os rios seguem seu curso até Amazonas. O monumento natural mais notável neste mapa é o *Salto Ángel* no rio Churun (Venezuela), a cachoeira mais alta do mundo, com um desnível de 979 m.

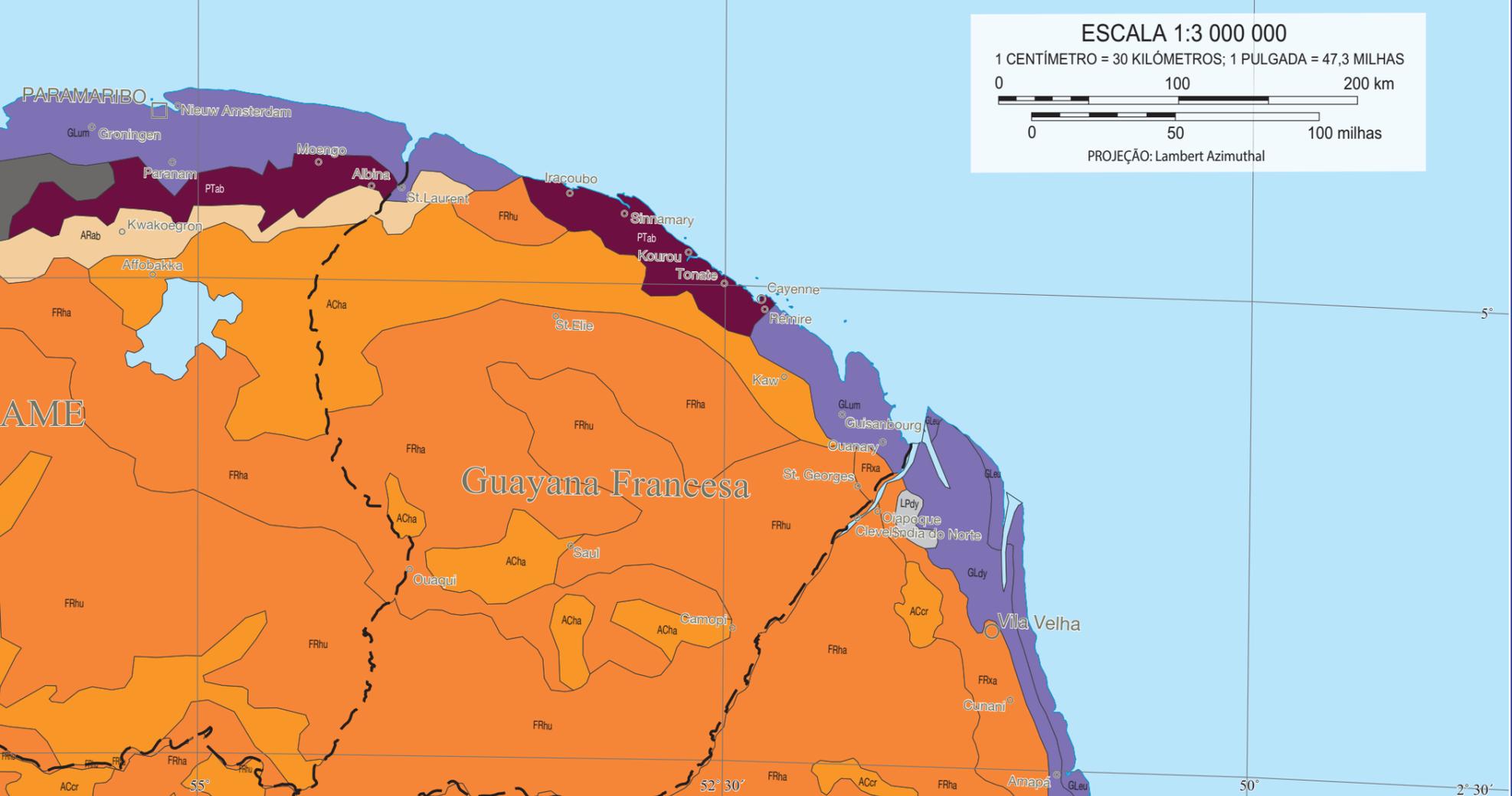
Esta área está localizada ao norte do Equador, cujo clima é quente e úmido durante todo o ano, com uma temperatura média diária de 25°C e variações sazonais mínimas. Estes

valores de temperatura e umidade são moderados pelas baixas altitudes e pela proximidade da costa, devido aos ventos alísios. A precipitação é geralmente abundante em toda a região (cerca de 2.000 mm por ano, ultrapassando 3.000 mm em algumas áreas da Guiana Francesa), e aumenta em direção ao litoral. No entanto, as secas sazonais podem ocorrer ocasionalmente.

A vegetação é composta principalmente de florestas tropicais densas. Em algumas partes do sul da Venezuela e Guiana, mais secas, predomina a paisagem de savana. Os manguezais se localizam ao longo da costa.

Os principais fatores de formação do solo nesta região são a erosão das rochas cristalinas, na maior parte das montanhas da Guiana, e sua posterior redeposição, seguida do intenso intemperismo favorecido por um clima tropical quente e úmido. Os Leptosols rasos e pedregosos e os Cambisols pouco desenvolvidos são representativos da região do altiplano. A deposição de grãos de quartzo, como consequência do curso dos rios leva à formação de Arenosols extensos e esbranquiçados, ao longo das costas da Guiana e do Suriname. Devido ao fato de que a zona costeira é plana, mal drenada e recebe os grandes volumes de aluviões provenientes da foz do rio Amazonas

(ao leste da Guiana Francesa) se desenvolveram pântanos extensos. Este alagamento permanente resultou em grandes extensões de Gleysols e Histosols ácidos. Este modelo é também visível no delta do *Orinoco*. No interior, o intemperismo químico de minerais das rochas se reflete na distribuição dos tipos de solo. Nos solos com condições de alta lixiviação e acidez encontram-se grandes extensões de Ferralsols, geralmente pobres em nutrientes, mas com altos teores de caulinita e óxidos de ferro e alumínio. As extensões dos Acrisols e Lixisols expressam também solos profundamente intemperizados. Ambos os tipos de solos são caracterizados por um subsolo rico em argila, embora os primeiros são desenvolvidos em materiais de natureza ácida e os segundos a partir de rochas metamórficas com cátions básicos (e, portanto, geralmente são menos ácidos do que os Acrisols). No Brasil, ao sul das montanhas da Guiana, surgem os Gleysols nas planícies pantanosas da cabeceira do *Rio Branco*, afluente do Amazonas. Os Plinthosols indicam solos que possuem um subsolo contendo uma mistura de minerais argilosos (predominantemente caulinita) com um teor elevado de ferro e sílica, materiais que se endurecem ao secar-se, formando concreções de ferro (plintita).



**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

0 100 200 km

0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimutal



# OCEANO PACÍFICO

**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÔMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal



Este mapa ilustra a grande variedade de solos do oeste do Brasil, o sul da Colômbia, Equador e norte do Peru, incluindo o arquipélago vulcânico das ilhas Galápagos, localizado a 1.000 km a oeste da costa equatoriana.

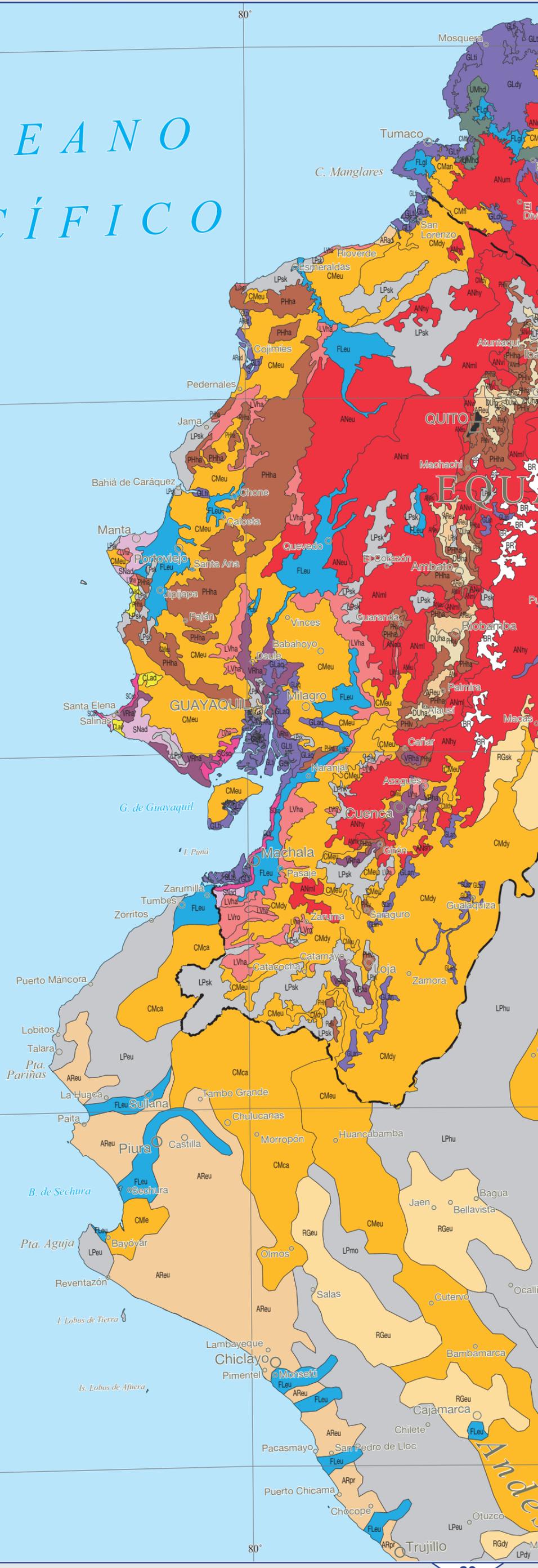
A principal característica física desta região é a *Cordilheira dos Andes*. Muitas dos seus cumes superam os 4.000 m, enquanto no Equador, se encontra o vulcão ativo mais alto do mundo, o *Cotopaxi* (5.897 m de altitude). A oeste dos Andes, uma faixa estreita de terra desce para o Oceano Pacífico. Para o leste, as planícies suavemente onduladas da Colômbia, caracterizam o extremo sul dos Llanos com uma vasta extensão de pastos tropicais. Seguindo mais ao sul, os rios que atravessam as cordilheiras orientais dos Andes no Peru são drenados em uma região de colinas e planícies localizadas na bacia do Amazonas.

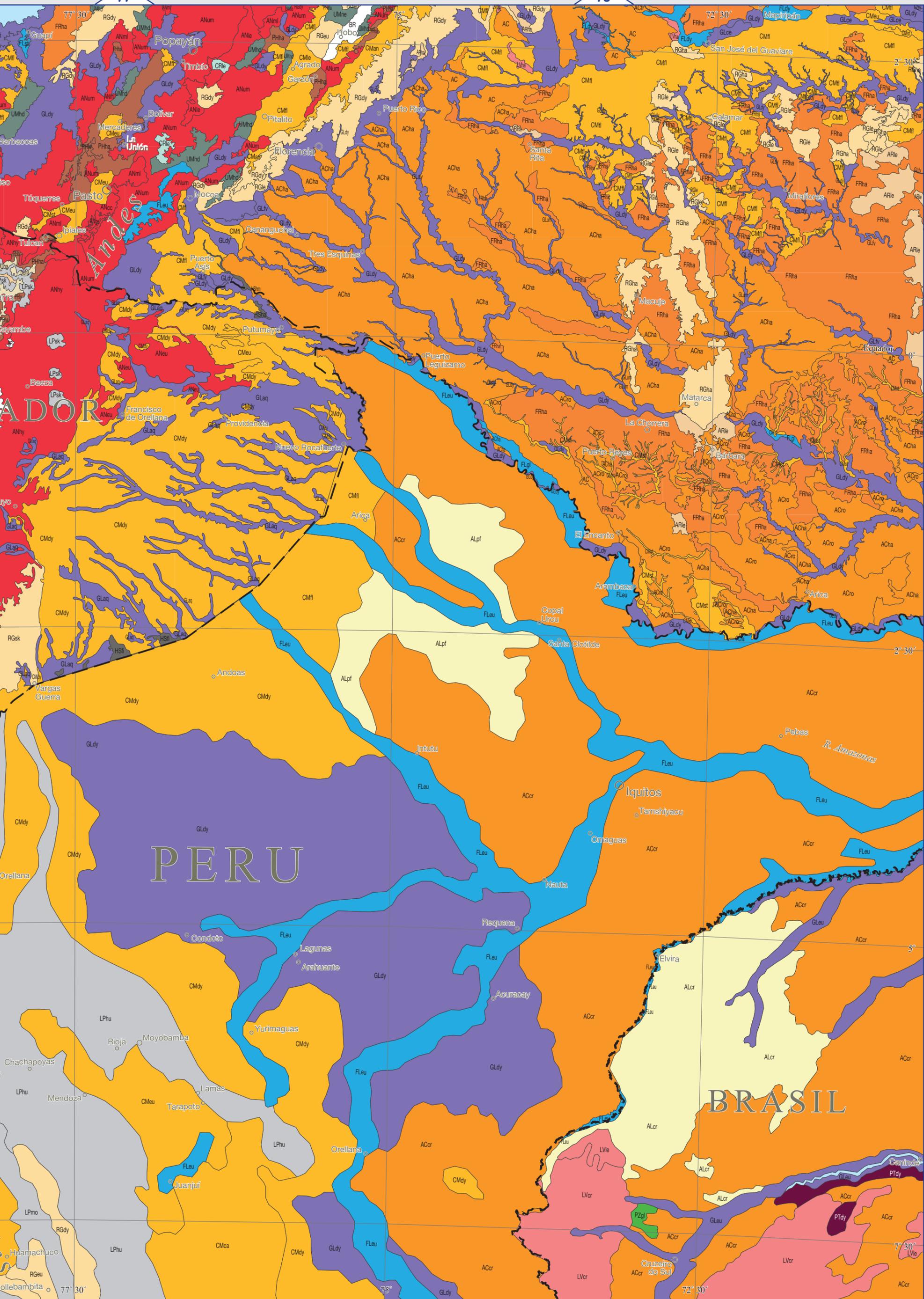
Devido à proximidade da linha do Equador, na parte superior do mapa, a maior parte apresenta um clima tropical úmido. Na costa são registradas grandes variações de condições climáticas, devido à zona de convergência intertropical e as correntes frias do oceano. Os processos convectivos predominam nas partes altas dos Andes. As temperaturas médias durante o dia variam entre 29 e 33°C, caindo com a altitude (a 2.800 m de altitude, Quito tem uma temperatura média anual de 14 °C, e uma mínima de 9 °C). Nas cotas mais altas são frequentes as geadas e as cumes estão cobertas de neve acima dos 5.000 m de altitude. As partes centrais e orientais do território representadas no mapa são mais úmidas. Na bacia amazônica, a precipitação anual é de 3.000 a 6.000 mm. No entanto, em algumas partes do Equador e a zona costeira do Peru ocorrem nas condições áridas (menos de 500 mm de precipitação anual).

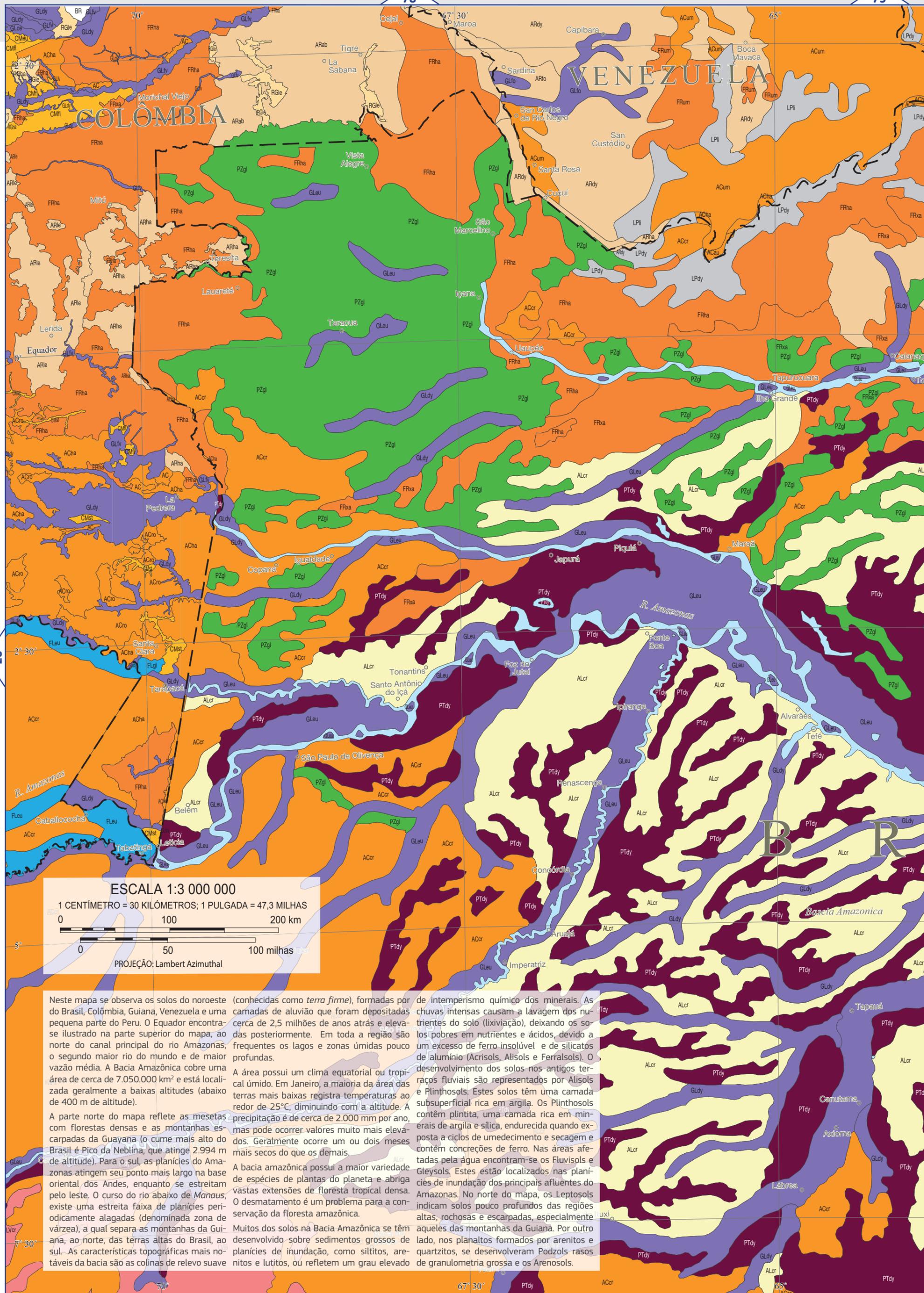
A maior parte da área é coberta por floresta tropical, dando lugar a florestas decíduais, ao longo da zona costeira do norte. As terras altas são caracterizadas por uma floresta sempre verde e por vegetação de tundra.

A ampla variação das zonas climáticas juntamente com os diferentes tipos de cobertura vegetal e material parental dão lugar a um padrão de distribuição de solos complexo e variado. Ao longo dos Andes, se desenvolveram áreas extensas de Andosols em material de ejeções vulcânicas. O intemperismo físico de minerais de rochas básicas cristalinas, arenitos e lutitos, resultaram na formação de Leptosols e Cambisols. Os Andes não representam apenas uma cadeia de montanhas, mas também uma sucessão de serras paralelas onde se intercalam planaltos e depressões. Nas terras mais altas, os solos permanentemente congelados levam à formação de Cryosols. Entre as cadeias montanhosas, nos grandes vales e bacias aluviais e colúviais, surgem os Phaeozems férteis. No mapa se pode observar este mesmo padrão na faixa litoral tanto colombiana como equatoriana. Os solos da bacia Amazônica também são muito diversos. Os mais intemperizados são os Acrisols, Alisols e Ferralsols, geralmente pobres em nutrientes e com altos níveis de ferro e alumínio. Os Acrisols e Alisols juntamente com os Luvisols, são compostos de um subsolo rico em argila e refletem diferenças topográficas e da composição química da rocha matriz. A área afetada pela água corresponde aos Fluvisols e Gleysols. Surgem nas planícies de inundação de grandes rios como o *Putumayo*, o *Negro*, o *Napo* e *Marañón* (este último dá origem à grande extensão de Gleysols no norte do Peru), todos são afluentes do curso superior do Rio Amazonas situado na vertente do Atlântico. Grande parte dos solos oeste e centro do Peru, são pouco profundos, de má qualidade e pouco desenvolvidos (por exemplo, Regosols). Ao sul da cidade costeira de Piura, os Arenosols caracterizam o deserto de *Sechura*. As ilhas vulcânicas de Galápagos são caracterizadas pela presença de Andosols, Leptosols rasos e pedregosos e Luvisols, onde o solo está um pouco mais desenvolvido.

A fronteira nítida entre Equador e Peru reflete as diferenças nas escalas dos mapas disponíveis entre os países. Para evitar essas diferenças abruptas entre os tipos de solos, especialmente nas fronteiras, há necessidade de melhorar e harmonizar as escalas de mapeamento entre os países.







**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÔMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

0 100 200 km  
 0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimutal

Neste mapa se observa os solos do noroeste do Brasil, Colômbia, Guiana, Venezuela e uma pequena parte do Peru. O Equador encontra-se ilustrado na parte superior do mapa, ao norte do canal principal do rio Amazonas, o segundo maior rio do mundo e de maior vazão média. A Bacia Amazônica cobre uma área de cerca de 7.050.000 km<sup>2</sup> e está localizada geralmente a baixas altitudes (abaixo de 400 m de altitude).

A parte norte do mapa reflete as mesetas com florestas densas e as montanhas escarpadas da Guayana (o cume mais alto do Brasil é Pico da Neblina, que atinge 2.994 m de altitude). Para o sul, as planícies do Amazonas atingem seu ponto mais largo na base oriental dos Andes, enquanto se estreitam pelo leste. O curso do rio abaixo de Manaus, existe uma estreita faixa de planícies periodicamente alagadas (denominada zona de várzea), a qual separa as montanhas da Guiana, ao norte, das terras altas do Brasil, ao sul. As características topográficas mais notáveis da bacia são as colinas de relevo suave

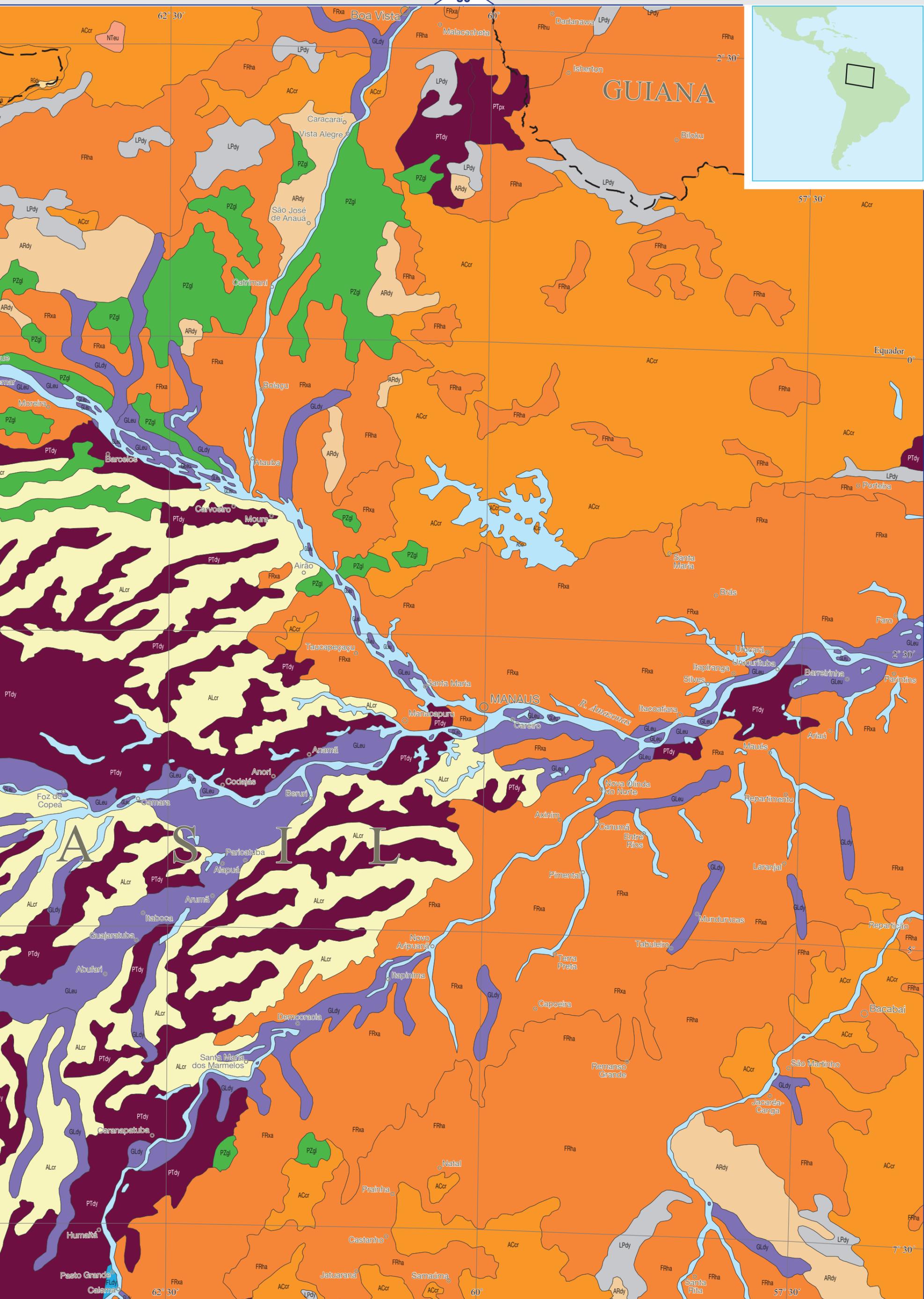
(conhecidas como *terra firme*), formadas por camadas de aluvião que foram depositadas cerca de 2,5 milhões de anos atrás e elevadas posteriormente. Em toda a região são frequentes os lagos e zonas úmidas pouco profundas.

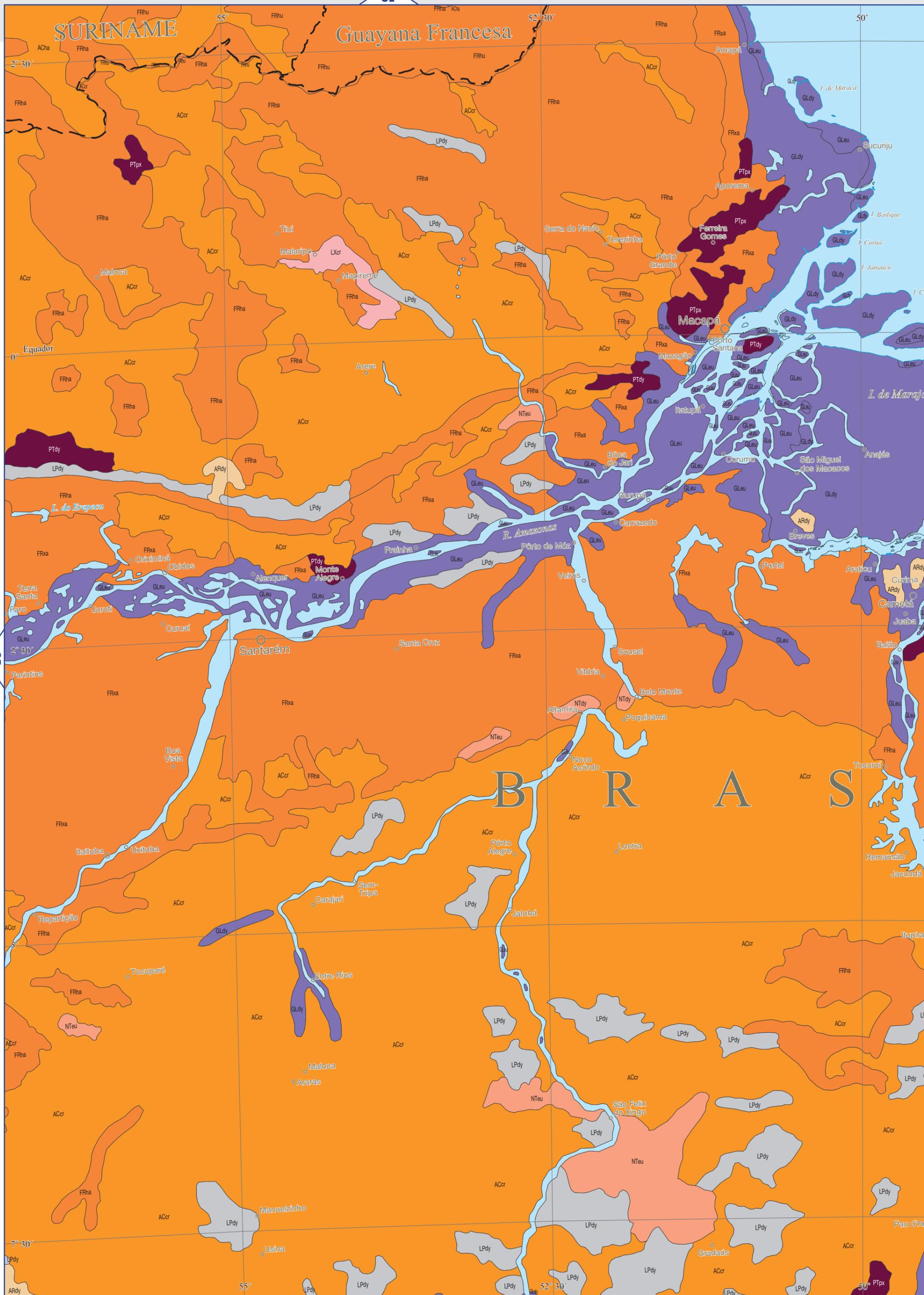
A área possui um clima equatorial ou tropical úmido. Em Janeiro, a maioria da área das terras mais baixas registra temperaturas ao redor de 25°C, diminuindo com a altitude. A precipitação é de cerca de 2.000 mm por ano, mas pode ocorrer valores muito mais elevados. Geralmente ocorre um ou dois meses mais secos do que os demais.

A bacia amazônica possui a maior variedade de espécies de plantas do planeta e abriga vastas extensões de floresta tropical densa. O desmatamento é um problema para a conservação da floresta amazônica.

Muitos dos solos na Bacia Amazônica se têm desenvolvido sobre sedimentos grossos de planícies de inundação, como siltitos, arenitos e lutitos, ou refletem um grau elevado

de intemperismo químico dos minerais. As chuvas intensas causam a lavagem dos nutrientes do solo (lixiviação), deixando os solos pobres em nutrientes e ácidos, devido a um excesso de ferro insolúvel e de silicatos de alumínio (Acrisols, Alisols e Ferralsols). O desenvolvimento dos solos nos antigos terraços fluviais são representados por Alisols e Plinthosols. Estes solos têm uma camada subsuperficial rica em argila. Os Plinthosols contêm plintita, uma camada rica em minerais de argila e sílica, endurecida quando exposta a ciclos de umedecimento e secagem e contém concreções de ferro. Nas áreas afetadas pela água encontram-se os Fluvisols e Gleysols. Estes estão localizados nas planícies de inundação dos principais afluentes do Amazonas. No norte do mapa, os Leptosols indicam solos pouco profundos das regiões altas, rochosas e escarpadas, especialmente aqueles das montanhas da Guiana. Por outro lado, nos planaltos formados por arenitos e quartzitos, se desenvolveram Podzols rasos de granulometria grossa e os Arenosols.





Este mapa revela as terras do nordeste do Brasil e a foz do Rio Amazonas no Oceano Atlântico. A vazão média do Amazonas é de 209.000 m<sup>3</sup>/s (sem incluir seus afluentes principais), o que é mais do que os rios *Mississippi*, o *Nilo* e o *Yangtzé* juntos. Em direção da foz, o rio se divide em vários canais, dando lugar a ilhas cada vez maiores. A ilha de *Marajó*, do tamanho da Suíça, representa a maior ilha fluvial do mundo, cercada por água doce. Curiosamente, o Amazonas não tem delta. O vale inferior do Amazonas é relativamente estreito; a terra em ambos os lados se eleva formando encostas íngremes até o nível de um planalto antigo.

A parte norte do mapa marca a fronteira com as montanhas da Guiana, enquanto ao sul o terreno é elevado nos terraços cobertos de floresta, um pouco acidentados, devido à erosão da encosta ao norte do planalto central brasileiro. O Equador atravessa o estuário do Amazonas. A outra foz destacada neste mapa é a do rio Guamá.

O clima é equatorial ou tropical úmido. A temperatura média anual é de cerca de 26°C,

com pouca variação sazonal.

A umidade é alta; a precipitação média anual também mostra valores elevados (mais de 1.500 mm ao longo do ano, mas pode ser maior em alguns lugares). É comum a ocorrência de meses mais secos.

A maior parte da região é coberta por uma floresta tropical densa, com espécies decíduas, com áreas de savana intercaladas com mais frequência para o leste. Os manguezais ocorrem na maior parte do litoral. O desmatamento, a conversão do uso da terra e a baixa fertilidade do solo são questões importantes que ameaçam o meio ambiente e o modo de vida dos habitantes da região.

Os Acrisols e Ferrisols ácidos são claramente dominantes no mapa. A distribuição destes solos, altamente lixiviados, pobres em nutrientes e com níveis elevados de ferro insolúvel e silicatos de alumínio, refletem as mudanças na topografia. As áreas pequenas onde se distribuem os Lixisols e Nitisols, revelam alterações na composição química do material de origem. Nos vales dos rios surgem os Fluvisols estratificados e os Gley-

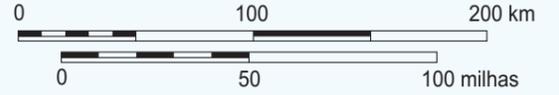
sols frequentemente saturados com água, os quais se desenvolveram em sedimentos aluviais grossos, em geral ocupando canais abandonados dos rios, poças, diques e pântanos. A bacia de drenagem principal ao sul da foz do Amazonas é o sistema dos rios *Tocantins-Araguaia*. Representa a maior bacia hidrográfica localizada inteiramente no território brasileiro, com um comprimento de cerca de 2.500 km. Os solos das terras baixas na costa do Oceano Atlântico são compostos por Gleysols, cobertos de manguezais e localizados na faixa costeira e nos estuários; e por Arenosols com dunas localizados em depósitos fluviais antigos. Nos terrenos planos se desenvolveram os Plinthosols, geralmente sobre terraços antigos ou sistemas de praia, caracterizados por uma camada subsuperficial rica em argila e sílica, conhecida como plintita, que endurece quando exposto a ciclos de umedecimento e secagem, com concreções de ferro. Por último, ao sul do território surgem os Leptosols e Arenosols denotando solos rasos e arenosos nas montanhas de arenito que marcam o ponto mais setentrional das terras altas do Brasil.



# OCEANO ATLÂNTICO

ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILOMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS



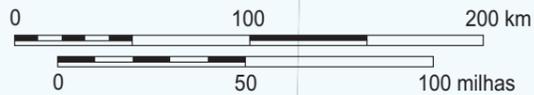
PROJEÇÃO: Lambert Azimutal





ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÔMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS



PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal

# OCEANO ATLÂNTICO

Este mapa ilustra os solos do leste do Brasil.

A paisagem é dominada pelo planalto e montanhas das serras da *Borborema* e *Grande*, situadas ao nordeste e representando as terras altas do Brasil. A uma longitude de 34°47'35" Oeste se localiza a *Ponta do Seixas* (ao sudeste de João Pessoa), o ponto mais oriental do continente americano (curiosamente localizado a menos de 3° de latitude de *Punta Parinas* no Peru, o ponto mais ocidental do continente Sul Americano).

Localizado ao sul do equador, a maior parte do território mostrado no mapa possui um clima tropical. A temperatura média anual ultrapassa os 18 °C, com pouca variação sazonal. O teor de umidade geralmente é menor do que na bacia amazônica e a precipitação anual, varia em promédio entre 1.000 e 1.800 mm, irregularmente distribuída (concentrada em três ou quatro meses). O interior da costa nordeste de Natal e São Luís recebem apenas entre 400 e 750 mm por ano; além disso, pode ocorrer de 9 a 10 meses de seca.

Com exceção dos planaltos, as regiões montanhosas e depressões do terreno, quase todo o território é coberto por um tipo particular de estepe arborizada, localmente conhecida como *Caatinga*.

O padrão complexo de distribuição de solos ilustrado no mapa é derivado principalmente da topografia e litologia. O intemperismo físico das rochas (tipo metamórficas predominantemente ácidas, p. exemplo gnaisse e granito) nas zonas altas das montanhas brasileiras tem levado à formação de *Leptosols* rasos e pedregosos, *Regosols* com pouco desenvolvimento e *Arenosols* de textura grossa. Onde os processos de formação do solo foram intensos se desenvolveram os *Luvissols* pétricos. Os *Ferralsols*, de natureza ácida, e profundamente intemperizados, surgem na paisagem de encostas com declives suaves adjacentes, muitas vezes em condições severas de seca. Os *Acrisols*, solos ácidos e ricos em óxidos de ferro e alumínio, se estendem nos terraços dos vales fluviais. Por outro lado, os *Lixissols*

se encontram nos lugares onde têm ocorrido um intenso intemperismo tropical de material de origem menos ácido. Nos sedimentos aluviais ao longo dos vales fluviais se encontram os *Fluvisols* estratificados, *Gleysols* saturados de água e *Vertisols* ricos em argila. Ao longo da faixa costeira foram desenvolvidos os *Arenosols* de granulometria grossa e os *Podzols*. Na planície costeira ao sul de São Luís surgem vastas extensões de *Plinthosols* em que a *plintita* é formada como consequência do conteúdo de ferro na água subterrânea, por um processo de endurecimento e secagem, formando concreções de ferro (*plintita*). Por outro lado, os *Acrisols* são solos ácidos com um alto teor de argila no subsolo e se desenvolvem nas superfícies planas. Por último, os *Planosols* são solos que apresentam uma mudança acentuada na textura, como resultado de alterações na sedimentação que ocorre nos vales ou nos terraços.



# OCEANO PACÍFICO

**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal

Este mapa ilustra os solos do centro e sul do Peru, do noroeste de Bolívia e a parte ocidental do Brasil.

Os principais elementos físicos que surgem no mapa são a Cordilheira dos Andes, a extensão ocidental da bacia Amazônica e os desertos áridos da costa do Peru. Os Andes, paralelos à costa do Pacífico, separam uma estreita faixa costeira árida da parte mais úmida do continente até o leste. Existem outras serras separadas por mesetas e depressões: a Cordilheira Oriental e a Cordilheira Ocidental. A primeira se estende para o leste formando serras isoladas ou regiões de altiplanos, como o Altiplano. Muitas das montanhas da região central do Peru estão cobertas de neve, atingindo uma altitude máxima de 6.768 m. A parte sudoeste do mapa se caracteriza por um planalto entre 4.000 e 5.000 m de altitude, cercada por cumes muito altos. Os sopés dos Andes ocidentais fundem-se com as terras baixas florestadas da bacia Amazônica. Localizado a 3.810 m, na fronteira peruana-boliviana, o lago *Titicaca* se destaca como o maior lago da América do Sul, possuindo uma área de 8.300 km<sup>2</sup>. As condições áridas estão presentes principalmente na planície costeira (por exemplo no deserto de Nazca).

Ao norte do Trópico de Capricórnio, a zona oriental do território possui um clima quente equatorial subúmido ou úmido, dependendo

da região, com pequenas variações sazonais de temperatura.

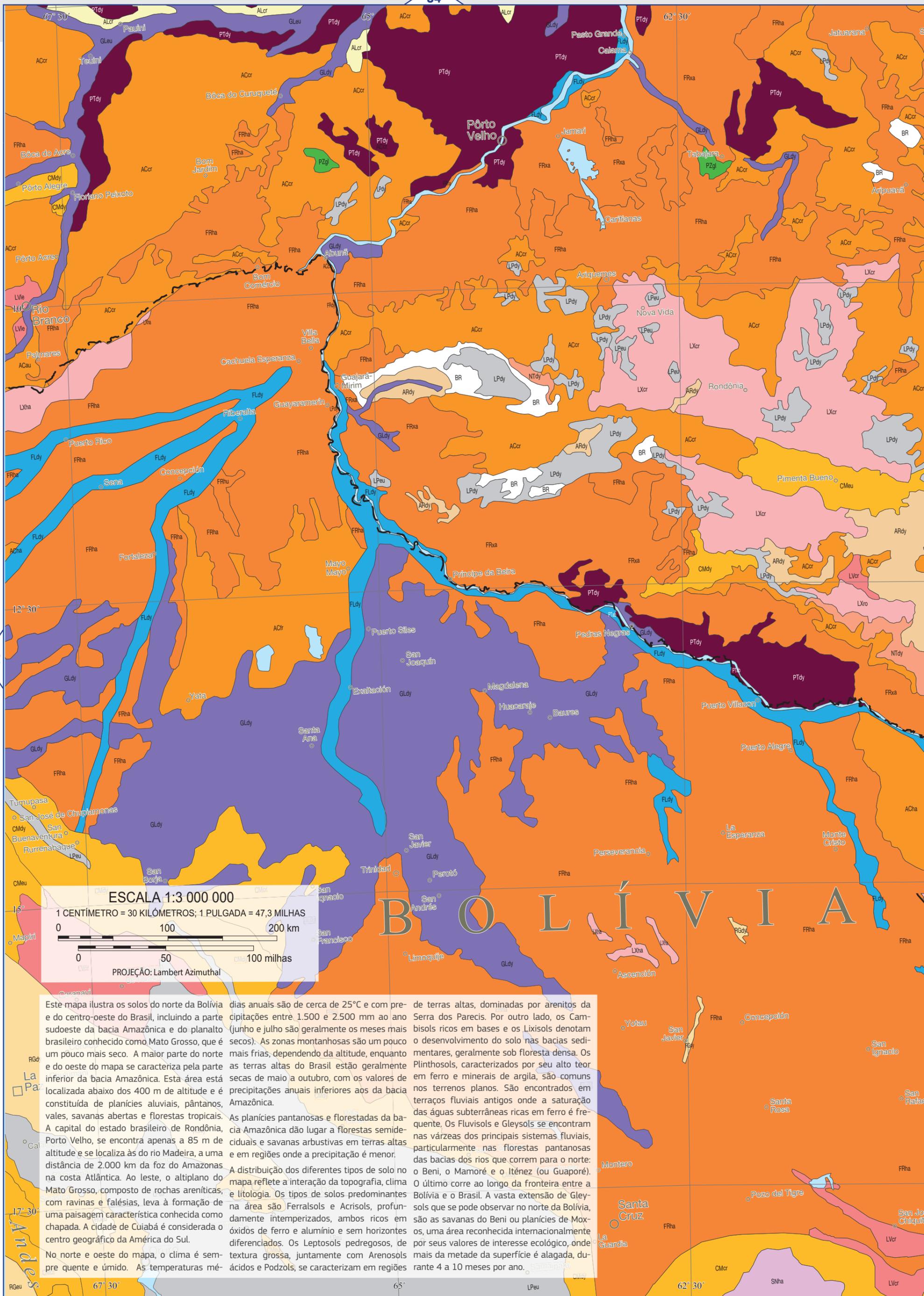
Esta diminui com a altitude e com os processos de convecção que ocorrem nas partes mais elevadas dos Andes. A temperatura média diária varia entre 21 e 30°C na Amazônia, diminuindo com o aumento em altitude. A capital boliviana de La Paz, localizada a 3.640 m de altitude, apresenta uma temperatura média anual de cerca de 9°C. As temperaturas na costa do Pacífico não são elevadas, devido ao efeito das correntes oceânicas, apesar de tratar-se de um deserto (as temperaturas em Lima raramente caem abaixo dos 12 °C ou sobem acima dos 29 °C). Nos cumes mais altos, as geadas são comuns e muitos picos ficam permanentemente cobertos de neve (acima dos 5.000 m de altitude). As partes centrais e orientais do mapa são muito úmidas; a parte amazônica dos Andes recebe mais de 7.000 mm de água em forma de precipitação anual. Não obstante, os Andes ocidentais e a zona costeira do Peru apresentam condições áridas, com menos de 150 mm de precipitação anual (Lima registra apenas cerca de 15 mm).

Os padrões de vegetação refletem as diferenças climáticas mencionadas acima. Nas áreas mais elevadas a vegetação é de tundra (de porte arbustivo, adaptadas ao frio e aos ventos fortes). Ao oeste, as áreas costeiras e de montanha apresentam uma vegetação muito escassa ou inexistente, ou

então, arbustos tolerantes à seca e plantas herbáceas. Ao leste, a floresta tropical é o ecossistema dominante. Nas bacias das terras altas e dos vales, o clima mais ameno favorece a agricultura intensiva, embora exija irrigação regular.

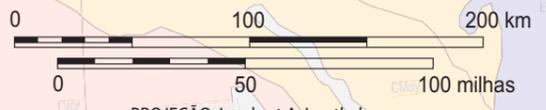
O padrão variado de solos presentes é o resultado da grande variação de zonas climáticas, tipos de vegetação e litologia. A metade oriental do mapa reflete a combinação da topografia montanhosa e do clima árido. O intemperismo físico das rochas leva à formação dos Leptosols, Cambisols e Regosols pouco desenvolvidos pedregosos. Os extensos salares (Solonchaks) localizados ao sul do Peru representam o extremo norte do deserto de Atacama. Entre as cadeias de montanhas, os grandes vales aluviais e as bacias coluviais, se formam os Kastanozems ricos em matéria orgânica. Ao leste, as condições climáticas quentes e úmidas das florestas tropicais favorecem o intemperismo intenso, resultando na formação de Ferralsols ácidos, Acrisols e Cambisols (este último tipo predomina nos contrafortes da Cordilheira dos Andes) com altos níveis de óxido de alumínio. Os Acrisols e os Luvisols denotam subsolos ricos em argila. Por outro lado, os Fluvisols e Gleysols são solos afetados pela água nas várzeas dos grandes rios como o Ucayali (que flui para o norte do mapa) e os numerosos afluentes dos rios Purús e Madeira que correm para o leste da bacia Amazônica.





ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

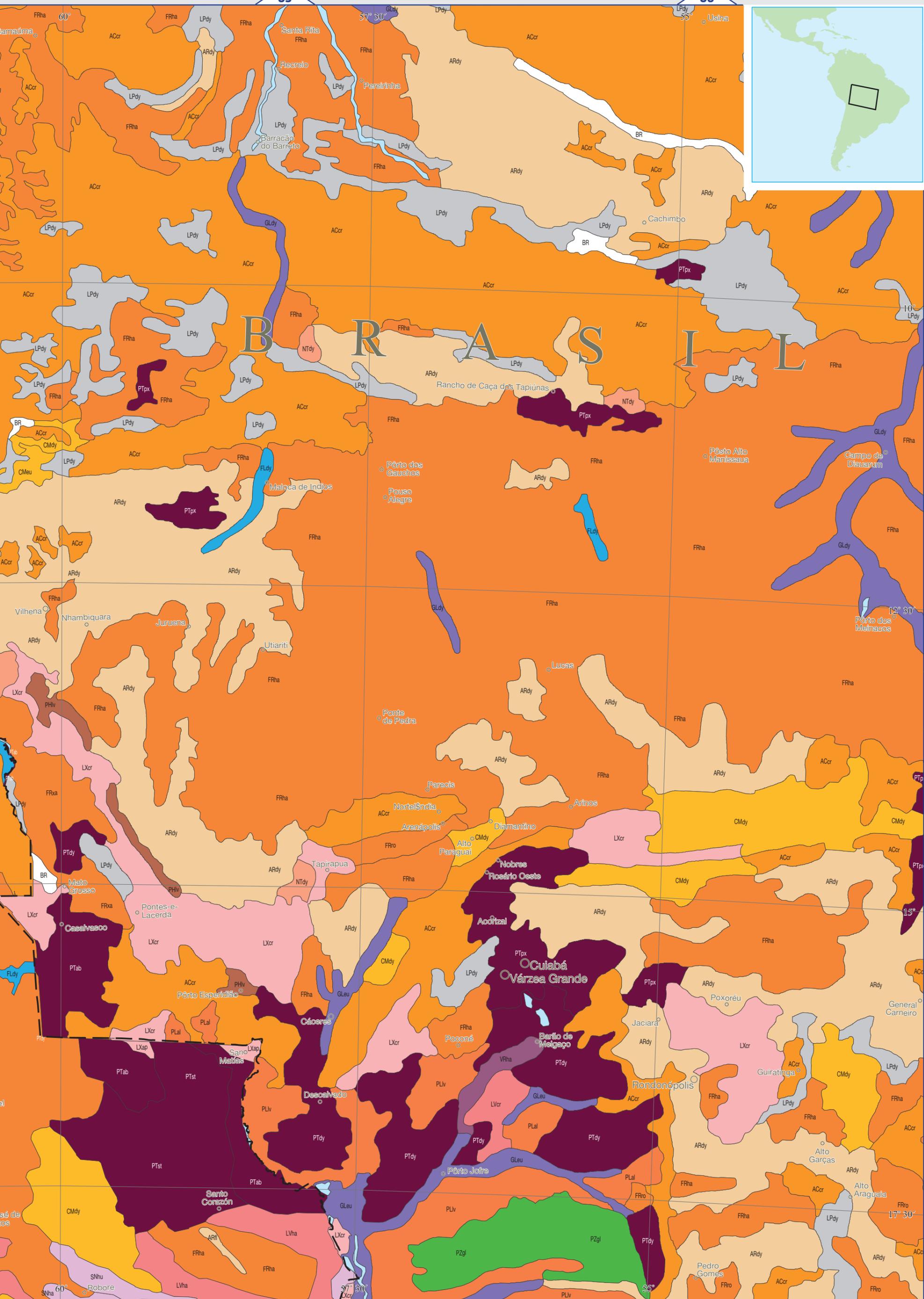


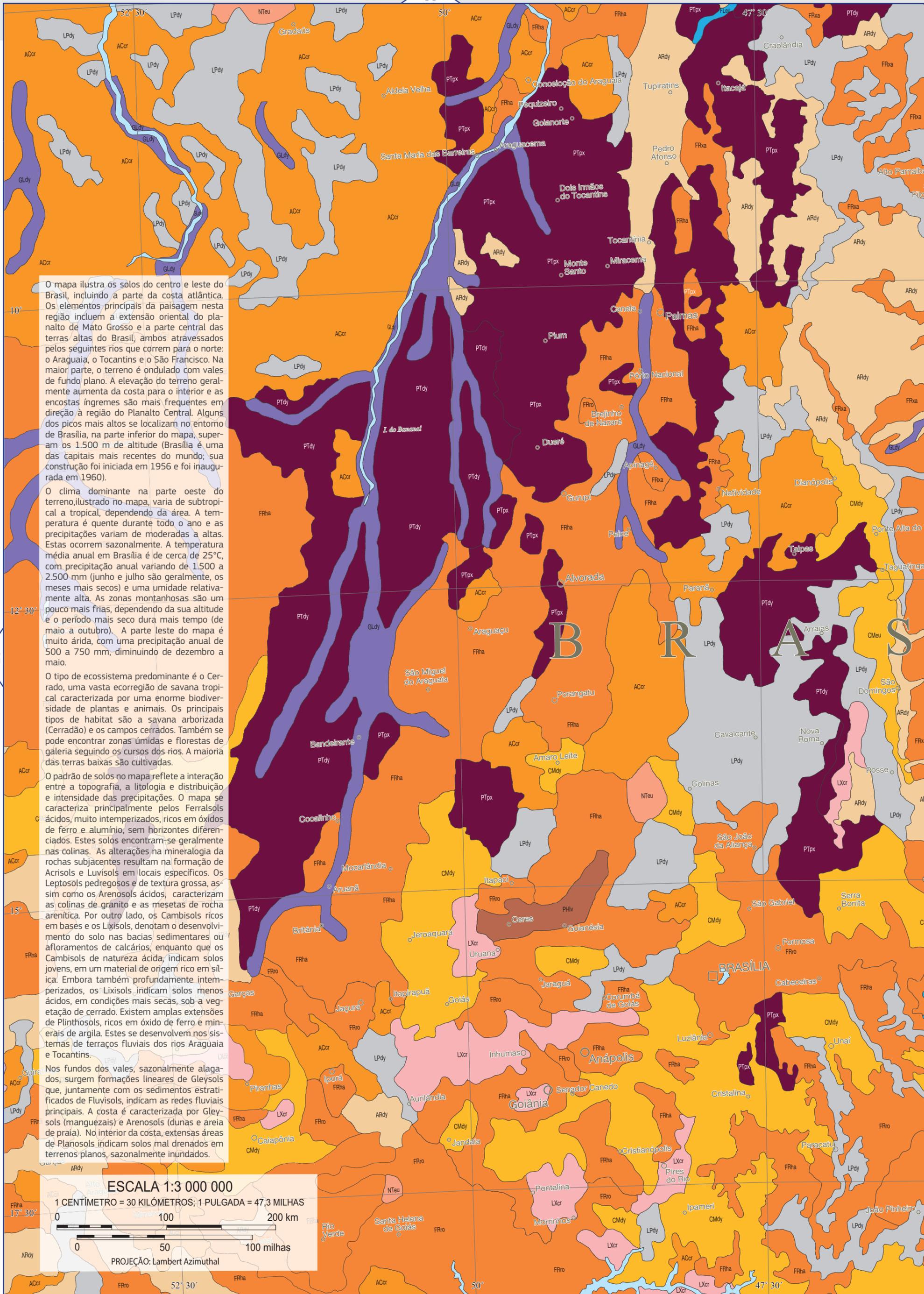
PROJEÇÃO: Lambert Azimutal

Este mapa ilustra os solos do norte da Bolívia e do centro-oeste do Brasil, incluindo a parte sudoeste da bacia Amazônica e do planalto brasileiro conhecido como Mato Grosso, que é um pouco mais seco. A maior parte do norte e do oeste do mapa se caracteriza pela parte inferior da bacia Amazônica. Esta área está localizada abaixo dos 400 m de altitude e é constituída de planícies aluviais, pântanos, vales, savanas abertas e florestas tropicais. A capital do estado brasileiro de Rondônia, Porto Velho, se encontra apenas a 85 m de altitude e se localiza às do rio Madeira, a uma distância de 2.000 km da foz do Amazonas na costa Atlântica. Ao leste, o altiplano do Mato Grosso, composto de rochas areníticas, com ravinas e falésias, leva à formação de uma paisagem característica conhecida como chapada. A cidade de Cuiabá é considerada o centro geográfico da América do Sul. No norte e oeste do mapa, o clima é sempre quente e úmido. As temperaturas mé-

dias anuais são de cerca de 25°C e com precipitações entre 1.500 e 2.500 mm ao ano (junho e julho são geralmente os meses mais secos). As zonas montanhosas são um pouco mais frias, dependendo da altitude, enquanto as terras altas do Brasil estão geralmente secas de maio a outubro, com os valores de precipitações anuais inferiores aos da bacia Amazônica. As planícies pantanosas e florestadas da bacia Amazônica dão lugar a florestas semidecíduais e savanas arbustivas em terras altas e em regiões onde a precipitação é menor. A distribuição dos diferentes tipos de solo no mapa reflete a interação da topografia, clima e litologia. Os tipos de solos predominantes na área são Ferralsols e Acrisols, profundamente intemperizados, ambos ricos em óxidos de ferro e alumínio e sem horizontes diferenciados. Os Leptosols pedregosos, de textura grossa, juntamente com Arenosols ácidos e Podzols, se caracterizam em regiões

de terras altas, dominadas por arenitos da Serra dos Parecis. Por outro lado, os Cambisols ricos em bases e os Lixisols denotam o desenvolvimento do solo nas bacias sedimentares, geralmente sob floresta densa. Os Plinthosols, caracterizados por seu alto teor em ferro e minerais de argila, são comuns nos terrenos planos. São encontrados em terraços fluviais antigos onde a saturação das águas subterrâneas ricas em ferro é frequente. Os Fluvisols e Gleysols se encontram nas várzeas dos principais sistemas fluviais, particularmente nas florestas pantanosas das bacias dos rios que correm para o norte: o Beni, o Mamoré e o Iténez (ou Guaporé). O último corre ao longo da fronteira entre a Bolívia e o Brasil. A vasta extensão de Gleysols que se pode observar no norte da Bolívia, são as savanas do Beni ou planícies de Moxos, uma área reconhecida internacionalmente por seus valores de interesse ecológico, onde mais da metade da superfície é alagada, durante 4 a 10 meses por ano.





O mapa ilustra os solos do centro e leste do Brasil, incluindo a parte da costa atlântica. Os elementos principais da paisagem nesta região incluem a extensão oriental do planalto de Mato Grosso e a parte central das terras altas do Brasil, ambos atravessados pelos seguintes rios que correm para o norte: o Araguaia, o Tocantins e o São Francisco. Na maior parte, o terreno é ondulado com vales de fundo plano. A elevação do terreno geralmente aumenta da costa para o interior e as encostas íngremes são mais frequentes em direção à região do Planalto Central. Alguns dos picos mais altos se localizam no entorno de Brasília, na parte inferior do mapa, superam os 1.500 m de altitude (Brasília é uma das capitais mais recentes do mundo; sua construção foi iniciada em 1956 e foi inaugurada em 1960).

O clima dominante na parte oeste do terreno, ilustrado no mapa, varia de subtropical a tropical, dependendo da área. A temperatura é quente durante todo o ano e as precipitações variam de moderadas a altas. Estas ocorrem sazonalmente. A temperatura média anual em Brasília é de cerca de 25°C, com precipitação anual variando de 1.500 a 2.500 mm (junho e julho são geralmente, os meses mais secos) e uma umidade relativamente alta. As zonas montanhosas são um pouco mais frias, dependendo da sua altitude e o período mais seco dura mais tempo (de maio a outubro). A parte leste do mapa é muito árida, com uma precipitação anual de 500 a 750 mm, diminuindo de dezembro a maio.

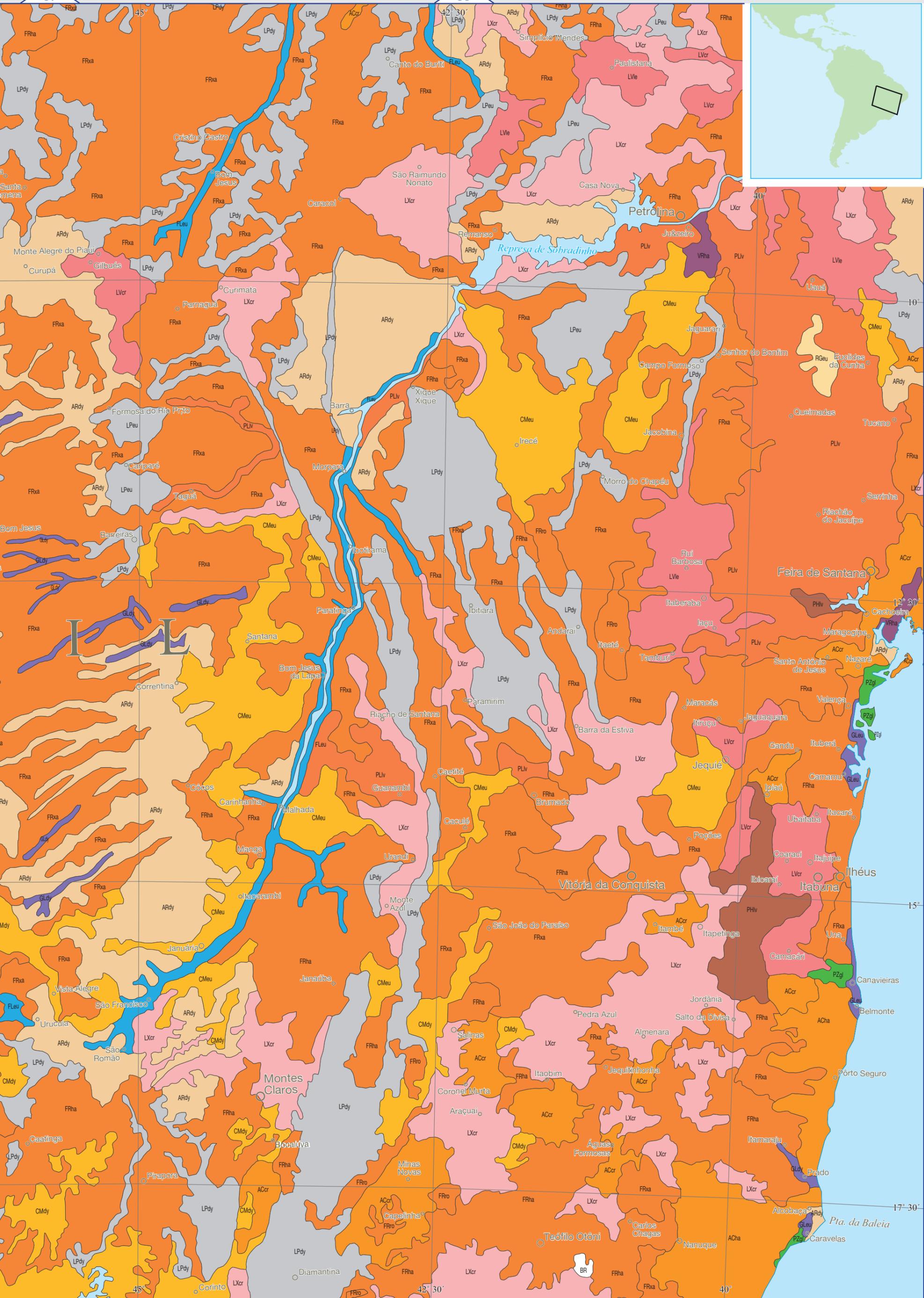
O tipo de ecossistema predominante é o Cerrado, uma vasta ecorregião de savana tropical caracterizada por uma enorme biodiversidade de plantas e animais. Os principais tipos de habitat são a savana arborizada (Cerradão) e os campos cerrados. Também se pode encontrar zonas úmidas e florestas de galeria seguindo os cursos dos rios. A maioria das terras baixas são cultivadas.

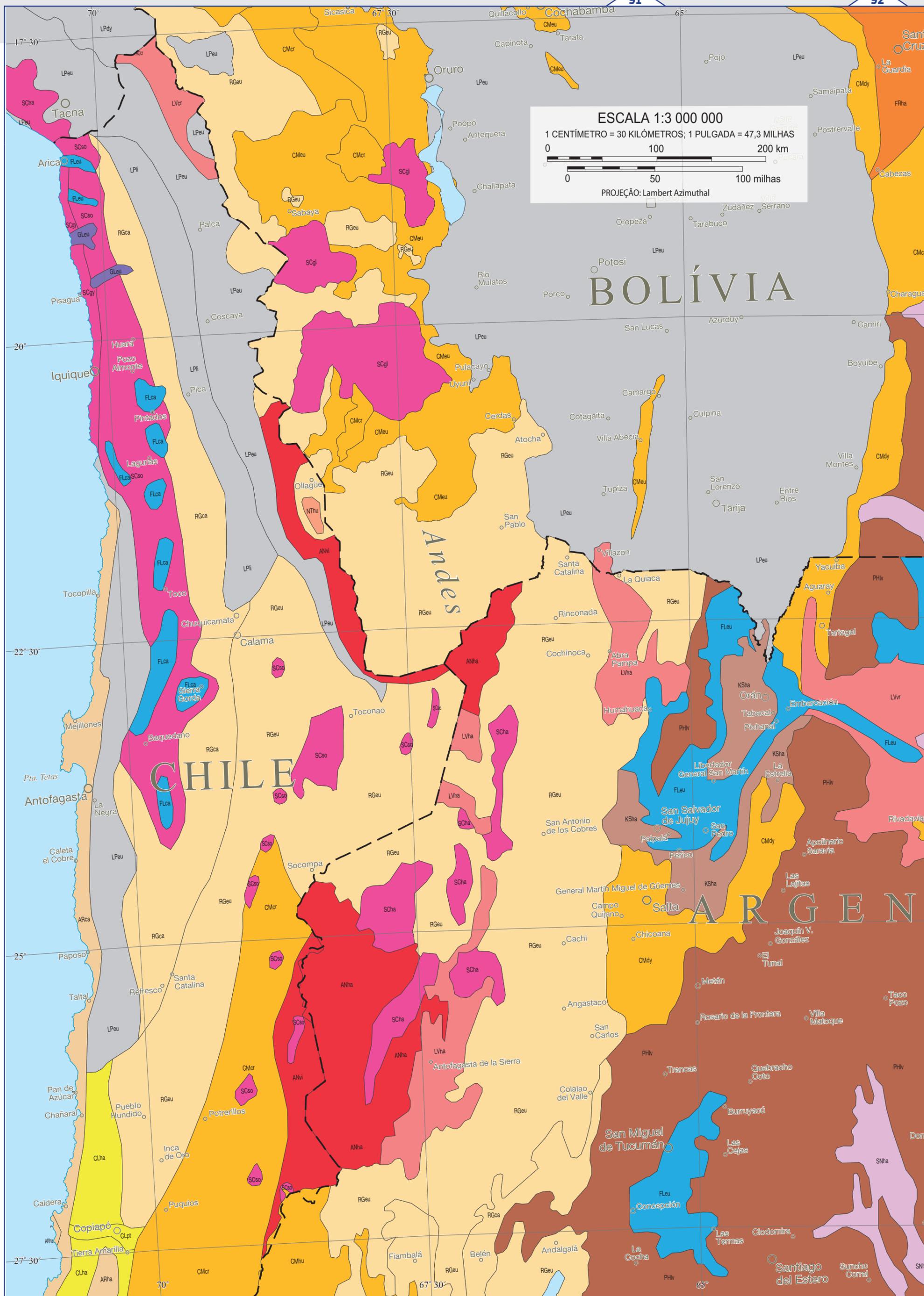
O padrão de solos no mapa reflete a interação entre a topografia, a litologia e distribuição e intensidade das precipitações. O mapa se caracteriza principalmente pelos Ferrisols ácidos, muito intemperizados, ricos em óxidos de ferro e alumínio, sem horizontes diferenciados. Estes solos encontram-se geralmente nas colinas. As alterações na mineralogia da rochas subjacentes resultam na formação de Acrisols e Luvisols em locais específicos. Os Leptosols pedregosos e de textura grossa, assim como os Arenosols ácidos, caracterizam as colinas de granito e as mesetas de rocha arenítica. Por outro lado, os Cambisols ricos em bases e os Lixisols, denotam o desenvolvimento do solo nas bacias sedimentares ou afloramentos de calcários, enquanto que os Cambisols de natureza ácida, indicam solos jovens, em um material de origem rico em sílica. Embora também profundamente intemperizados, os Lixisols indicam solos menos ácidos, em condições mais secas, sob a vegetação de cerrado. Existem amplas extensões de Plinthosols, ricos em óxido de ferro e minerais de argila. Estes se desenvolvem nos sistemas de terraços fluviais dos rios Araguaia e Tocantins.

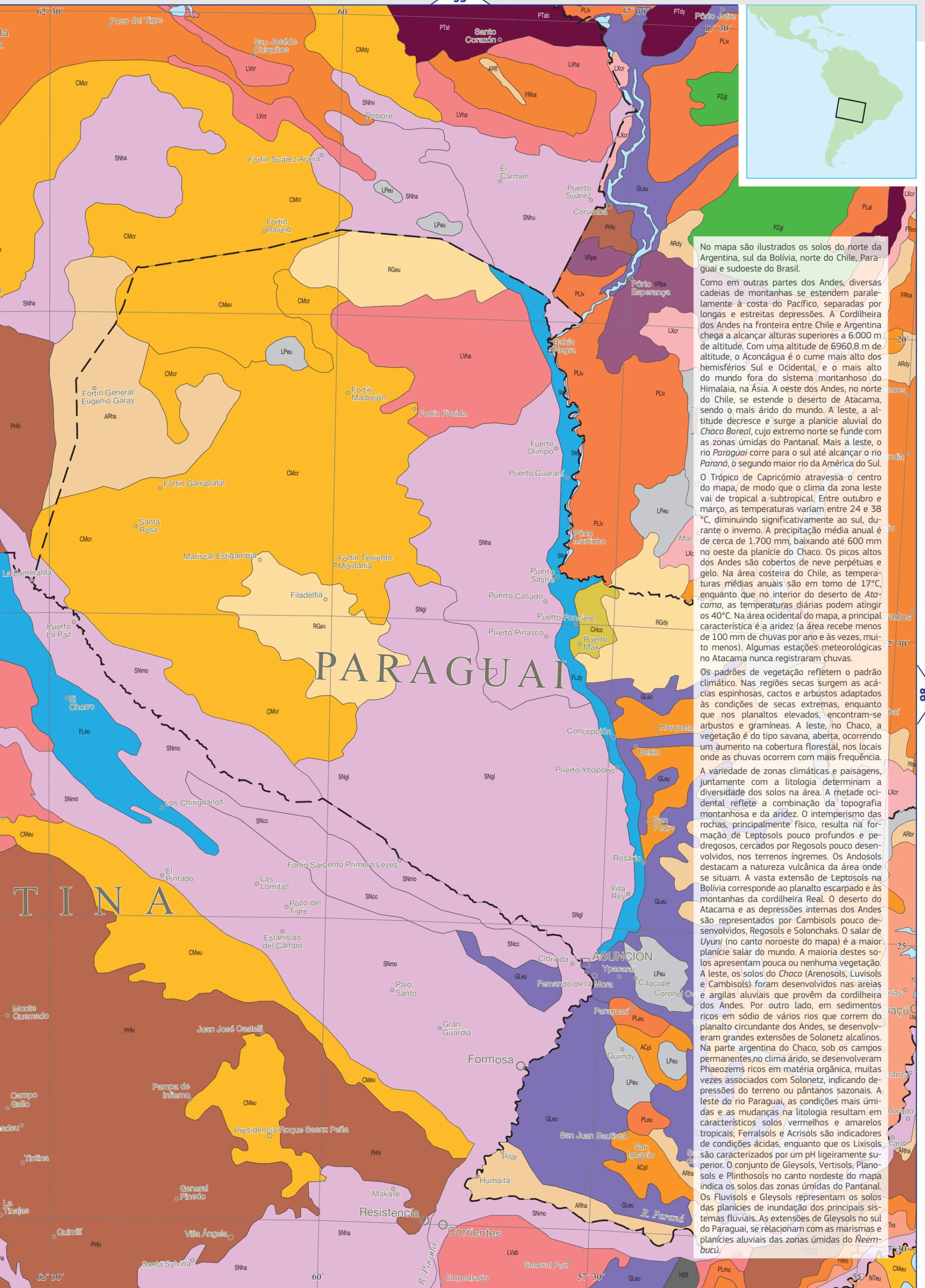
Nos fundos dos vales, sazonalmente alagados, surgem formações lineares de Gleysols que, juntamente com os sedimentos estratificados de Fluvisols, indicam as redes fluviais principais. A costa é caracterizada por Gleysols (manguezais) e Arenosols (dunas e areia de praia). No interior da costa, extensas áreas de Planosols indicam solos mal drenados em terrenos planos, sazonalmente inundados.

**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÔMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal







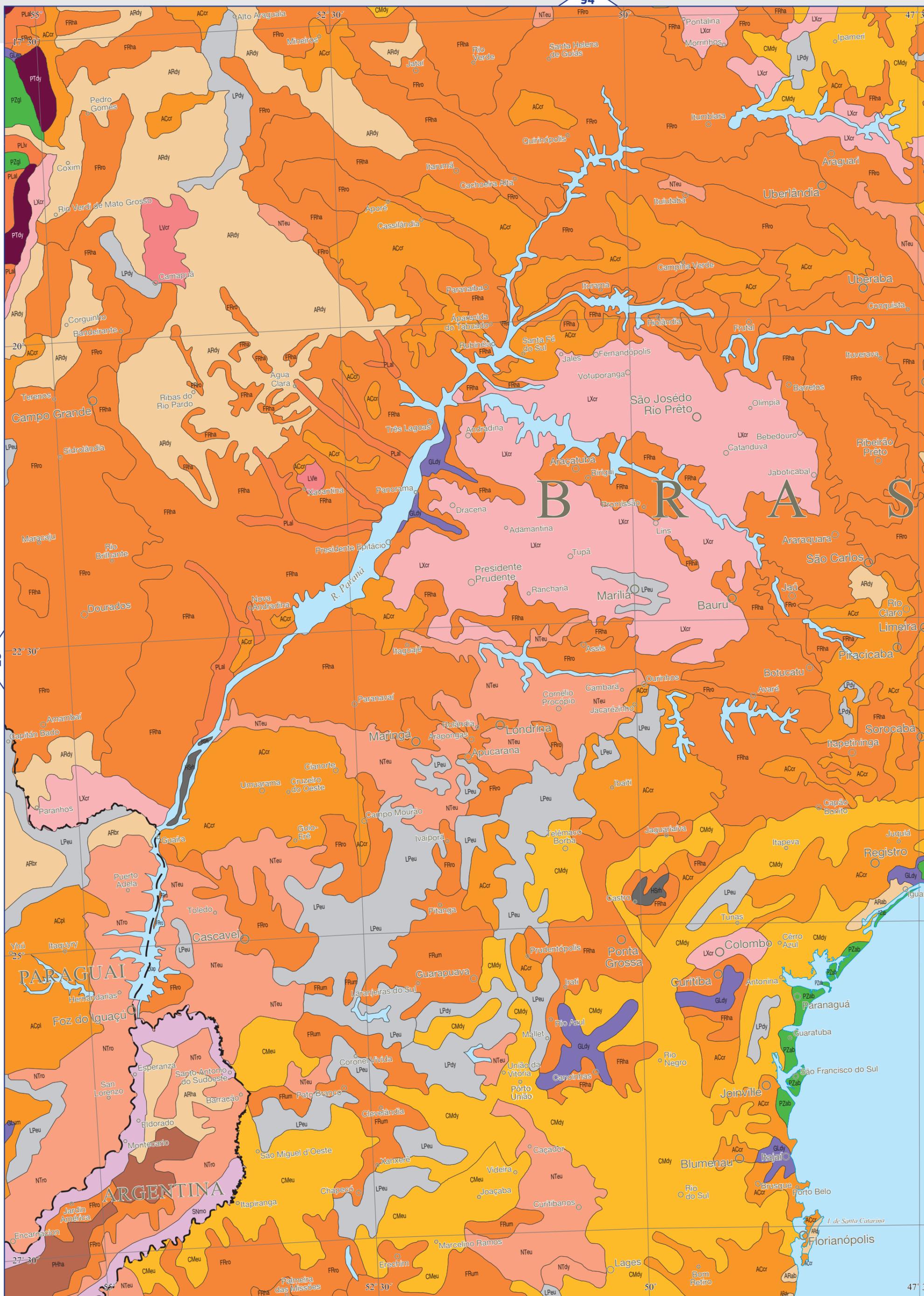
No mapa são ilustrados os solos do norte da Argentina, sul da Bolívia, norte do Chile, Paraguai e sudoeste do Brasil.

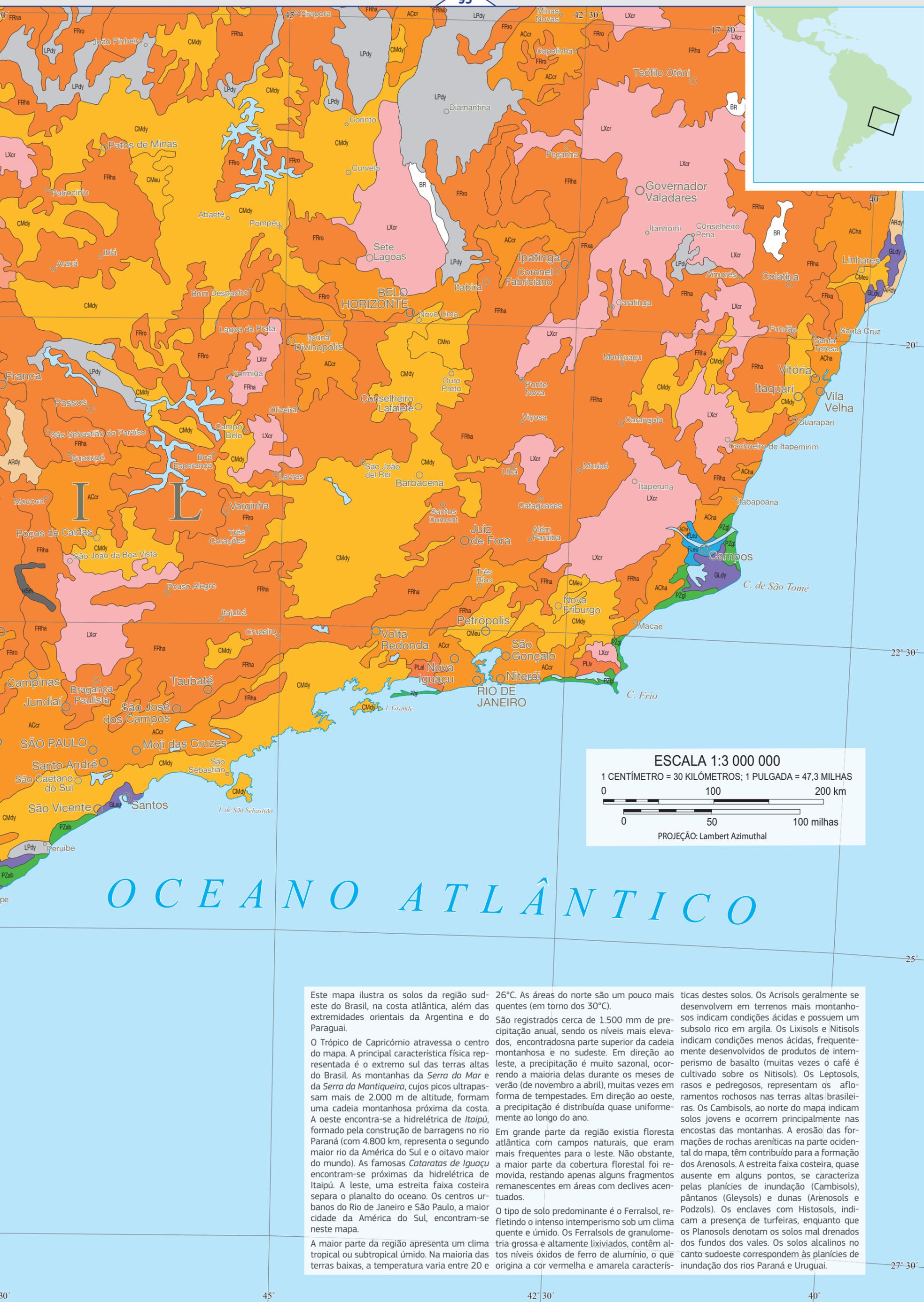
Como em outras partes dos Andes, diversas cadeias de montanhas se estendem paralelamente à costa do Pacífico, separadas por longas e estreitas depressões. A Cordilheira dos Andes na fronteira entre Chile e Argentina chega a alcançar alturas superiores a 6.000 m de altitude. Com uma altitude de 6960,8 m de altitude, o Aconcágua é o cumé mais alto dos hemisférios Sul e Ocidental, e o mais alto do mundo fora do sistema montanhoso do Himalaia, na Ásia. A oeste dos Andes, no norte do Chile, se estende o deserto de Atacama, sendo o mais árido do mundo. A leste, a altitude decresce e surge a planície aluvial do *Chaco Boreal*, cujo extremo norte se funde com as zonas úmidas do Pantanal. Mais a leste, o rio *Paraguai* corre para o sul até alcançar o rio *Paraná*, o segundo maior rio da América do Sul.

O Trópico de Capricórnio atravessa o centro do mapa, de modo que o clima da zona leste vai de tropical a subtropical. Entre outubro e março, as temperaturas variam entre 24 e 38 °C, diminuindo significativamente ao sul, durante o inverno. A precipitação média anual é de cerca de 1.700 mm, baixando até 600 mm no oeste da planície do Chaco. Os picos altos dos Andes são cobertos de neve perpétuas e gelo. Na área costeira do Chile, as temperaturas médias anuais são em torno de 17°C, enquanto que no interior do deserto de *Atacama*, as temperaturas diárias podem atingir os 40°C. Na área ocidental do mapa, a principal característica é a aridez (a área recebe menos de 100 mm de chuvas por ano e às vezes, muito menos). Algumas estações meteorológicas no Atacama nunca registraram chuvas.

Os padrões de vegetação refletem o padrão climático. Nas regiões secas surgem as acácias espinhosas, cactos e arbustos adaptados às condições de secas extremas, enquanto que nos planaltos elevados, encontram-se arbustos e gramíneas. A leste, no Chaco, a vegetação é do tipo savana, aberta, ocorrendo um aumento na cobertura florestal, nos locais onde as chuvas ocorrem com mais frequência.

A variedade de zonas climáticas e paisagens, juntamente com a litologia determinam a diversidade dos solos na área. A metade ocidental reflete a combinação da topografia montanhosa e da aridez. O intemperismo das rochas, principalmente físico, resulta na formação de Leptosols pouco profundos e pedregosos, cercados por Regosols pouco desenvolvidos, nos terrenos íngremes. Os Andosols destacam a natureza vulcânica da área onde se situam. A vasta extensão de Leptosols na Bolívia corresponde ao planalto escarpado e às montanhas da cordilheira Real. O deserto do Atacama e as depressões internas dos Andes são representados por Cambisols pouco desenvolvidos, Regosols e Solonchaks. O salar de *Uyuni* (no canto noroeste do mapa) é a maior planície salar do mundo. A maioria destes solos apresentam pouca ou nenhuma vegetação. A leste, os solos do *Chaco* (Arenosols, Luvisols e Cambisols) foram desenvolvidos nas areias e argilas aluviais que provêm da cordilheira dos Andes. Por outro lado, em sedimentos ricos em sódio de vários rios que correm do planalto circundante dos Andes, se desenvolveram grandes extensões de Solonetz alcalinos. Na parte argentina do Chaco, sob os campos permanentes, no clima árido, se desenvolveram Phaeozems ricos em matéria orgânica, muitas vezes associados com Solonetz, indicando depressões do terreno ou pântanos sazonais. A leste do rio Paraguai, as condições mais úmidas e as mudanças na litologia resultam em característicos solos vermelhos e amarelos tropicais; Ferralsols e Acrisols são indicadores de condições ácidas, enquanto que os Lixisols são caracterizados por um pH ligeiramente superior. O conjunto de Gleysols, Vertisols, Planosols e Plinthosols no canto nordeste do mapa indica os solos das zonas úmidas do Pantanal. Os Fluvisols e Gleysols representam os solos das planícies de inundação dos principais sistemas fluviais. As extensões de Gleysols no sul do Paraguai, se relacionam com as marismas e planícies aluviais das zonas úmidas do *Neembucú*.





ESCALA 1:3 000 000

1 CENTÍMETRO = 30 KILÔMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

0 100 200 km

0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal

## OCEANO ATLÂNTICO

Este mapa ilustra os solos da região sudeste do Brasil, na costa atlântica, além das extremidades orientais da Argentina e do Paraguai.

O Trópico de Capricórnio atravessa o centro do mapa. A principal característica física representada é o extremo sul das terras altas do Brasil. As montanhas da *Serra do Mar* e da *Serra da Mantiqueira*, cujos picos ultrapassam mais de 2.000 m de altitude, formam uma cadeia montanhosa próxima da costa. A oeste encontra-se a hidrelétrica de *Itaipú*, formado pela construção de barragens no rio Paraná (com 4.800 km, representa o segundo maior rio da América do Sul e o oitavo maior do mundo). As famosas *Cataratas de Iguaçu* encontram-se próximas da hidrelétrica de *Itaipú*. A leste, uma estreita faixa costeira separa o planalto do oceano. Os centros urbanos do Rio de Janeiro e São Paulo, a maior cidade da América do Sul, encontram-se neste mapa.

A maior parte da região apresenta um clima tropical ou subtropical úmido. Na maioria das terras baixas, a temperatura varia entre 20 e

26°C. As áreas do norte são um pouco mais quentes (em torno dos 30°C).

São registrados cerca de 1.500 mm de precipitação anual, sendo os níveis mais elevados, encontrados na parte superior da cadeia montanhosa e no sudeste. Em direção ao leste, a precipitação é muito sazonal, ocorrendo a maioria delas durante os meses de verão (de novembro a abril), muitas vezes em forma de tempestades. Em direção ao oeste, a precipitação é distribuída quase uniformemente ao longo do ano.

Em grande parte da região existia floresta atlântica com campos naturais, que eram mais frequentes para o leste. Não obstante, a maior parte da cobertura florestal foi removida, restando apenas alguns fragmentos remanescentes em áreas com declives acentuados.

O tipo de solo predominante é o Ferralsol, refletindo o intenso intemperismo sob um clima quente e úmido. Os Ferralsols de granulometria grossa e altamente lixiviados, contêm altos níveis óxidos de ferro de alumínio, o que origina a cor vermelha e amarela caracterís-

ticas destes solos. Os Acrisols geralmente se desenvolvem em terrenos mais montanhosos indicam condições ácidas e possuem um subsolo rico em argila. Os Lixisols e Nitisols indicam condições menos ácidas, frequentemente desenvolvidos de produtos de intemperismo de basalto (muitas vezes o café é cultivado sobre os Nitisols). Os Leptosols, rasos e pedregosos, representam os afloramentos rochosos nas terras altas brasileiras. Os Cambisols, ao norte do mapa indicam solos jovens e ocorrem principalmente nas encostas das montanhas. A erosão das formações de rochas areníticas na parte ocidental do mapa, têm contribuído para a formação dos Arenosols. A estreita faixa costeira, quase ausente em alguns pontos, se caracteriza pelas planícies de inundação (Cambisols), pântanos (Gleysols) e dunas (Arenosols e Podzols). Os enclaves com Histosols, indicam a presença de turfeiras, enquanto que os Planosols denotam os solos mal drenados dos fundos dos vales. Os solos alcalinos no canto sudoeste correspondem às planícies de inundação dos rios Paraná e Uruguai.



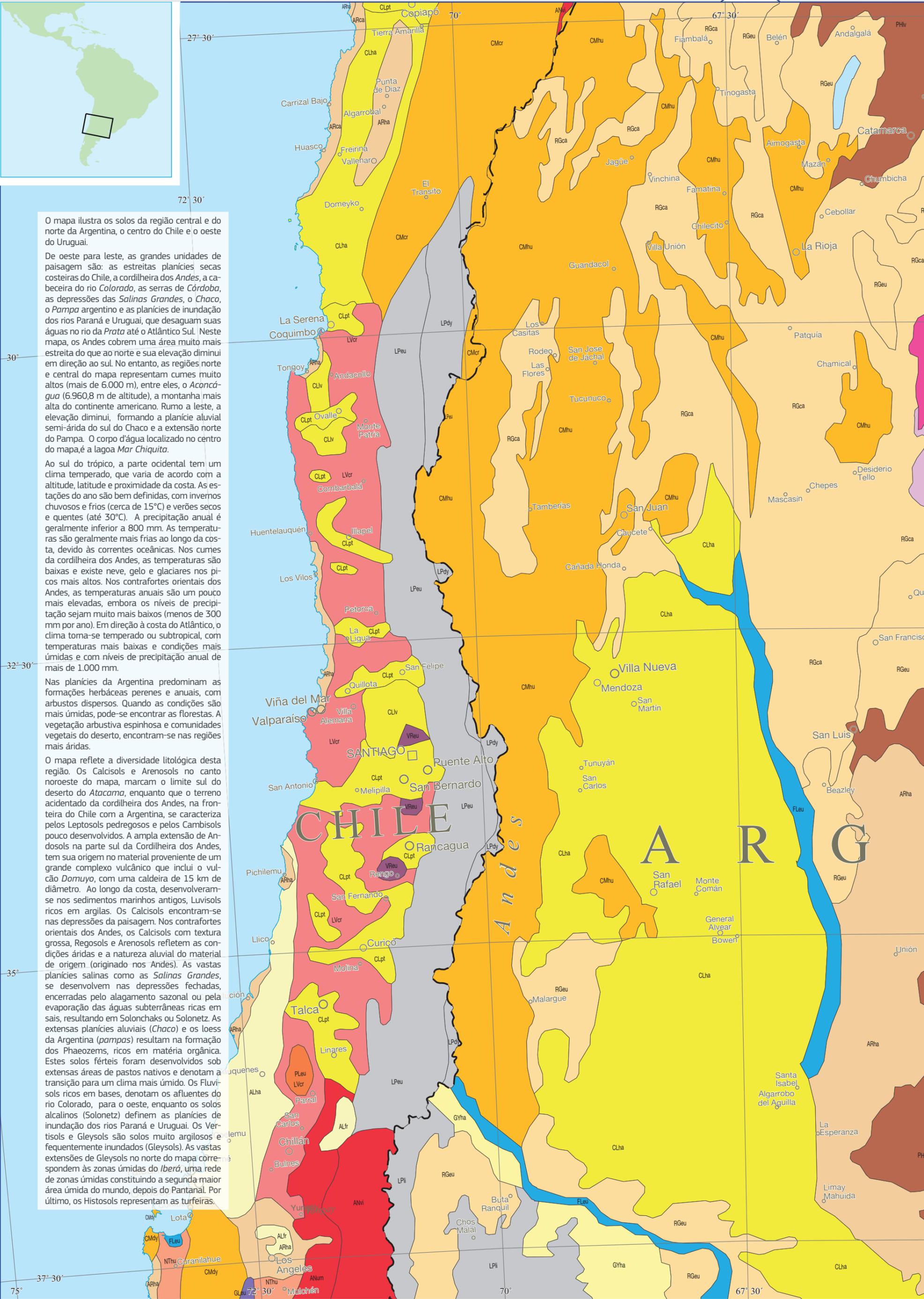
O mapa ilustra os solos da região central e do norte da Argentina, o centro do Chile e o oeste do Uruguai.

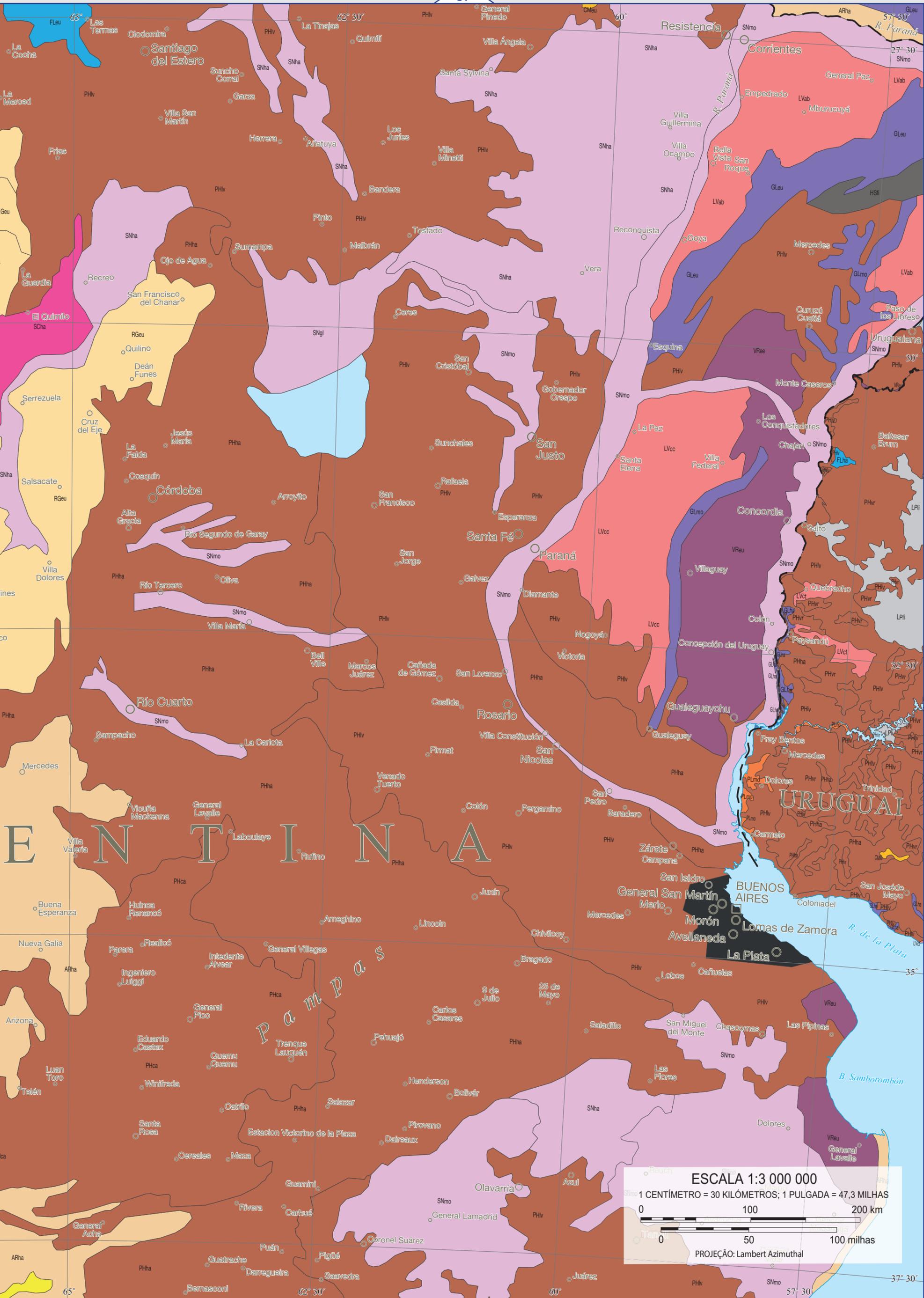
De oeste para leste, as grandes unidades de paisagem são: as estreitas planícies secas costeiras do Chile, a cordilheira dos Andes, a cabeceira do rio Colorado, as serras de Córdoba, as depressões das Salinas Grandes, o Chaco, o Pampa argentino e as planícies de inundação dos rios Paraná e Uruguai, que desaguam suas águas no rio da Prata até o Atlântico Sul. Neste mapa, os Andes cobrem uma área muito mais estreita do que ao norte e sua elevação diminui em direção ao sul. No entanto, as regiões norte e central do mapa representam cumes muito altos (mais de 6.000 m), entre eles, o Aconcagua (6.960,8 m de altitude), a montanha mais alta do continente americano. Rumo a leste, a elevação diminui, formando a planície aluvial semi-árida do sul do Chaco e a extensão norte do Pampa. O corpo d'água localizado no centro do mapa, é a lagoa Mar Chiquita.

Ao sul do trópico, a parte ocidental tem um clima temperado, que varia de acordo com a altitude, latitude e proximidade da costa. As estações do ano são bem definidas, com invernos chuvosos e frios (cerca de 15°C) e verões secos e quentes (até 30°C). A precipitação anual é geralmente inferior a 800 mm. As temperaturas são geralmente mais frias ao longo da costa, devido às correntes oceânicas. Nos cumes da cordilheira dos Andes, as temperaturas são baixas e existe neve, gelo e glaciares nos picos mais altos. Nos contrafortes orientais dos Andes, as temperaturas anuais são um pouco mais elevadas, embora os níveis de precipitação sejam muito mais baixos (menos de 300 mm por ano). Em direção à costa do Atlântico, o clima torna-se temperado ou subtropical, com temperaturas mais baixas e condições mais úmidas e com níveis de precipitação anual de mais de 1.000 mm.

Nas planícies da Argentina predominam as formações herbáceas perenes e anuais, com arbustos dispersos. Quando as condições são mais úmidas, pode-se encontrar as florestas. A vegetação arbustiva espinhosa e comunidades vegetais do deserto, encontram-se nas regiões mais áridas.

O mapa reflete a diversidade litológica desta região. Os Calcisols e Arenosols no canto noroeste do mapa, marcam o limite sul do deserto do Atacama, enquanto que o terreno acidentado da cordilheira dos Andes, na fronteira do Chile com a Argentina, se caracteriza pelos Leptosols pedregosos e pelos Cambisols pouco desenvolvidos. A ampla extensão de Andosols na parte sul da Cordilheira dos Andes, tem sua origem no material proveniente de um grande complexo vulcânico que inclui o vulcão Domuyo, com uma caldeira de 15 km de diâmetro. Ao longo da costa, desenvolveram-se nos sedimentos marinhos antigos, Luvisols ricos em argilas. Os Calcisols encontram-se nas depressões da paisagem. Nos contrafortes orientais dos Andes, os Calcisols com textura grossa, Regosols e Arenosols refletem as condições áridas e a natureza aluvial do material de origem (originado nos Andes). As vastas planícies salinas como as Salinas Grandes, se desenvolvem nas depressões fechadas, encerradas pelo alagamento sazonal ou pela evaporação das águas subterrâneas ricas em sais, resultando em Solonchaks ou Solonetz. As extensas planícies aluviais (Chaco) e os loess da Argentina (pampas) resultam na formação dos Phaeozems, ricos em matéria orgânica. Estes solos férteis foram desenvolvidos sob extensas áreas de pastos nativos e denotam a transição para um clima mais úmido. Os Fluvisols ricos em bases, denotam os afluentes do rio Colorado, para o oeste, enquanto os solos alcalinos (Solonetz) definem as planícies de inundação dos rios Paraná e Uruguai. Os Vertisols e Gleysols são solos muito argilosos e frequentemente inundados (Gleysols). As vastas extensões de Gleysols no norte do mapa correspondem às zonas úmidas do Iberá, uma rede de zonas úmidas constituindo a segunda maior área úmida do mundo, depois do Pantanal. Por último, os Histosols representam as turfeiras.

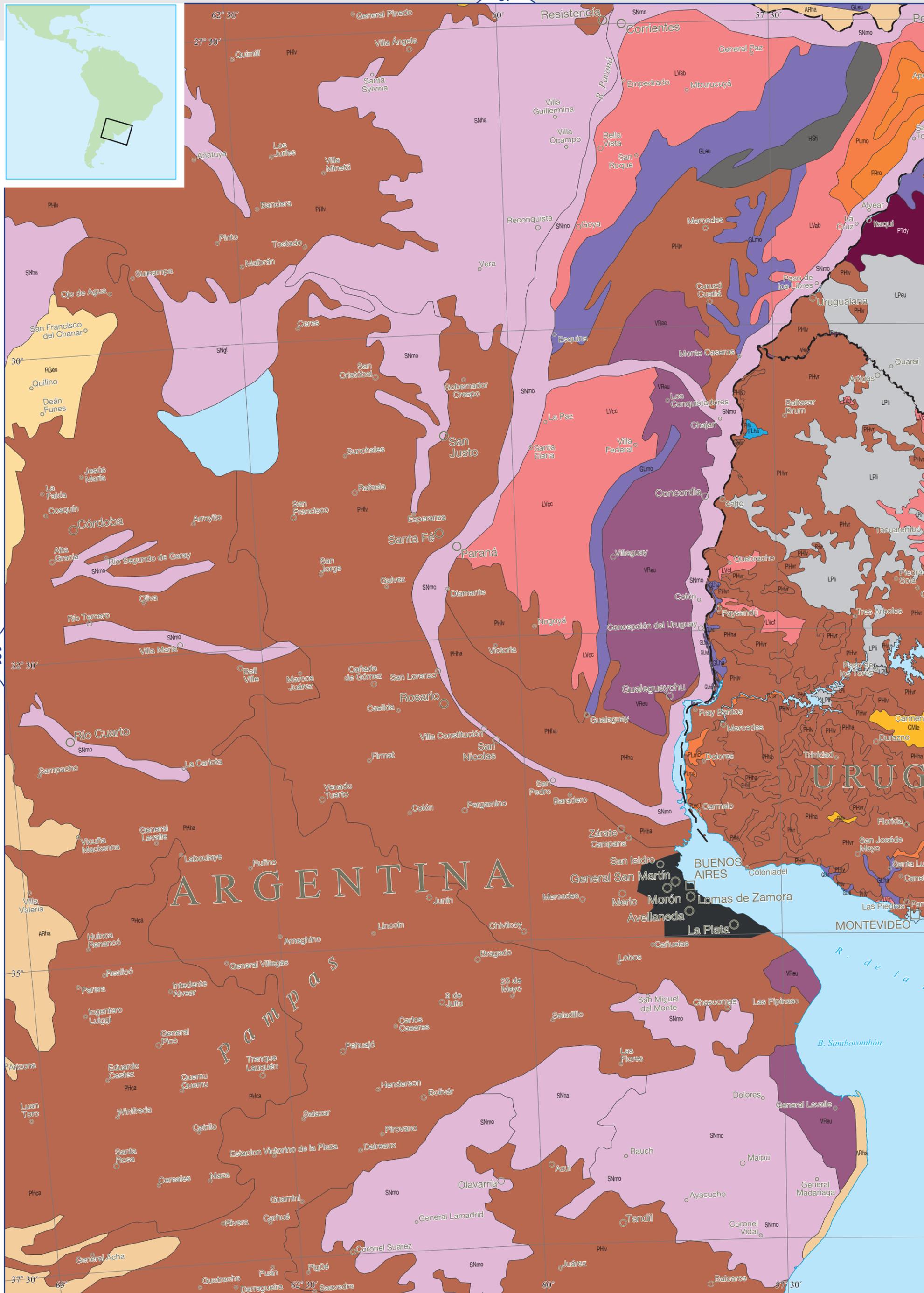


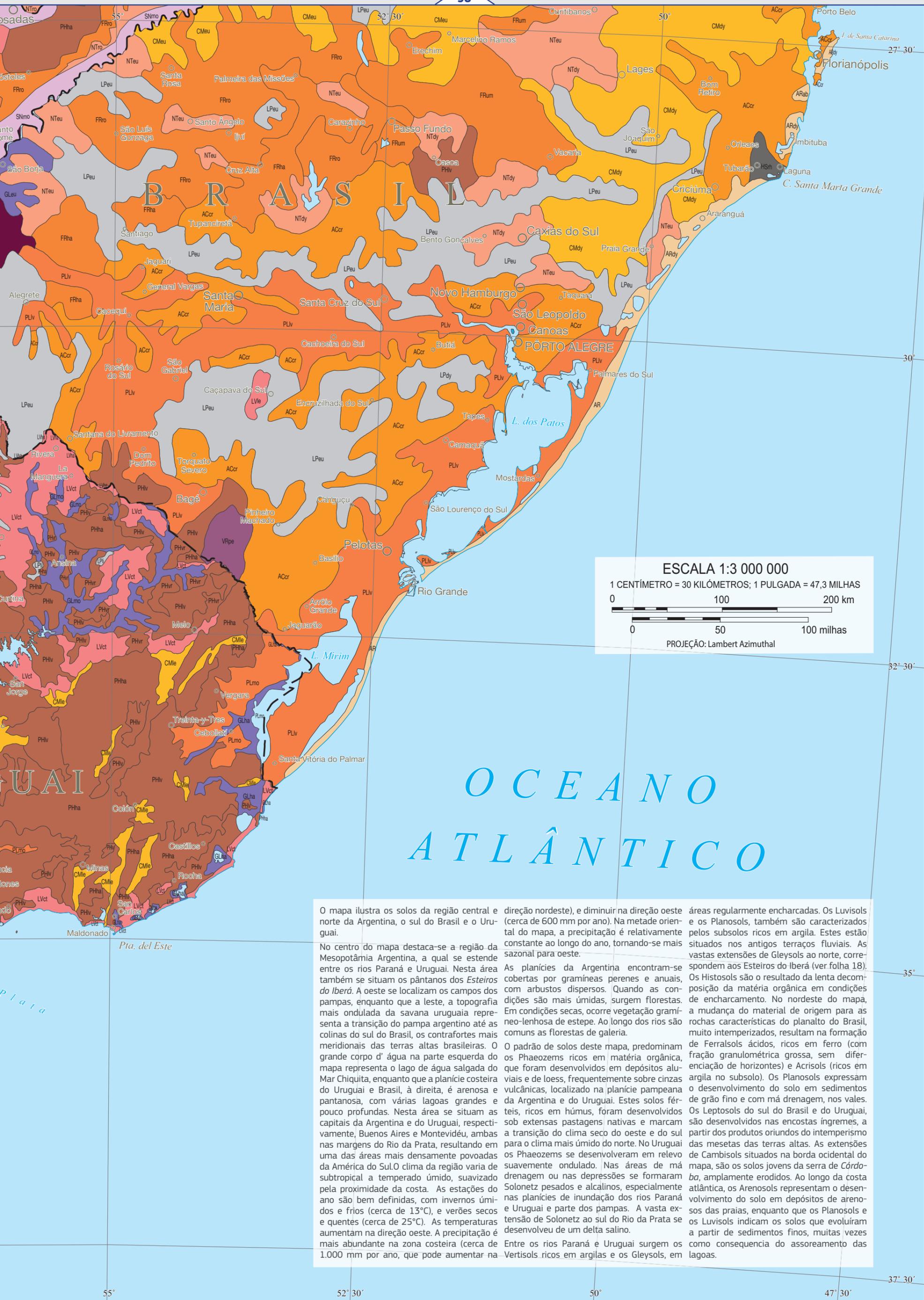


**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

0 100 200 km  
 0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimutal





O mapa ilustra os solos da região central e norte da Argentina, o sul do Brasil e o Uruguai.

No centro do mapa destaca-se a região da Mesopotâmia Argentina, a qual se estende entre os rios Paraná e Uruguai. Nesta área também se situam os pântanos dos *Esteros do Iberá*. A oeste se localizam os campos dos pampas, enquanto que a leste, a topografia mais ondulada da savana uruguia representa a transição do pampa argentino até as colinas do sul do Brasil, os contrafortes mais meridionais das terras altas brasileiras. O grande corpo d' água na parte esquerda do mapa representa o lago de água salgada do Mar Chiquita, enquanto que a planície costeira do Uruguai e Brasil, à direita, é arenosa e pantanosa, com várias lagoas grandes e pouco profundas. Nesta área se situam as capitais da Argentina e do Uruguai, respectivamente, Buenos Aires e Montevidéu, ambas nas margens do Rio da Prata, resultando em uma das áreas mais densamente povoadas da América do Sul. O clima da região varia de subtropical a temperado úmido, suavizado pela proximidade da costa. As estações do ano são bem definidas, com invernos úmidos e frios (cerca de 13°C), e verões secos e quentes (cerca de 25°C). As temperaturas aumentam na direção oeste. A precipitação é mais abundante na zona costeira (cerca de 1.000 mm por ano, que pode aumentar na

direção nordeste), e diminuir na direção oeste (cerca de 600 mm por ano). Na metade oriental do mapa, a precipitação é relativamente constante ao longo do ano, tornando-se mais sazonal para oeste.

As planícies da Argentina encontram-se cobertas por gramíneas perenes e anuais, com arbustos dispersos. Quando as condições são mais úmidas, surgem florestas. Em condições secas, ocorre vegetação gramíneo-lenhosa de estepe. Ao longo dos rios são comuns as florestas de galeria.

O padrão de solos deste mapa, predominam os Phaeozems ricos em matéria orgânica, que foram desenvolvidos em depósitos aluviais e de loess, frequentemente sobre cinzas vulcânicas, localizado na planície pampeana da Argentina e do Uruguai. Estes solos férteis, ricos em húmus, foram desenvolvidos sob extensas pastagens nativas e marcam a transição do clima seco do oeste e do sul para o clima mais úmido do norte. No Uruguai os Phaeozems se desenvolveram em relevo suavemente ondulado. Nas áreas de má drenagem ou nas depressões se formaram Solonetz pesados e alcalinos, especialmente nas planícies de inundação dos rios Paraná e Uruguai e parte dos pampas. A vasta extensão de Solonetz ao sul do Rio da Prata se desenvolveu de um delta salino.

Entre os rios Paraná e Uruguai surgem os Vertisols ricos em argilas e os Gleysols, em

áreas regularmente encharcadas. Os Luvisols e os Planosols, também são caracterizados pelos subsolos ricos em argila. Estes estão situados nos antigos terraços fluviais. As vastas extensões de Gleysols ao norte, correspondem aos *Esteros do Iberá* (ver folha 18). Os Histosols são o resultado da lenta decomposição da matéria orgânica em condições de encharcamento. No nordeste do mapa, a mudança do material de origem para as rochas características do planalto do Brasil, muito intemperizados, resultam na formação de Ferralsols ácidos, ricos em ferro (com fração granulométrica grossa, sem diferenciação de horizontes) e Acrisols (ricos em argila no subsolo). Os Planosols expressam o desenvolvimento do solo em sedimentos de grão fino e com má drenagem, nos vales. Os Leptosols do sul do Brasil e do Uruguai, são desenvolvidos nas encostas íngremes, a partir dos produtos oriundos do intemperismo das mesetas das terras altas. As extensões de Cambisols situados na borda ocidental do mapa, são os solos jovens da serra de *Córdoba*, amplamente erodidos. Ao longo da costa atlântica, os Arenosols representam o desenvolvimento do solo em depósitos de arenosos das praias, enquanto que os Planosols e os Luvisols indicam os solos que evoluíram a partir de sedimentos finos, muitas vezes como consequência do assoreamento das lagoas.





# OCEANO ATLÂNTICO

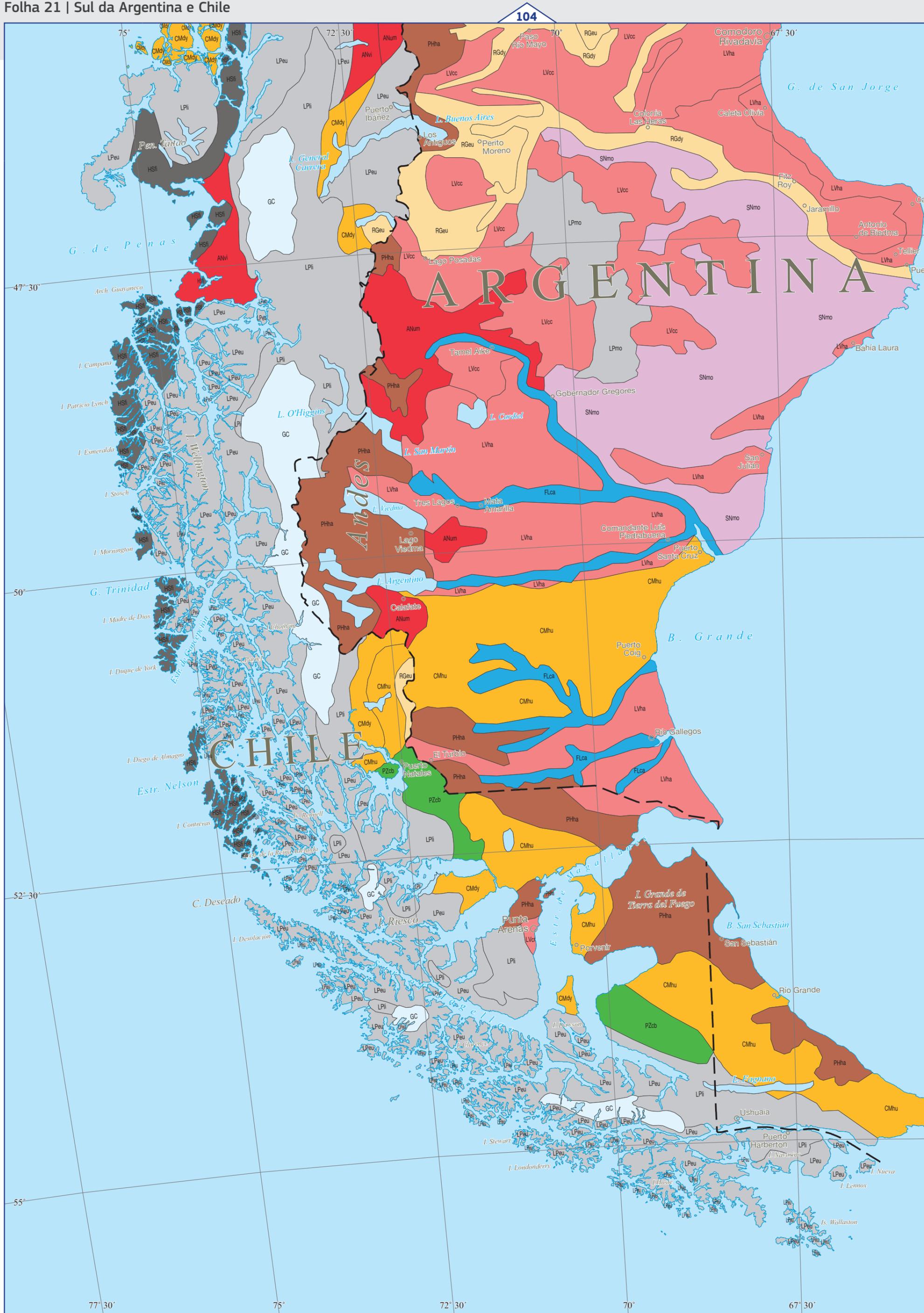
**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÔMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

PROJEÇÃO: Lambert Azimutal

O mapa ilustra os solos do centro-sul da Argentina e do Chile e a zona norte da região, conhecida como Patagônia. Depois das folhas da América Central, as costas atlântica e pacífica encontram-se novamente na mesma folha cartográfica. As planícies semiáridas da Patagônia ganham altura até os picos glaciais dos Andes, a oeste. Estas planícies são interrompidas por vales profundos, muitos deles secos. No lado chileno, o terreno é escarpado. Com uma altitude de 3.470 m de altitude, o vulcão extinto do Monte Tronador é o ponto mais alto, embora existam outros picos superiores a 3.000 m. Ao sul, a altura das montanhas descende até cerca de 2.000 m de altitude, e surgem inúmeros fiordes e canais. Na fronteira entre Argentina e Chile, uma extensa atividade vulcânica deu origem a grandes falésias basálticas, fluxos de lava e cones vulcânicos. Existem vários grandes lagos localizados entre os vales glaciais, represados pelas morainas (caso do lago *Nahuel Huapi*). O rio Negro e o Colorado, fluindo de oeste para leste, denotam o limite sul do *Pampa* e a transição para condições mais secas.

As áreas do leste e o norte do mapa, são caracterizadas por um clima semi-árido, com temperaturas médias anuais entre 12 e 20°C (as temperaturas estivais ultrapassam os 35°C e inverniais abaixo de zero). A precipitação anual varia entre os 100 e 450 mm. Os ventos fortes de sudoeste, são secos e frios. Na direção oeste, a costa do Chile possui um clima oceânico frio, com temperaturas médias anuais ligeiramente mais baixas do que as do lado argentino, embora com maior pluviosidade (a média anual é de cerca de 2.000 mm, mas já foram registrados, mais de 7.000 mm). Em direção ao sul, o clima torna-se cada vez mais oceânico. Ao norte do Rio Negro, predominam os Phaeozems ricos em matéria orgânica, que foram desenvolvidos nos depósitos aluviais e loess da planície pampeana. O aumento da aridez resulta na formação de solos com alto teor de carbonato de cálcio (Calcisols), gesso (Gypsisols) e cascalhos (Regosols). As depressões no planalto patagônico juntamente com sedimentos marinhos antigos formam os Solonetz ricos em argila e em sódio. As planícies secas são caracterizadas pela presença de Regosols, enquanto nos cursos flu-

viais encontram-se os Fluvisols desenvolvidos em areias grossas e cascalhos aluviais. O desgaste dos afloramentos rochosos andinos resultaram na formação de Leptosols e Regosols pedregosos e pouco profundos, enquanto as extensões de terreno vulcânico, predominantemente basáltico, levam à formação de um conjunto de Andosols, Nitisols, Luvisols, Leptosols e Cambisols. Ao sul do Rio Negro, os solos tornam-se cada vez mais áridos e pedregosos e surgem vastas extensões de cascalhos fluviais ("grava patagônica"), geralmente em terreno plano. Os Luvisols geralmente aparecem nos terraços fluviais ou elevações intercaladas nas planícies. Os Solonetz e Solonchaks indicam os solos de textura fina, salinos, localizados em depressões pouco profundas do terreno. As extensões de Arenosols em todo o mapa, correspondem aos campos de dunas, especialmente ao longo da costa. As condições cada vez mais frias e úmidas ao longo da costa do Pacífico favorecem a formação de turfa, o que leva à formação de Histosols.





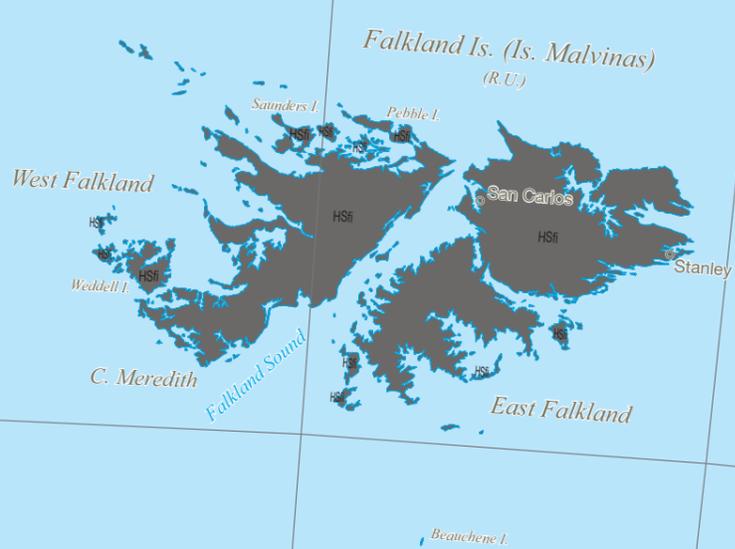
# OCEANO ATLÂNTICO

**ESCALA 1:3 000 000**  
 1 CENTÍMETRO = 30 KILÓMETROS; 1 PULGADA = 47,3 MILHAS

0 100 200 km

0 50 100 milhas

PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal



O mapa ilustra os solos do sul da Argentina e do Chile, a parte sul da Patagônia. Também surge o arquipélago denominado Terra do Fogo, separado do continente da América do Sul pelo estreito de Magalhães. Este marca o extremo sul da cordilheira dos Andes.

O famoso *Cabo Horn*, ao sul da *Terra do Fogo* (localizado a 55°58'47" S na Ilha de Hornos) é o ponto mais meridional do continente. As águas ao redor do Cabo são particularmente perigosas, devido aos fortes ventos e ondas e a presença de icebergs. Apesar de que alguns picos da Terra do Fogo atingem os 2.500 m de altitude, a parte da Cordilheira dos Andes que aparece no mapa apresenta altitudes muito menores do que na parte norte da cordilheira. No entanto, a maioria das montanhas encontra-se cobertas por neves perpétuas e também existem muitas geleiras. A leste dos Andes, surgem as planícies do sul da Patagônia, que consistem de uma série de amplos terraços atravessados por rios e vales amplos e profundos. Estes incluem, de norte a sul, os rios *Deseado*, *Santa Cruz*, *Coig* e *Gallegos*. A 105 m abaixo do nível do mar, a bacia salina da *Laguna del Carbón*, na província de Santa Cruz (Argentina), é o ponto mais baixo do hemisfério sul. As geleiras localizadas na fronteira do Chile e da Argentina correspondem à camada de gelo da *Patagônia*, a maior camada de gelo fora da Antártida e da Groenlândia.

A região apresenta um clima cada vez mais frio e úmido, à medida que se avança em direção ao sudoeste. Na parte oriental do mapa, as temperaturas estivais variam entre 18 e 21°C, enquanto as inverniais, de 4 a 7°C. Apesar da aridez da região (entre 200 e 300 mm de precipitação anuais), as precipitações em forma de neve são comuns no inverno. As temperaturas no interior são ligeiramente inferiores, porém com maiores variações diárias. No altiplano o clima é muito mais frio, com ventos fortes e geadas frequentes. O clima na região andina é influenciado pelo Oceano Pacífico, resultando em maior umidade e chuvas mais abundantes. Em direção ao sul, o clima torna-se cada vez mais extremo (já foram registrados mais de 5.000 mm de chuva) e é extremamente variável. Os verões na *Terra do Fogo* são curtos e frescos, enquanto que os invernos são longos, úmidos e moderadamente suaves. A precipitação no oeste é muito alta, diminuindo rapidamente em direção ao leste.

As ilhas mais austrais possuem um clima subantártico, típico de tundra, que torna impossível o crescimento das árvores. Algumas zonas do interior possuem um clima polar.

O padrão do solo a oeste do mapa reflete a interação entre os planaltos andinos, a erosão dos afloramentos rochosos e o clima oceânico, úmido e frio, o que impossibilita a formação de solos maduros.

Os Leptosols pouco profundos, pedregosos e ricos em bases se estendem amplamente nos Andes chilenos. Por outro lado, sobre os depósitos piroclásticos como as cinzas vulcânicas, se desenvolvem os Andosols, ricos em matéria orgânica. As turfeiras (Histosols) são comuns nas condições mais úmidas, ao longo da costa chilena. Na Terra do Fogo, nos sedimentos de textura grossa sob florestas semidecíduais encontram-se Podzols altamente lixiviados. A região leste dos Andes é coberta por uma estepe seca, dominada por uma paisagem de basalto erodido e mesetas sedimentares. Uma camada fina de argila e areias de origem eólica, acumulada nas mesetas vulcânicas resulta na formação de Luvisols e Cambisols neutros. Nos vales que precedem a cordilheira dos Andes e nos terraços planos do extremo sul, se desenvolvem os Phaeozems sob campos permanentes em argilas, areias e cascalhos de origem fluvial e fluvioglacial. Os Solonetz representam a formação do solo nas depressões fechadas ou depósitos marinhos recentes, ricos em sódio. Finalmente, os Gleysols e os Fluvisols, ambos afetados pela água, indicam a localização dos vales dos rios principais, enquanto que os Leptosols representam as serras isoladas. Apesar de não serem revelados no mapa devido à escala, os Cryosols possuem importância local, contendo camadas de gelo permanente nos níveis superficiais do solo (permafrost).



O mapa ilustra os solos das ilhas ocidentais das Grandes Antilhas (Cuba e Jamaica) e do arquipélago das Bahamas (ver folha 5 para mais detalhes).

As Grandes Antilhas estão localizadas entre o Mar do Caribe e o Oceano Atlântico. Ao norte, as ilhas das Bahamas estão localizadas num banco superficial do Atlântico, separadas do continente da América do Norte e das ilhas ao sul, por canais profundos. A elevação das Bahamas é baixa (a altitude máxima é de 63 m), muitas das ilhas ficam a menos de 20 m de altitude). Na sua maioria são formadas por corais, areia de origem eólica e rocha calcária. Cuba, apesar de ser a 17ª maior ilha do mundo, é na realidade um arquipélago (incluindo a Isla de la Juventud e dezenas de outras menores). A orografia cubana é formada principalmente por planícies suavemente onduladas ou aplainadas, embora existam áreas montanhosas, sendo a mais elevada, a *Sierra Maestra*, cujo ponto culminante atinge os 1.996 m de altitude. Em comparação, a Jamaica é uma ilha muito mais montanhosa, com picos que ultrapassam os 2.000 m de altitude.

O clima no norte da região é subtropical, tornando-se tropical ao sul,

embora modificado de maneira significativa pelas correntes de água, como a corrente do Golfo, os ventos alísios e, em menor proporção, a elevação do terreno. A temperatura média anual na maior parte da região é de cerca de 23°C, aumentando ligeiramente em direção ao sul. A precipitação anual é moderada (1.400 mm). As tempestades tropicais (furacões) são comuns entre junho e novembro.

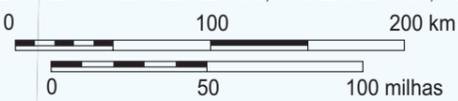
Embora se preservam as florestas nativas, grande parte da vegetação das terras baixas foi removida em favor da agricultura e a degradação dos solos constitui em geral, um fator limitante à produtividade.

O padrão de solos das diversas ilhas reflete a interação entre a litologia, o clima tropical e a topografia. As ilhas não vulcânicas das Bahamas são caracterizadas principalmente por Regosols e Leptosols pouco desenvolvidos, muitas vezes arenosos e calcários. A formação do solo em Cuba e Jamaica reflete uma história geológica mais complexa, resultando em uma associação de diversos tipos de solo. Cuba se manteve como parte da placa tectônica da América do Norte e conta com uma ampla variedade de solos desenvolvidos principalmente sobre calcário. Enquanto que na ilhas Jamaica, Espanhola e

Porto Rico se mantiveram na placa tectônica do Caribe e compartilham similares histórias geológicas e materiais de origem dos solos. Nestas regiões, sob clima chuvoso e altas temperaturas, formaram-se solos muito desenvolvidos, profundos e não saturados (Ferralsols, Alisols e Acrisols). Os solos de importância agrícola devido à sua produtividade são os Nitisols, solos vermelhos, profundos e ricos em argila. Os solos jovens em áreas frequentemente erodidas, são representados por Leptosols pouco profundos e Cambisols (muito abundantes em Cuba). Os Phaeozems, com ricas camadas de matéria orgânica, so aparecem no sopé das cadeias montanhosas e indicam o desenvolvimento de solos relativamente maduros em material coluvial. Os solos aluviais das planícies costeiras e dos vales são profundos, de textura franca e ricos em argila aluvial, muitas vezes, mal drenados. Estas condições, permitem com frequência os processos de hidromorfia, que levam ao desenvolvimento de Vertisols, Gleysols e Fluvisols e à formação de turfa (Histosols). Por ultimo, os Arenosols são solos com fração granulométrica grossa e geralmente de alta permeabilidade e baixa capacidade de armazenamento de água e nutrientes.

ESCALA 1:2 500 000

1 CENTÍMETRO = 25 KILÓMETROS; 1 POLEGADA = 39,4 MILHA



PROJEÇÃO: Lambert Azimuthal

# CUBA

LA HABANA

Marianao

Artemisa

G. del Batabanó

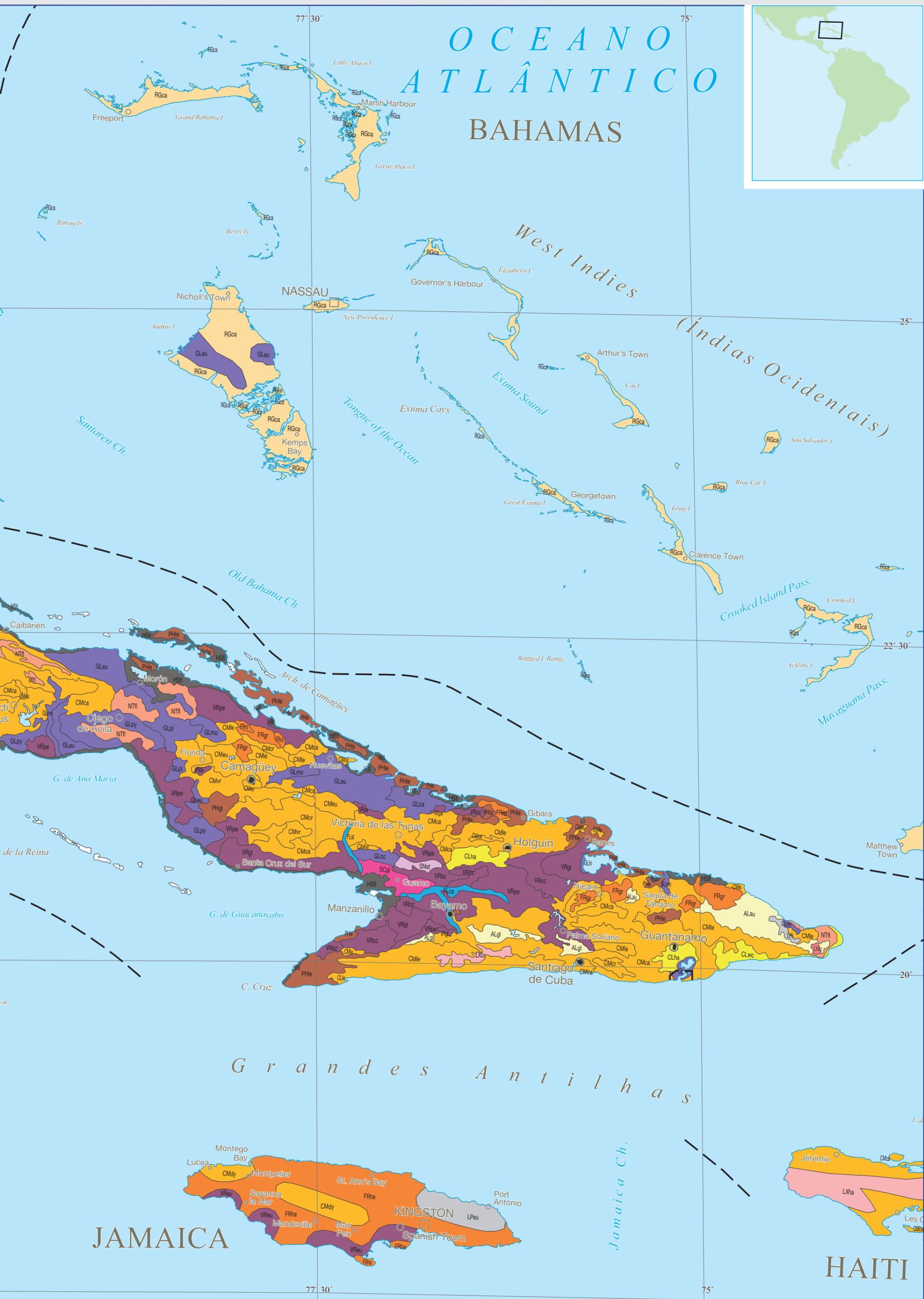
I. de la Juventud

Arch. de los Canarreos

Arch. de los Jardines

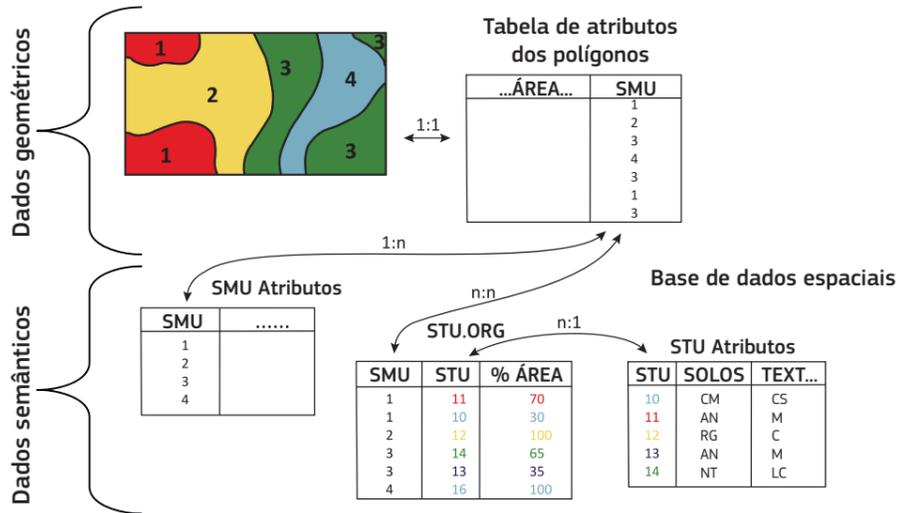
# Mar do Caribe

73



## Mapas de propriedades dos solos da ALC

As páginas seguintes ilustram uma série de mapas gerais que descrevem as propriedades dos solos mais importantes da ALC. Os mapas foram elaborados a partir dos dados contidos na base de dados SOTERLAC [46, 47], que apresentam os dados de propriedades para o tipo de solo dominante dentro de cada unidade de mapeamento (ou seja, o solo que cobre a maior proporção da área). Deve-se considerar que apenas uma parte da unidade de mapeamento terá a função atribuída (a menos que exista apenas um tipo de solo na mesma). A escala aplicada nesses mapas (muito pequena), inevitavelmente generaliza as condições locais específicas. No entanto, os padrões gerais regionais são úteis para a representação da situação geral dos solos.



Acima: o diagrama ilustra as relações entre as unidades de mapeamento ou cartográfica (SMU), tipos de solo (STU) e as propriedades do solo (por exemplo, TEXT para textura). (JRC)

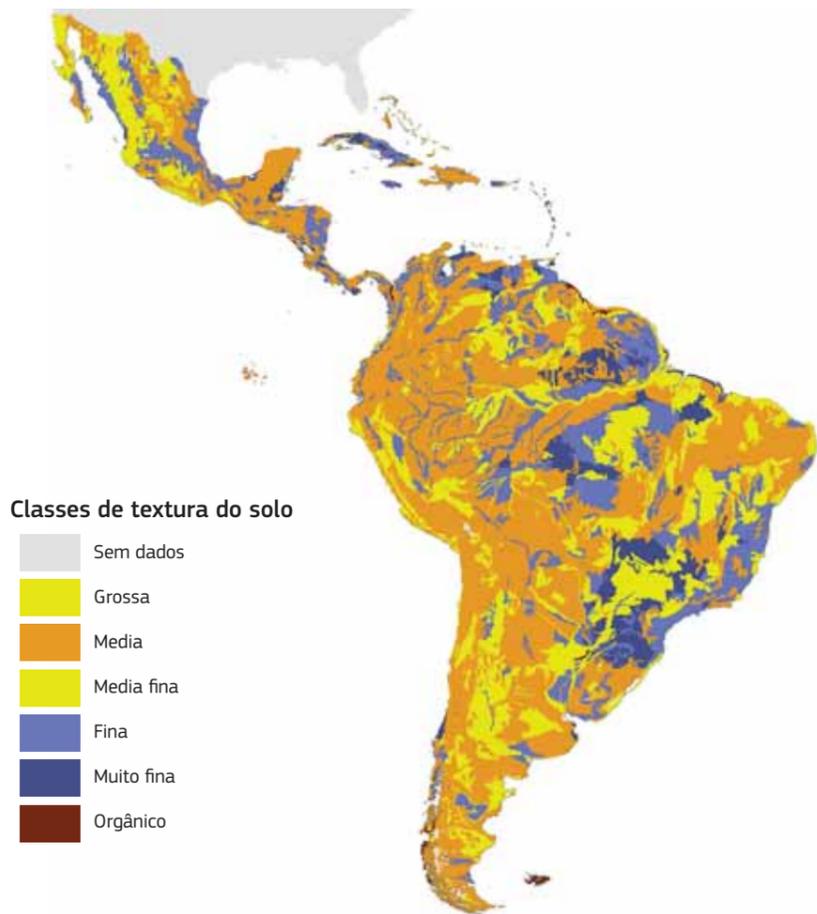


Esta unidade cartográfica é caracterizada por três tipos de solos distintos: Acrisol (acima, à esquerda), Ferralsol (acima, à direita) e Leptosol (imediatamente acima). (JNR)

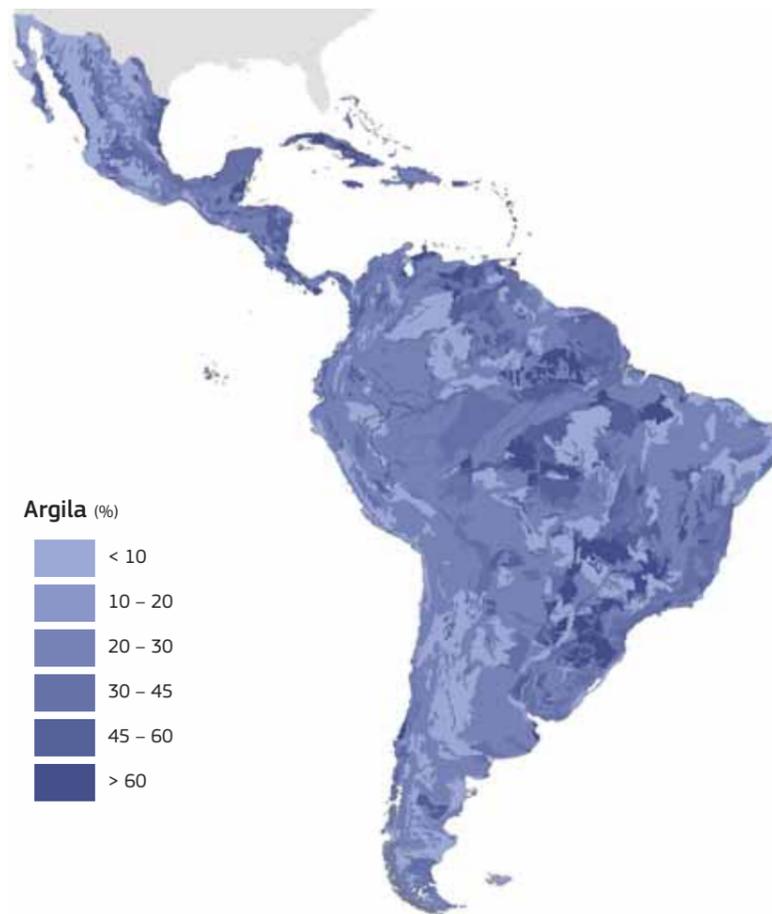


Esta unidade cartográfica é caracterizada por um só tipo de solo. Trata-se de um Vertisol. (OS)

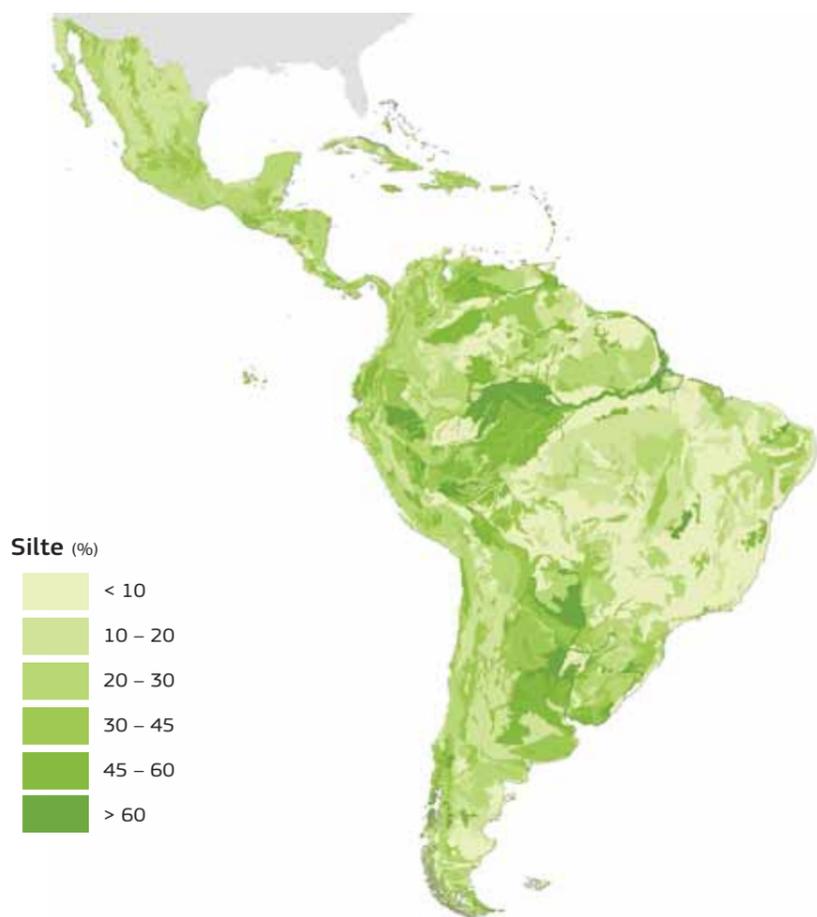
Tal como se ilustra no mapa, cada unidade cartográfica de SOTERLAC pode conter mais de um tipo de solo. Apesar de não se conhecer a localização geográfica dos distintos tipos de solo dentro de cada unidade, a base de dados armazena informação sobre a proporção que cada um deles ocupa na unidade. Quando a unidade de atribuição é composta por apenas um tipo de solo, a percentagem equivale a 100%. Quando existem vários tipos de solo, a soma das percentagens é igual a 100. As áreas com tons mais claros (como algumas áreas do norte da Amazônia) apresentam um menor número de tipos de solo por unidade cartográfica, enquanto que com tons mais escuros (como algumas áreas do México) apresentam uma maior diversidade. Esta variabilidade tende a refletir ao mesmo tempo o nível de levantamento de solos (escala) em uma região. [SOTERLAC] (JRC)



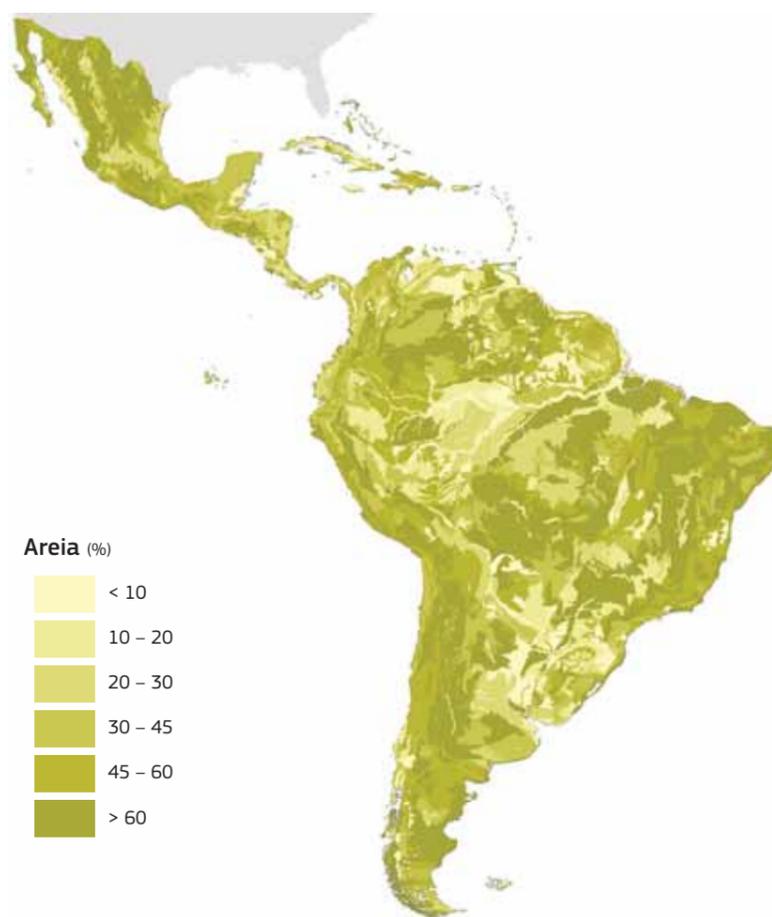
A textura do solo é uma propriedade que descreve a composição granulométrica das partículas minerais no solo. A classe textural do solo (areia, silte ou argila) corresponde a um intervalo específico das frações separadas e é esquematicamente representado pelo triângulo textural do solo (consultar página 172, "textura do solo"). Os solos arenosos contêm uma maior proporção de partículas grossas, enquanto que os solos siltosos contêm partículas de tamanho médio e os argilosos, partículas muito finas. [SOTERLAC] (JRC)



Este mapa ilustra a proporção de argila na camada superficial do solo (ou seja, partículas minerais com menos de 0,002 mm de diâmetro; é necessário um microscópio para poder se ver as partículas deste tamanho). Ao se manipular o solo entre os dedos, sente-se que é suave. Geralmente um maior teor de argila é um indicador do intemperismo químico do material de origem (e de transporte associado). Os solos ricos em argila tendem a conter mais nutrientes e devido à sua superfície específica muito elevada, podem reter grandes quantidades de umidade. Como resultado, são adequados para a agricultura, mas podem dificultar o cultivo quando úmidos, ao se tornarem muito pesados e de drenagem lenta. Quando secos por completo, sua dureza também dificulta a lavoura. [SOTERLAC] (JRC)



O mapa ilustra a proporção de silte na camada superficial do solo (as partículas minerais entre 0,002 e 0,0625 mm, de acordo com a classificação da FAO). É composto por partículas muito pequenas para serem vistas a olho nu. O silte é um produto da meteorização mecânica da rocha, ao contrário da erosão química, que resulta em fragmentos de argilas. Esta transformação deve-se à abrasão eólica (causada pelo movimento das partículas de areia pelo vento) ou a ação da água sobre as rochas no leito dos rios e córregos. Os solos com uma proporção elevada de silte são adequados para as atividades agrícolas, devido aos altos níveis de nutrientes disponíveis e à capacidade de retenção de água nos espaços entre as partículas. Também são fáceis de cultivar, embora sejam altamente propensos à erosão. [SOTERLAC] (JRC)



O mapa ilustra a proporção de areia na camada superficial do solo (partículas minerais de tamanho entre 0,0625 a 2,0 mm de diâmetro). Os grãos de quartzo são em geral, visíveis a olho nu. Os solos arenosos são muito fáceis de trabalhar, mas geralmente são pobres em nutrientes e com baixa capacidade de retenção de água. Como resultado da grande quantidade de espaços entre os grãos de areia, estes tipos de solo drenam facilmente a água, o que os faz muito propensos à seca. Existem cinco subcategorias de areias, em função do tamanho das partículas que as formam: areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e areia muito grossa. O mapa acima destaca Arenossols e Ferralsols com areias de tipo mais grossa dos trópicos. [SOTERLAC] (JRC)

### Cascalho (%)



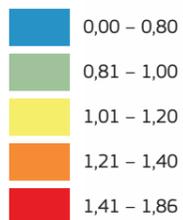
O cascalho é composto de fragmentos arredondados ou angulares de rocha entre 2 mm e 6 cm de diâmetro. É um indicador da pedregosidade do solo. Um teor elevado de cascalho pode ser um indicador da proximidade do material de origem. Algumas formas de agricultura (por exemplo vinhedos) tem preferência por solos de cascalho, no entanto, uma proporção elevada de pedras na matriz do solo não é de interesse para o uso agrícola devido aos baixos níveis de retenção de água e nutrientes. O conteúdo de cascalho é geralmente mais elevado nas áreas montanhosas (as serras mexicanas, Guayana, as serras brasileiras e os Andes) e onde a erosão seletiva favorece a acumulação de cascalho nos horizontes superficiais dos solos. [SOTERLAC] (JRC)

### Classes de drenagem



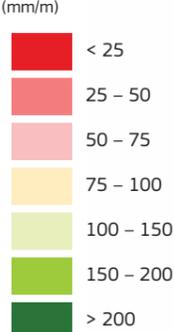
A classe de drenagem se refere à frequência e duração dos períodos de saturação total ou parcial da água no solo. Estas classes variam de "excessivamente drenados", onde a água é removida do solo muito rapidamente (solos rochosos ou superficiais, frequentes encontrados em encostas íngremes) para "muito mal drenado" em que a água é removida do solo tão lentamente, que o lençol freático permanece na superfície ou próximo dela (na elaboração deste mapa foram usados as classes de drenagem definidas pela FAO). Os solos muito drenados não são suficientemente capazes de reter a água para sustentar os cultivos, enquanto que em solos mal drenados (exceto aqueles com drenagem artificial), a limitação para o cultivo é dada pela falta de oxigênio na zona radicular. [SOTERLAC] (JRC)

### Densidade do solo (kg/dm<sup>3</sup>)

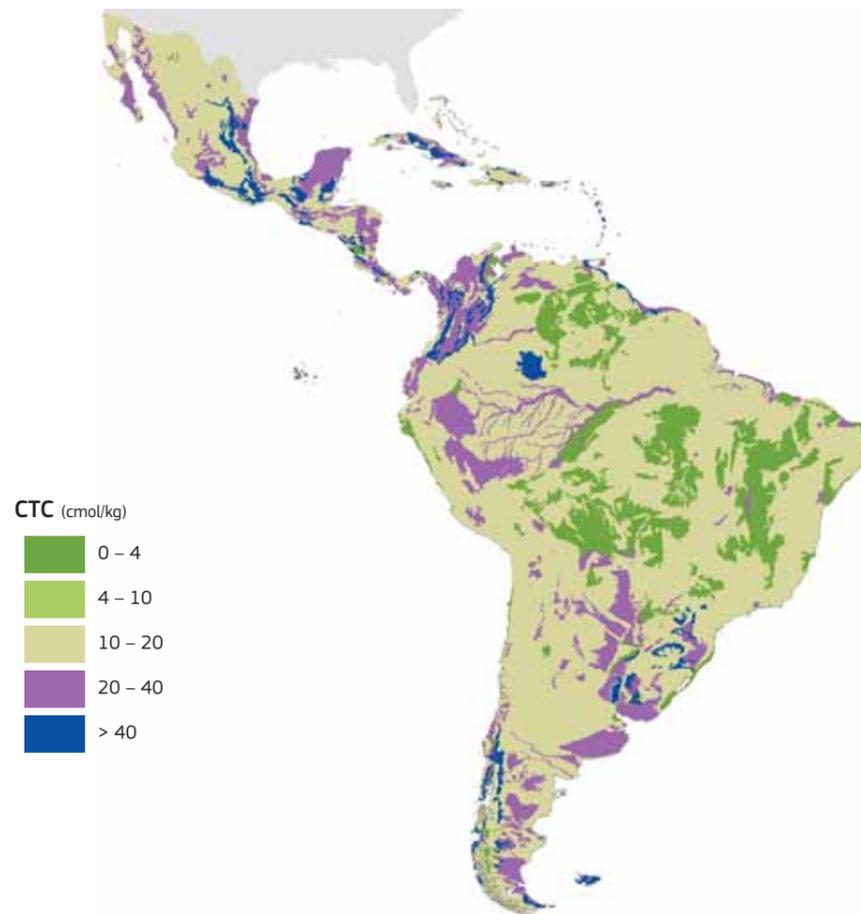
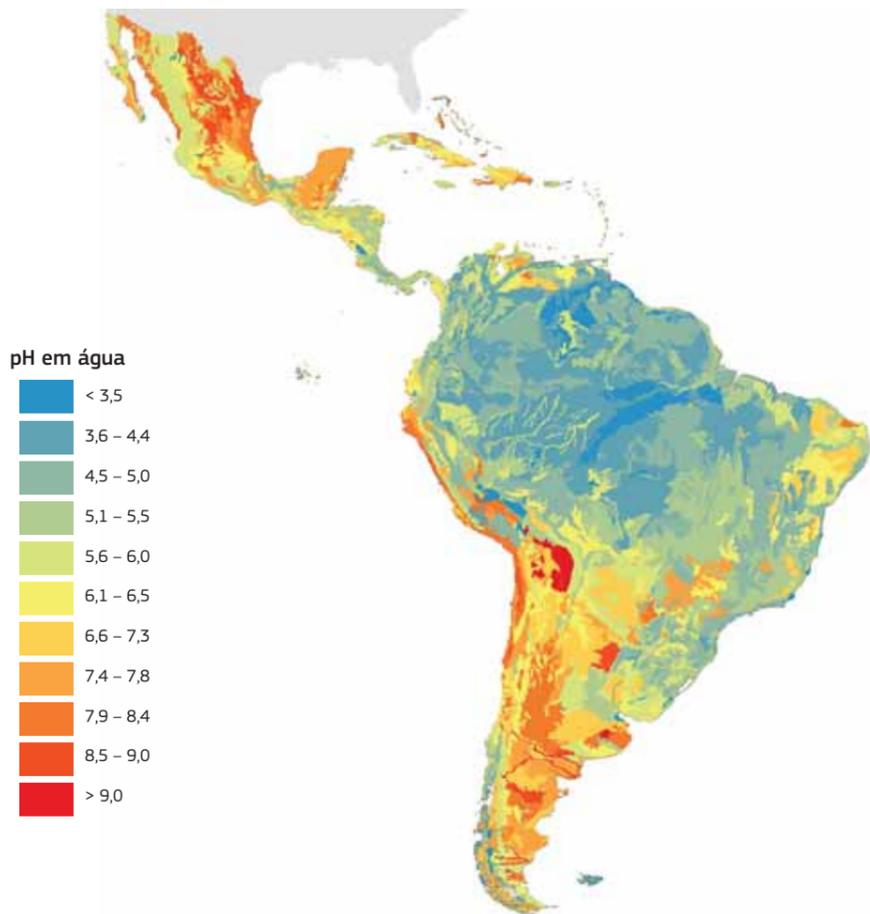


A densidade dos solos (ou densidade aparente) é uma medida do peso do solo pela unidade de volume (por exemplo, kg/dm<sup>3</sup>). As variações neste parâmetro do solo dependem do seu grau de compactação, propriedade diretamente relacionada com a porosidade. A maioria dos solos minerais possui densidade entre 1 e 2 kg/dm<sup>3</sup>, enquanto os solos ricos em matéria orgânica podem apresentar uma densidade bem abaixo de 1. Esta propriedade do solo é um indicador da resistência deste à compactação e um parâmetro crítico no cálculo do teor de carbono orgânico do solo. Os valores altos chegam a limitar o crescimento das raízes, a infiltração e favorecem os níveis baixos de oxigênio. Geralmente, existe uma relação inversa entre a densidade e o teor de carbono orgânico (ver o mapa de distribuição de carbono orgânico, página 137). Os solos com valores de densidade mais elevados correspondem aos solos fortemente intemperizados, como Ferralsols, Acrisols ou Plinthosols. [SOTERLAC] (JRC)

### Conteúdo de água disponível (mm/m)



O conceito de água disponível expressa a quantidade de água que um tipo de solo pode armazenar. Se define como a diferença entre a quantidade de água contida no solo e a quantidade de água existente quando se atinge o ponto de murcha permanente (a quantidade de água mínima necessária para que uma planta não murche). Geralmente se expressa em milímetros de água por metro do solo. O teor de água disponível não depende das condições climáticas; é determinado apenas pela textura e estrutura do solo. A matéria orgânica favorece o armazenamento de água no solo: um aumento de 1% no teor de matéria orgânica aumenta aproximadamente em 1,5% a capacidade do solo para reter, armazenar e liberar a água gradualmente para ser absorvida pelo sistema radicular das plantas. [SOTERLAC] (JRC)



O pH é uma designação numérica de acidez ou alcalinidade do solo (ver página 11). Um pH de 7 é considerado como um valor neutro, enquanto que os valores mais baixos são classificados como ácidos e os superiores, como alcalinos ou básicos. É um parâmetro fundamental do solo, uma vez que controla muitos dos processos químicos, como os relacionados com a disponibilidade de nutrientes necessários para as plantas. A faixa de pH ideal para a maioria das plantas se encontra entre 6 e 7,5, no entanto muitas espécies desenvolveram adaptações, podendo crescer em solos com valores fora desta faixa. Os solos ácidos são encontrados principalmente em áreas com alta pluviosidade, onde os cátions básicos mais móveis são lixiviados do solo, aumentando os níveis de cátions  $Al^{3+}$  e  $H^+$ . Os solos alcalinos são caracterizados pela presença de sais solúveis. A aplicação de cal em solos ácidos pode aumentar os valores de pH e permitir o cultivo de certas espécies, que de outro modo não podem ser cultivadas. [SOTERLAC] (JRC)

A capacidade de troca catiônica (CTC) é o número total de cátions permutáveis que se podem encontrar no solo. É um indicador do conteúdo de nutrientes; o aumento do teor de matéria orgânica num solo está diretamente relacionado com a CTC. Os íons carregados positivamente de elementos como cálcio, alumínio, potássio e sódio, os quais se ligam às partículas de solo com carga negativa, podem ser substituídos por cátions de hidrogênio na solução do solo. Uma vez na solução, os nutrientes tornam-se disponíveis para as plantas. Os solos com baixa CTC não podem armazenar nutrientes; muitos solos arenosos possuem valores de CTC inferiores a 4 cmol/ kg. Os valores superiores a 10 cmol/ kg são considerados satisfatórios para a maioria das culturas. Os Vertisols e solos ricos em carbono orgânico são caracterizados pelos altos valores de CTC. [SOTERLAC] (JRC)



O teor de sais de um solo pode ser estimado a partir da sua condutividade elétrica (expressado em dS/m). Um solo pode ser rico em sais por causa do material original que o formou ou por inundações nas planícies costeiras (água do mar). Em climas quentes, a água subterrânea salgada pode alcançar as camadas superiores do solo. A maioria das espécies vegetais não crescem bem em solos salinos, principalmente as culturas, embora existam espécies adaptadas a estes ambientes. Alguns cultivos, como a maioria das árvores frutíferas, acusam o teor de sal, apresentando valores baixos de condutividade, como 2 dS/m, enquanto outras plantas são mais tolerantes (por exemplo, espinafre ou beterraba e geralmente, a subfamília Chenopodioidae), suportando valores de 16 dS/m. Muitas das áreas com solos salinos da ALC se encontram nas bacias onde a água não tem saída fluvial para o mar. Este é o caso dos salares de Guasco e Uyuni. [SOTERLAC] (JRC)

O carbonato de cálcio,  $CaCO_3$ , é o componente principal das conchas dos moluscos marinhos. Na agricultura, é o ingrediente ativo da calagem e a principal causa da água calcária ou de água "dura". O carbonato de cálcio é bastante comum no solo, especialmente em áreas mais áridas. Quando presente no solo a baixos níveis, melhora a sua estrutura e geralmente beneficia a produção das culturas. Por outro lado, se as concentrações são mais elevadas, pode induzir à deficiência de ferro e, se cimentado, limita a capacidade de armazenagem de água no solo. [SOTERLAC] (JRC)

## Elaboração dos mapas de solo do Atlas

### Os Sistemas de Informação Geográfica e Base de Dados Mundial Harmonizada sobre Solos

#### O que é um Sistema de Informação Geográfica?

Os mapas que aparecem neste Atlas foram elaborados graças a uma tecnologia denominada Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS, do inglês *Geographic Information System*).

Um SIG pode ser definido como um sistema informático para a realização de análises geográficas. Consiste em diversos componentes: um subsistema de entrada, para a conversão de mapas e outros dados espaciais para o formato digital; outro para o armazenamento e a recuperação da informação; outro para a realização de análises espaciais; e um último para a obtenção dos produtos (tabelas, mapas e respostas para aos problemas estudados). As coordenadas geográficas de latitude e longitude, as regiões administrativas, os corpos d'água e os núcleos urbanos, são diferentes formas de transmitir a informação para um determinado local; esses elementos estão "georreferenciados" o que difere um SIG dos programas de desenho assistido por computador (CAD do acrônimo em inglês, *Computer Aided Design*), onde a informação fica armazenada em elementos localizados num espaço abstrato.

Os vários elementos tais como estradas, rios, tipos de solo ou pontos de avaliação da qualidade da água, são representados num SIG de forma digital em pontos, linhas (arcos), polígonos (áreas) ou células quadriculas.

A informação descritiva ou atributos dos objetos (por exemplo, nomes, propriedade, profundidade, tipo de solo) pode estar associada aos dados geográficos. Esta informação "descritiva" normalmente armazenada em forma de tabelas numa base de dados, está associada com dados geográficos ou mapas com o uso de um identificador comum.

A maioria dos dados espaciais podem ser convertidos de um sistema de coordenadas para outro, de modo que, através de um SIG pode-se integrar dados oriundos de várias fontes. Assim, uma base de dados global de perfis de solo, onde se utilizou a latitude e longitude para marcar os pontos de amostragem, poderia ser combinado com dados de solos compilados em mapas com sistemas de coordenadas diferentes (a nível nacional, por exemplo).

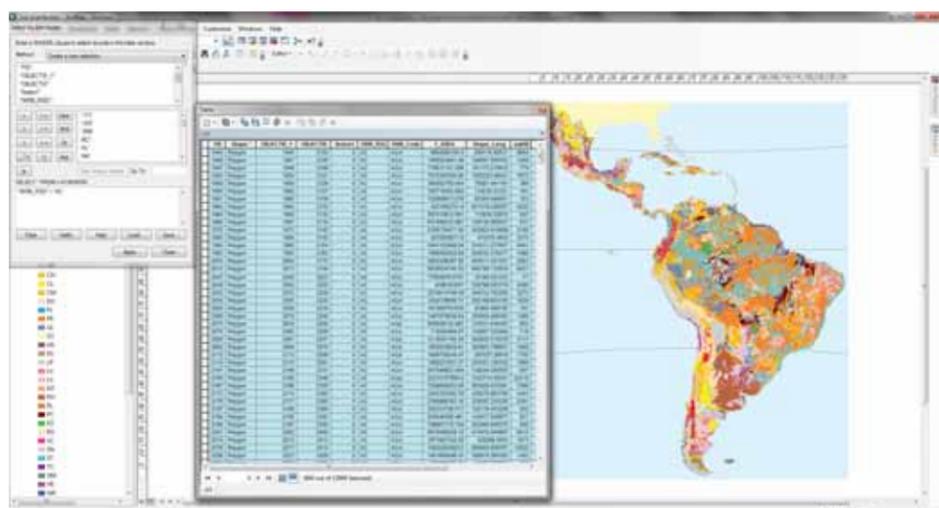
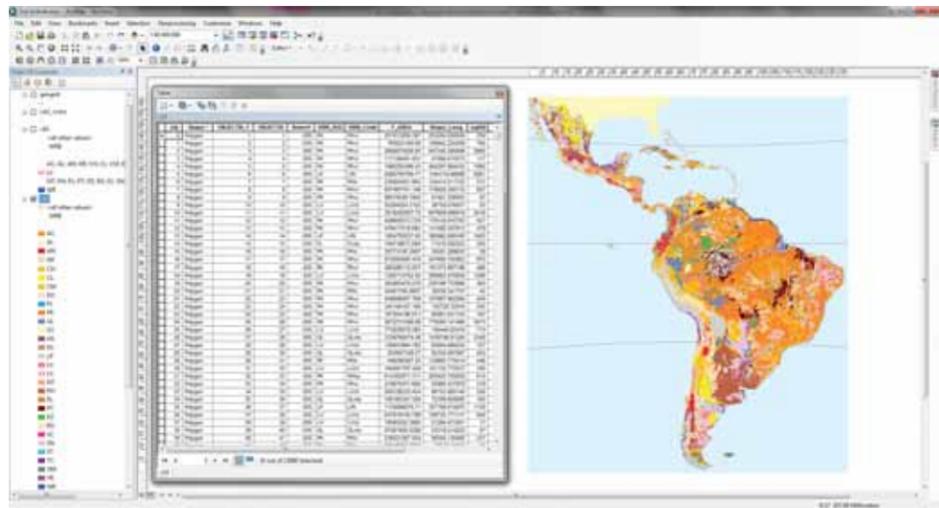
Os dados espaciais e seus atributos associados no mesmo sistema de coordenadas podem ser examinados simultaneamente e se sobrepor uns aos outros para a elaboração de mapas.

Existe também a possibilidade de executar análises altamente complexas, se existirem dados suficientes e de qualidade. Assim, por exemplo, se houver um volume suficiente de informação, será possível responder a perguntas como: " Que aconteceria se ... um solo arenoso sofresse uma descarga de substâncias contaminantes?", "Em quais lugares surgem os Podzols próximos de cultivos agrícolas?" ou " Existe um padrão... que caracterize deslizamentos de terra num parque nacional?". Responder a essas perguntas só é possível se houver um grande volume de informações. Um exemplo de uma questão mais complexa, seria o de avaliar o potencial de irrigação a partir da seleção de áreas que atendam às seguintes condições: localizar-se em regiões semi-áridas, com solos potencialmente férteis, terreno plano e cerca de menos de 200 m de uma fonte de água.

Uma das chaves fundamentais de um SIG é o componente humano. É essencial contar com pessoas de bom conhecimento de análise espacial e especialistas no uso do software.

O uso do SIG se torna cada vez mais generalizado. No início, foram desenvolvidos como uma ferramenta para pesquisa nos departamentos de Geografia das Universidades, mas com o passar do tempo foram incorporados em outros domínios, para o manejo de instalações (por exemplo tubos, cabos eléctricos), marketing e vendas (otimizar a localização de uma loja de acordo com as necessidades do cliente, etc.), manejo militar (mapas do campo de batalha, de reconhecimento do terreno...), meio ambiente (a previsão de inundações, risco de erosão e incêndios florestais...), transporte (rotas, medições de ruído, etc.),saúde (localizar certas doenças e fatores sociais ou ambientais) entre outros.

Os mapas neste Atlas foram criados com software SIG denominado ArcGIS, desenvolvido pela ESRI Inc. (Redlands, Califórnia).



Acima: exemplos de visualização e consulta da base de dados SOTERLAC. Por exemplo, na segunda captura da tela, todos os Acrisols foram selecionados (azul, tanto na tabela de atributos como no mapa). (JRC)

Para mais informação sobre os dados espaciais e SIG consulte os seguintes sites (em inglês):

<http://www.gis.com>

<http://www.geo.ed.ac.uk/home/giswww.html>

<http://www.usgs.gov>

#### Atualização da base de dados SOTERLAC para a América Latina e Caribe (versão 2.0)

A base de dados de solos SOTERLAC (em inglês, Soil and Terrain database for Latin America and the Caribbean) versão 2.0 (escala 1:5.000.000) substituiu a versão antiga 1.02. A base topográfica deste mapa foi modificada para ser melhor adaptada à Carta Digital do Mundo (WDC, World Digital Chart). Além disso, a base de dados de atributos inclui todas as características dos pedons (unidades do solo) considerados a uma escala 1:1.000.000.

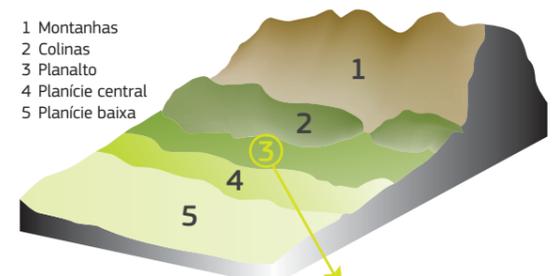
A versão antiga 1.02 do SOTERLAC (1 : 5.000.000) foi apresentada em 1998 [45] e foi o resultado de um esforço conjunto da Organização das Nações Unidas (por meio do seu Programa de Meio Ambiente, PNUMA e da Organização para a Alimentação e a Agricultura, FAO), o instituto ISRIC (Informação Mundial do Solo) e do Centro Internacional da Batata (CIP), entre 1993 e 1997. Foi o primeiro exemplo de uma base de dados sobre o solo e terreno realizado com um SIG utilizando a metodologia SOTER1 [46, 47] a escala continental. Do mesmo modo, foi desenvolvido um programa para a visualização de mapas temáticos, tal como a versão 1.02 da base de dados SOTER. O mapa topográfico utilizado como base é semelhante à folha da América Latina do Mapa de Solos do Mundo [48, 49]. Este mapa de base, no entanto, não é totalmente compatível com os mapas de outros continentes. Na versão 2.0 do SOTERLAC o mapa referido foi substituído pela Carta Digital do Mundo, a escala 1:1.000.000 [50,51], a referência topográfica para todos os mapas de SOTER.

As camadas distintas fornecem informações sobre a topologia, a localização e a extensão das fronteiras nacionais, costas, rios, sistemas de drenagem e lagos. Desde o lançamento do SOTERLAC 1.02, reportaram-se observações e uma série de erros e inconsistências na base de dados, como por exemplo unidades de SOTER que não representavam corretamente a forma do terreno ou solos em uma determinada região, ou composições de solo

incorretas ou incompletas. Essas inconsistências foram corrigidas na versão mais recente. Aliás, também foram incorporadas novas unidades SOTER, juntamente com novos perfis e informação adicional sobre o Brasil e Porto Rico. Outro aspecto a ser destacado sobre os arquivos de dados SOTERLAC 1.02 é a capacidade de armazenamento com um número muito limitado de atributos para os perfis representativos [47], que restringiam as possibilidades de uso da base de dados, especificamente no que diz respeito a disponibilizar informação específica de um solo (por exemplo, capacidade de troca catiônica). Por estas razões, a atualização de SOTERLAC foi iniciada em 2004, com a incorporação de dados de perfis adicionais representativos, usando a estrutura da base de dados SOTER 1:1.000.000 [46]. Atualmente, o objetivo de ISRIC consiste em restaurar a informação dos perfis do solo país por país. Na presente versão, os dados foram renovados no Brasil, Peru e Porto Rico, o que representa cerca de um terço dos perfis da base de dados.

A base de dados de SOTERLAC e sua documentação pode ser baixada do site de ISRIC abaixo:

<http://www.isric.org/projects/soter-latin-america-and-caribbean-soterlac>



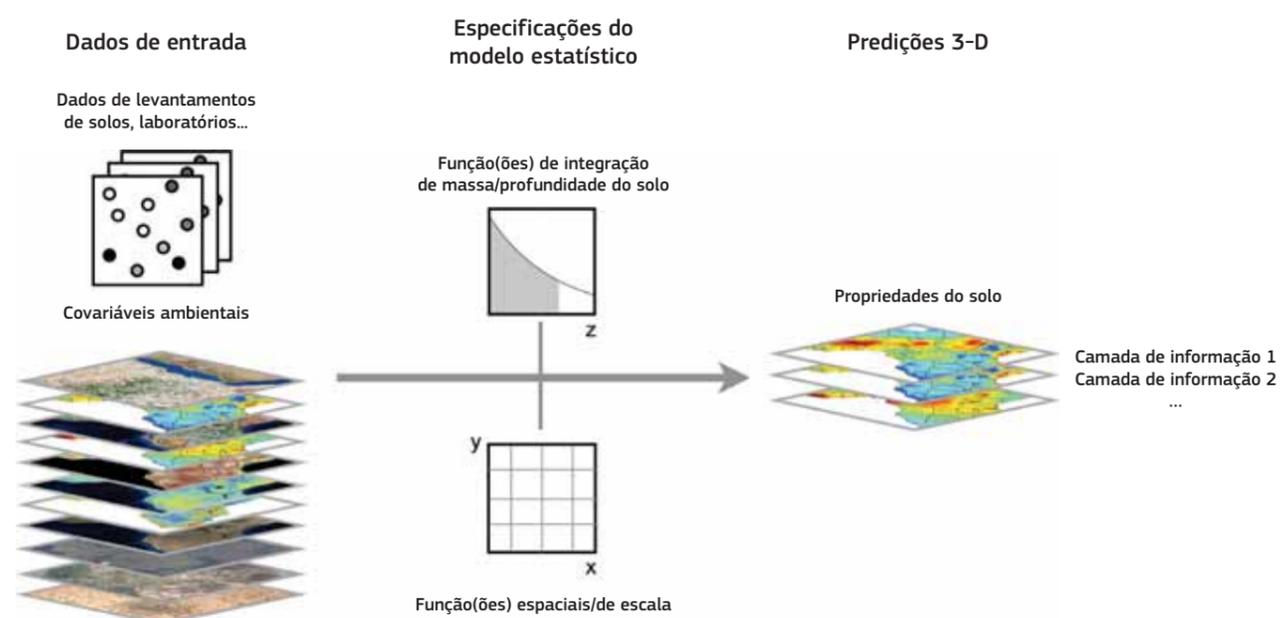
Estrutura da base de dados aplicadas em SOTERLAC. (ISRIC)

## O mapeamento digital de solos - MDS

Os mapas de solos que compõem este Atlas foram obtidos pelo procedimento tradicional de levantamento de solos. Este processo envolve o delineamento manual dos limites dos solos realizados pelos pedólogos a partir de amostras coletadas no campo e da apreensão da relação entre a paisagem e o material geológico de base. No entanto, este método exige uma grande quantidade de recursos, tanto humanos como financeiros e tempo. Nos últimos anos, a atenção tem se voltado para o potencial do mapeamento digital de solos (MDS ou DSM, do inglês Digital Soil Mapping), também conhecido como correlação preditiva solo-paisagem ou Pedometria. O MDS usa modelos matemáticos e geoestatísticos para, a partir de uma base de dados de solos existente, prever propriedades ou classes de solo em lugares não observados da paisagem, em um menor tempo do que normalmente seria requerido para realizar os levantamentos de solos tradicionais [52]. Esta abordagem consiste em aplicar o modelo clássico de formação do solo descrito por Jenny (1941), que afirma que o solo é uma função de uma série de fatores (clima, organismos, relevo, material de origem, tempo), para o qual acrescentaram que o solo também pode ser descrito usando outras informações de solos (mapas, planilhas, informações do pedólogo, etc.) e a posição geográfica (coordenadas X e Y) [110]. Para os fatores de formação do solo, consulte a página 15.

Esta abordagem matemático-estatística difere no grau de realismo que envolve sua representação (depende dos dados disponíveis e do modelo), como da complexidade dos cálculos aplicados: (por exemplo, regressão e krigagem, co-simulação, redes neurais etc.) e até das ferramentas mais recentes, baseadas em modelos hierárquicos, equações generalizadas, modelos aditivos, cadeias de Markov e simulações de Monte Carlo.

As predições estão fortemente condicionadas pelas relações entre as condições do solo em posições conhecidas e os conjuntos de dados associados como covariáveis. Estas covariáveis ambientais incluem diversos dados, por exemplo, de reflectância e informação derivada de imagens de satélite (albedo ou cobertura vegetal), modelos digitais do terreno e condições climáticas (umidade do solo, temperatura anual). A hipótese básica do mapeamento digital de solos é que, uma vez que se conheça a distribuição espacial desses fatores, pode-se prever geograficamente as propriedades específicas de maneira contínua no espaço, tendo em conta suas inter-relações com outros elementos da paisagem. Um aspecto fundamental do MDS são as incertezas associadas, já que revelam a fiabilidade das estimativas das predições realizadas.

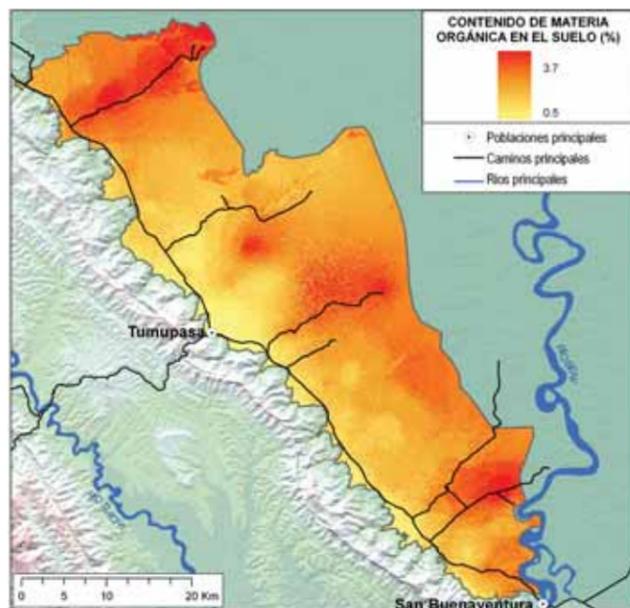


**Acima:** representação esquemática do mapeamento digital de solos. As características do solo em locais conhecidos são combinadas com conjuntos de dados associados (covariáveis) para, através de modelos estatísticos, prever as propriedades do solo nas áreas não amostradas. Uma das múltiplas vantagens do mapeamento digital de solos é a capacidade de elaborar rapidamente mapas com uma avaliação de precisão quantitativa. No entanto, podem ocorrer erros se os modelos não representarem bem os parâmetros estudados, ou seja, se os dados de entrada não são confiáveis. (AFSIS)

## O mapeamento digital de solos na ALC

O uso desta tecnologia não ainda é comum na ALC. Aplica-se principalmente na área de agricultura de precisão em países como Brasil, Chile e Argentina. Alguns centros de investigação iniciaram o uso do mapeamento digital de solos no contexto de políticas de investigação e desenvolvimento, em países como a Argentina (INTA, Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária), Bolívia (Universidade Mayor de San Simón), Brasil (Embrapa Solos), Chile (empresas privadas), Venezuela (Universidad Central de Venezuela).

O seu principal uso na região tem sido para gerar mapeamento quantitativa de propriedades do solo (teor de argila, areia e silte, teor de carbono orgânico e outros atributos relacionados com a fertilidade do solo). Abaixo segue um exemplo da aplicação de mapeamento digital de solos na Bolívia. O MDS neste caso, foi usado para gerar dados e informações quantitativas sobre o estado atual dos solos no município de San Buenaventura, a fim de avaliar seu potencial para o cultivo de cana de açúcar sob diferentes cenários de manejo. O mapa à direita mostra o teor da matéria orgânica na parte superior dos solos da área de estudo.



Aplicação de cartografia digital de solos para estimar o teor de carbono orgânico numa área de Bolívia. (RV)

## Estado da informação de solos na ALC\*

País	Mapas de Solos
Argentina	Mapa Nacional de Solos 1:2.500.000 Cobertura parcial a 1:500.000 (18% do território).
Bolívia	Levantamentos desde a década de 1980. Mapas de solos para o ordenamento do território: 1:250.000 para departamentos e 1:50.000 para municípios (110 de 327 georreferenciados estão completos). Em alguns departamentos, projetos de cooperação internacional para elaboração de bases de dados, SIG e perfis associados.
Brasil	Cartografia exploratória a 1: 6.000.000 até os anos 1980. Algumas áreas mais detalhadas (< 1:50.000). Mapa dos Solos a 1 : 5.000.000 para todo o país. Alguns estados, também em escalas maiores (1:250.000 - 1:100.000).
Chile	Cobertura de aproximadamente 70% do país. As áreas agrícolas totalmente cobertas a 1: 20.000 (digital). Algumas áreas a 1:10.000 (digital). Entre os anos 1950 e 1970 a cartografia foi elaborada a escala 1: 500.000 e 1:50.000.
Colômbia	Todo o país a 1:500.000 e 1:100.000.
Costa Rica	Cobertura incompleta e digitalização parcial: 20% do país em áreas naturais protegidas, sem nenhum tipo de estudo ou de cartografia realizada. Pouca informação existente sobre classes de solos sem valor agrícola. Para o resto: solos e capacidade de uso do solo a 1:200.000 (anos 90), digitalizado em parte. Algumas regiões a 1: 50.000 (digital).
Cuba	Em 1990, mapa nacional a 1: 25.000 a partir de mais de 73.000 perfis. Digitalização em procedimento.
El Salvador	Mapas digitais sobre uso dos solos ou classes de terra, entre outros.
Equador	Variável de acordo com as regiões: região serrana a 1:50.000, costa 1:200.000, Amazônia 1:500.000. Existem mapas a escala nacional para as diferentes variáveis (por exemplo, teor de matéria orgânica, pH, profundidade, textura).
Guatemala	Mapa taxonômico e de capacidade de uso a 1: 50.000, em processo. Cobertura inferior a 10%.
Honduras	1962: mapa parcial a 1:250.000. 1995: mapa de capacidade de uso agrícola 1: 50.000. Digitalização em processo. Mapa de solos em elaboração, usando o anterior como base.
México	1:250.000 concluído em 2007. Em formato digital as séries I (2002) e série II (2007), aguarda a validação de alguns resultados de laboratório). 2008 – Mapa Nacional de Erosão do Solo 1:250.000 (fase de verificação de campo).
Nicarágua	Mapa agroecológico (uso potencial da terra) 1:250.000 de 1988 e posteriormente digitalizado. Mapa de solos em nível de ordem.
Panamá	51% do território coberto com cartografia tradicional já digitalizados (1:50.000 e 1:20.000). Restante 22% a 1:300.000. A partir da informação georreferenciada são elaborados mapas temáticos (exemplos: fertilidade, pH, teor de matéria orgânica).
Paraguai	Dois regiões de características muito diversas. Também suas cartografias: nomenclatura diferente, a escala (1:100.000 e 1:250.000).
Peru	Cobertura a cartografia variável: por exemplo Amazônia, a maioria 1:100.000, aproximadamente 50% a 1:50.000 e muito pouco a 1:25.000.
República Dominicana	1967: primeiro mapa (1: 250.000) da OEA (Organização dos Estados Americanos). Não existem mapas detalhados nem de propriedades químicas, físicas ou biológicas.
Uruguai	Carta de solos de cobertura nacional a 1:1. 000.000, digitalizada. Cobertura parcial a 1:100.000 e 1:250.000. CONEAD Digital: potencial de produtividade de carne e lã a escala 1: 15.000 e parcelários; com informação geral dos grupos de solos, não desagregados (tarefa para o futuro).
Venezuela	Cobertura: 95% a 1:250.000 (5% restante corresponde às áreas de montanha), 17% (áreas agrícolas) a escala 1:100.000 ou mais detalhado. SITVEN (Sistema de Informação de Terreno), cobre cerca de 50% do país. Em atualização. Outros produtos: SIG ambiental da indústria petrolífera a 1:100.000 (em áreas de conflito de uso da terra, 1: 25.000).

\*A informação contida na tabela acima, foi proporcionada pelos países participantes desta publicação, o que não implica que para outros países não haja essas informações.

# Os solos e o uso da terra na ALC

Nas últimas décadas na América Latina e Caribe, assim como em muitas outras partes do mundo, em ocorrendo mudanças no uso da terra.

Este processo dá-se frequentemente às custas dos ecossistemas naturais e, em menor medida, das áreas agrícolas e constituem uma ameaça potencial para os solos. Os principais fatores que determinam essa modificação ambiental são o desenvolvimento agropecuário, as atividades florestais, o desenvolvimento urbano e turístico e as atividades extrativas. A distribuição da propriedade da terra influencia estes processos. No caso da América Latina e do Caribe, os direitos de propriedade são distribuídos com uma proporção entre o Estado (33%), a propriedade coletiva (grupos indígenas e camponeses, 33%), e os proprietários privados (34%), de acordo com dados de 2008 do Sunderlain e outros autores [53].

A demanda de terra para a agricultura, tanto de subsistência como para o agronegócio continua a aumentar, sendo este um dos principais fatores associados ao desmatamento, apesar do fato de que os principais ecossistemas florestais da região estão localizados principalmente nas terras sob propriedades públicas e coletivas, nas mãos do Estado e de grupos comunitários camponeses e indígenas.

No entanto, deve-se destacar que a globalização gera duas tendências opostas ao uso da terra na América Latina: a crescente demanda global por alimentos acelera o desmatamento em favor de áreas para a agricultura moderna, enquanto o abandono de terras agrícolas marginais promove a recuperação dos ecossistemas em áreas com solos pobres, em áreas de difícil acesso ou de baixa disponibilidade de água, entre outros.

A perda de cobertura vegetal associada com estas alterações do uso do solo afetam a troca de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera, o que causa efeitos microclimáticos e afeta a capacidade de retenção de carbono. Aliás, implica na perda de biodiversidade, degradação do solo, deterioração e/ou perda de serviços ambientais, perda de resiliência e aumento da vulnerabilidade dos assentamentos humanos diante das perturbações naturais e eventos climáticos extremos [54].

## Produção agrícola e pecuária

Estima-se que cerca de 30% do território da ALC seja adequado para atividades agrícolas. A globalização e a crescente demanda internacional por produtos como cereais, soja, carne e biocombustíveis, determinam um aumento da área dedicada a produção agropecuária.

A expansão da produção agropecuária leva à conversão de terras anteriormente cobertas por diferentes tipos de vegetação, especialmente as florestas, bem como uma maior exploração dos recursos naturais como o solo e a água, com a consequente agravamento dos processos de degradação das terras.



Nesta imagem de satélite se observa o desmatamento no Haiti (esquerda). O rio marca a fronteira entre os dois países (República Dominicana à direita). (NASA)

As políticas setoriais também podem tornar-se em incentivos que dão impulso às mudanças no uso da terra. Por exemplo, o aumento dos preços das matérias-primas no âmbito internacional, como no caso da soja, tem favorecido as políticas econômicas dos países da América Latina, que incentivam a expansão de monoculturas extensivas para atender às demandas externas deste produto, como é o caso na Argentina, Brasil, Paraguai e Bolívia. No caso do Brasil, por exemplo, o uso da terra vem se transformando substancialmente, devido à produção de biocombustíveis (biodiesel e etanol) a partir das plantações de soja e cana de açúcar.

O aumento da superfície agrícola é acompanhado pela mudança no tipo de culturas cultivadas. A produção média per capita de culturas como a mandioca, batata, trigo e arroz, está diminuindo enquanto se verifica o aumento da área cultivada para a produção de óleos (soja, girassol e óleo de palma), milho (especialmente para uso industrial), frutas tropicais, hortaliças e em menor proporção, o açúcar [55].

Como resultado, toda a ALC está convertendo sua produção agrícola para atender a um novo modelo econômico, que visa aumentar o comércio, mas ao mesmo tempo, está enfraquecendo sua capacidade de garantir a produção de alimentos básicos para o continente.

A atividade agrícola está intimamente relacionada com a produção da pecuária, e essa relação é ainda mais tangível na atualidade, devido que aproximadamente 40 % da produção mundial de grãos se destina à alimentação do gado. Entre 1990 e 2007, o número de cabeças de gado aumentou em 20%, atingindo 392,3 milhões de cabeças, principalmente na América do Sul e na América Central, com uma diminuição de 800 mil cabeças no Caribe.

## O caso da soja

O cultivo desta leguminosa exemplifica o processo de transformação do uso da terra, pois dada sua importância econômica, a superfície cultivada aumenta às custas da produção de alimentos básicos e de áreas cobertas com vegetação natural. Entre 1990 e 2005, a área com cultivo de soja aumentou em 22,3 milhões de hectares. O caso argentino é paradigmático: desde 1995 a área dedicada a esta cultura triplicou; o incremento no valor de uma tonelada de soja (que aumentou de 291,15 dólares em 1997 a 418 USD em 2007), reforçou o compromisso do país em ser um dos principais fornecedores globais de produtos derivados da soja (o terceiro maior produtor de farinhas e o primeiro na produção de biodiesel). No entanto, este desenvolvimento econômico surgiu de um processo de "agriculturização" (implica a conversão para a agricultura de áreas historicamente dedicadas à pecuária ou a substituição de outras culturas pela monocultura de soja) e "pampeanização" (conversão de áreas de regiões dos Pampas para produção de soja) com graves consequências, tais como o desmatamento, a perda da biodiversidade e a contaminação (por exemplo, por pesticidas), com problemas sociais envolvidos [56].



Paisagem típica do Pampa argentino em Santa Fe. (GS)

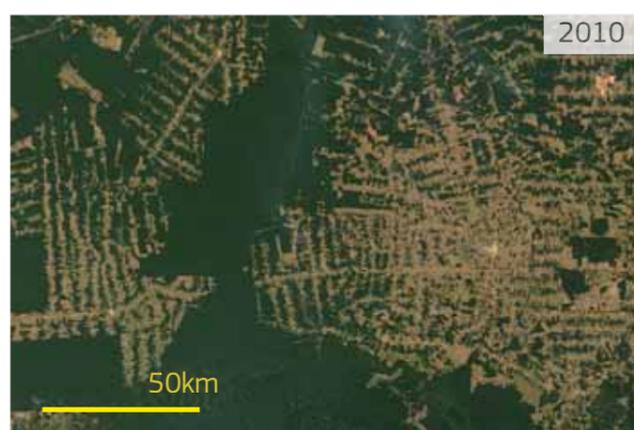
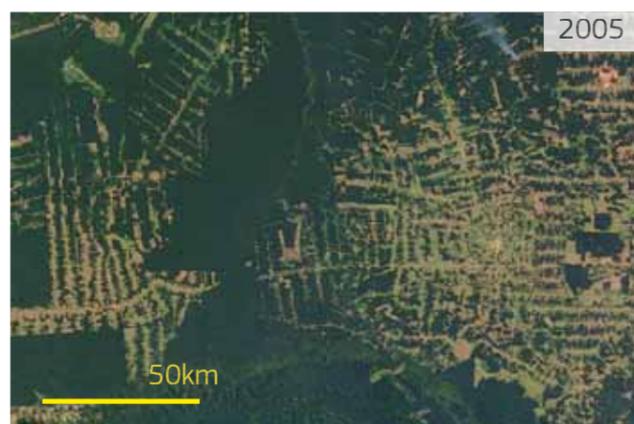
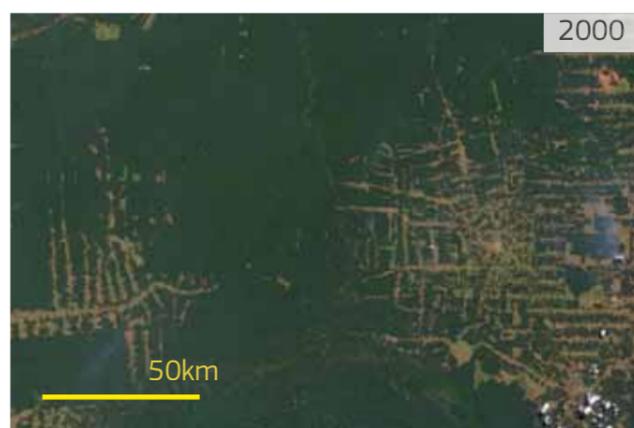
## América Latina e o Caribe: Importância econômica da agricultura

1. Determinante na economia (entre 34,1 e 17,2% do PIB)	2. Importante (entre 13,6 e 9,4% do PIB)	3. Moderadamente importante (entre 7,9 e 6,9% do PIB)	4. Menos importante (entre 6,4 e 0,7% do PIB)
Guiana	Honduras	Brasil	Cuba
Guatemala	Bolívia	Costa Rica	Chile
Haiti	Colômbia	Peru	Jamaica
Paraguai	Suriname	Uruguai	Argentina
Nicarágua	Equador	Panamá	Barbados
Belize	El Salvador	São Vicente e Granadinas	México
República Dominicana			Venezuela
			Santa Lucia
			Granada
			Antígua e Barbuda
			São Cristóvão e Névis
			Trinidade e Tobago

Importância econômica do setor agropecuário nos países da ALC em 2007. (Fonte: CEPAL) [57]

## Atividades florestais

A cobertura florestal na América Latina e o Caribe abrange cerca de 9 milhões de km<sup>2</sup>, o que representa 45% da superfície da região. De 1990 a 2005, a percentagem da cobertura vegetal da região caiu de 24,1 a 23,2%, sendo uma das regiões com as maiores perdas líquidas de florestas em âmbito global.



Nestas fotos se revela a área desmatada da superfície da bacia amazônica em 2000, 2005 e 2010. (NASA)

Entre 2000 e 2005, a taxa de perda anual foi de 0,50%, quase o triplo da taxa anual mundial (0,18%). As florestas tropicais perenifólias (incluindo a floresta úmida tropical), representam 90% da extensão total das florestas na região, enquanto que as florestas caducifólias ocupam os restantes 10%. Os fragmentos maiores e contínuos das florestas estão localizados na Bacia Amazônica (6 milhões km<sup>2</sup>), enquanto as florestas tropicais caducifólias estão localizadas na região boliviana de Santa Cruz, perto da fronteira com o Brasil [58].

A perda acumulada de áreas florestais na ALC entre 2000 e 2005 foi de cerca de 24 milhões de hectares, registrando-se a perda média anual na América Central. Esta perda total equivale a quase 64% da perda mundial acumulada nesse período. A América do Sul, onde se encontra o maior estoque de carbono (na floresta tropical úmida), registrou-se a maior perda líquida de florestas neste período (ao redor de 4,3 milhões de hectares por ano). Isto foi causado principalmente, pela expansão agrícola [59]. Contudo, existem muitas diferenças entre as regiões. Por exemplo, a maioria dos países insulares têm preservado ou restaurado suas áreas florestais, provavelmente à causa de sua dependência econômica das atividades de ecoturismo e da relativamente baixa pressão populacional. Este é o caso de Cuba, que conseguiu duplicar sua área florestal nos últimos 50 anos (atualmente a área florestal cobre 28% do território).

No entanto, na região tropical continental, quase todos os países apresentam uma redução da floresta primária; com exceção dos países menos populosos, como Suriname, Guiana e Belize.

Se estima que o desmatamento da região é responsável por 48,3% do total das emissões globais de CO<sub>2</sub>, quase a metade das quais se originam no Brasil, principalmente na bacia Amazônica [59].

Em muitos casos, ocorre a substituição de florestas primárias por plantações comerciais, que leva a efeitos ecológicos indesejáveis, tais como a perda da biodiversidade.

Uma análise comparativa entre os valores de desmatamento e o aumento da pecuária, revela que em muitos países o aumento do número de cabeças de gado, está relacionado com a diminuição da cobertura florestal (por exemplo, na Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guatemala, Nicarágua, Paraguai, Peru e Venezuela) [57].

## Expansão urbana

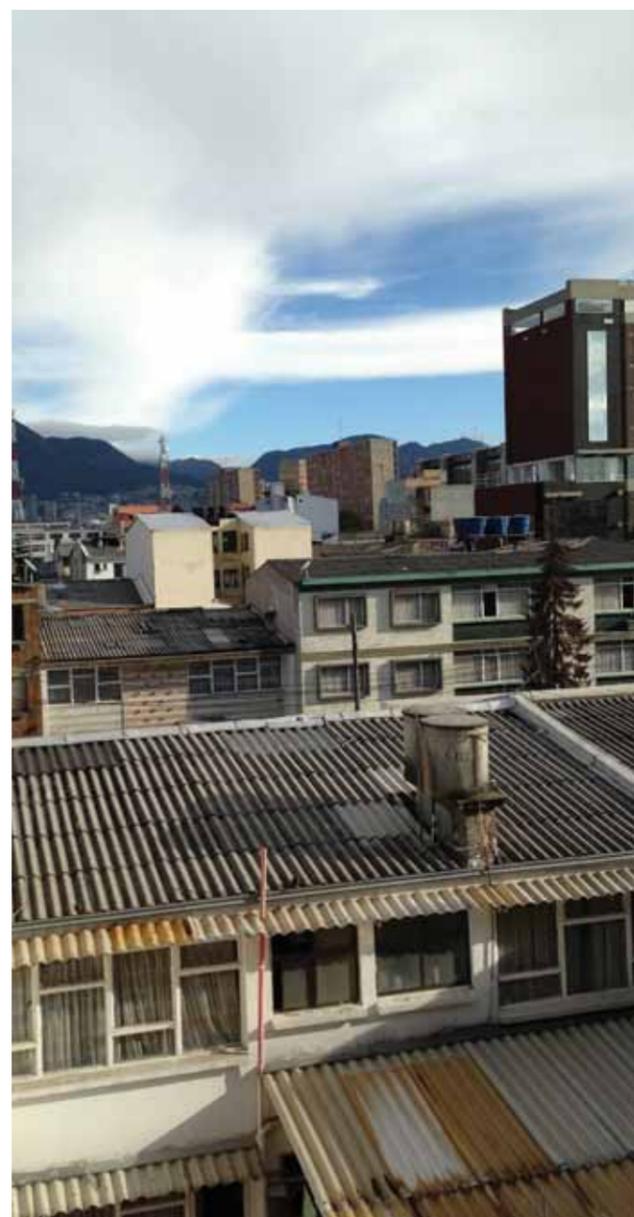
A urbanização significa o avanço e expansão das cidades e a construção de novos povoados, que geralmente localizam-se sobre solos férteis.

Deste modo, se perde a melhor terra agrícola, se impede a recarga de depósitos de águas subterrâneas se se destrói a flora e a fauna do solo. Em muitos países, grande parte dos solos de alto potencial agrícola localiza-se dentro dos limites urbanos e portanto, encontram-se ameaçados pelo rápido crescimento das cidades.

As Nações Unidas estimam que a população urbana do mundo irá aumentar em mais de 60% até o ano 2030. O debate sobre o crescimento urbano é particularmente importante na América Latina, já que compreende uma das maiores taxas de urbanização do mundo. Em 2008, 81% da população habitava nas áreas urbanas e espera-se a que este número aumente à medida que os países da América Central se desenvolvam [60]. De acordo com dados das Nações Unidas [61], a população urbana da ALC passou de 176 milhões em 1972 a 391 milhões no ano 2000, e está previsto chegar aos 604 milhões até o ano 2030. Durante o mesmo período, a percentagem total da população vivendo em áreas urbanas aumentou em 7%, e é esperado atingir 83% da população total no ano de 2030, uma proporção semelhante à existente nos países altamente industrializados.

Estes processos de urbanização, desenvolvimento urbano e infraestrutura de transporte, comprometem a maioria das funções dos solos.

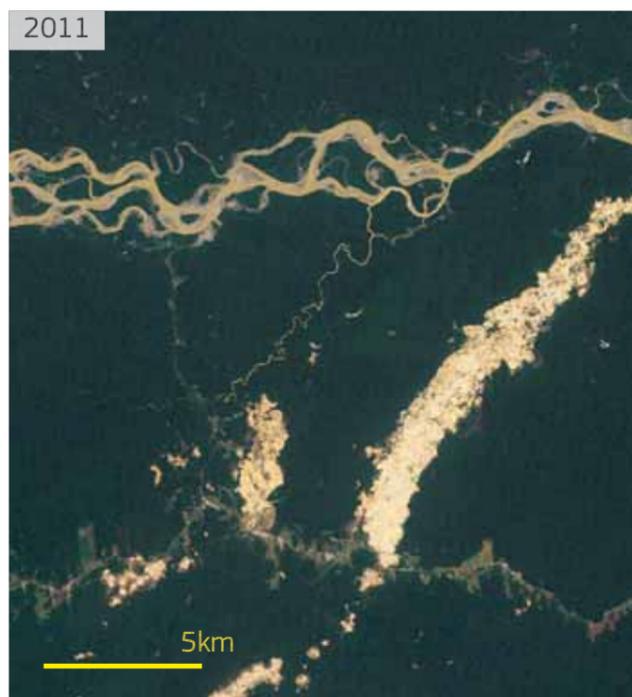
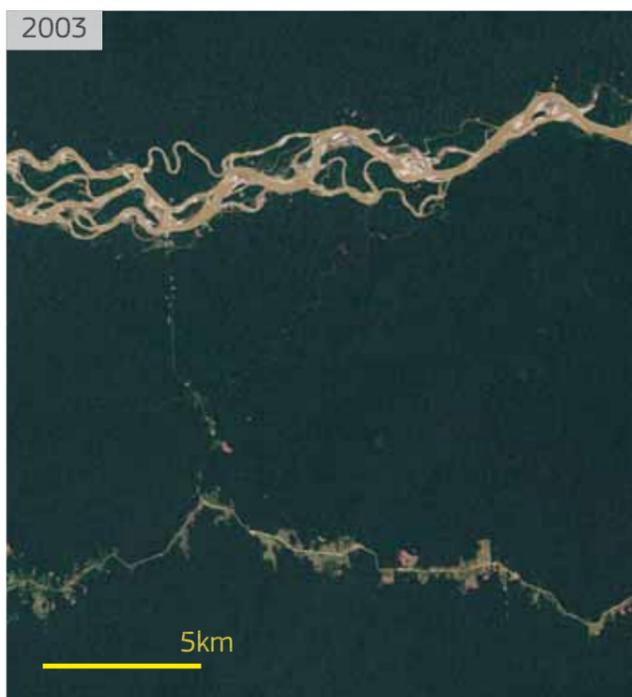
Em algunos casos, como en México, se da la urbanización de las zonas agrícolas como sucede en las chinampas. Esto es una consecuencia de los bajos precios de los productos agrícolas y el alto costo de la vivienda, junto con la mayor rentabilidad de las actividades turísticas. Esta situación trae como consecuencia la pérdida de la función agrícola de los suelos, al ser sellados con cemento o asfalto.



Urbanização densa em Bogotá, Colômbia. (CG)



O crescimento urbano em Manaus (Brasil): Manaus é a capital do estado do Amazonas. A fundação da zona franca em 1967 transformou esta cidade num centro industrial importante, o que causou um crescimento demográfico e uma expansão da área urbana de forma abrupta e desorganizada. Atualmente, a cidade conta uma população estimada em 1,7 milhões de habitantes. A expansão da urbanização nos últimos 20 anos tem sido o grande desafio para a preservação ambiental em Manaus. O avanço desorganizado da cidade tem causado prejuízos sem precedentes para o meio ambiente e uma série de impactos como o desmatamento, a destruição de nascentes, a extinção de espécies animais nativos e a erosão. As imagens de satélite Landsat revelam o padrão de expansão urbana entre 1973 a 2007. A área urbana é refletida em cor clara na imagem (1973), e violeta (2007). Outras áreas de cor violeta ao norte da cidade correspondem as áreas desmatadas. (Fonte: PNUMA) [62]



Desmatamento da floresta amazônica entre os anos 2003 e 2011 causado pela extração de ouro na região remota de Madre de Dios (Peru), próximo da fronteira com a Bolívia. Com o aumento do preço do ouro (360% em 10 anos, de 2001 a 2011), começaram a chegar nesta região peruana, inúmeros mineiros ilegais. O resultado não é só o desmatamento mas também a contaminação por mercúrio, utilizado no processo de purificação de ouro. (NASA)

Torna-se cada vez mais importante o investimento na pesquisa focada na caracterização dos impactos ambientais das grandes explorações mineiras, bem como sobre novas tecnologias para a extração de metais mais respeitosa com o meio ambiente (como por exemplo, o uso de bactérias oxidantes ou espécies vegetais para extrair certos minerais).

Além disso, a mineração a pequena escala também pode ser uma fonte importante de contaminação e de erosão. Por exemplo, o uso de mercúrio para a extração de minerais afetam as reservas de água, principalmente nas áreas florestais e montanhosas, afetando os organismos aquáticos e a população que dependem deste recurso.



Mina de cobre a céu aberto Radomiro Tomic, na Região II do Chile. Uma mina desenvolvida em condições hiper áridas e em altitude (deserto do Atacama), onde a noção de solo se restringe a um Horizonte C pouco definido. Nestas circunstâncias, nenhuma atividade de mineração constitui uma atividade verdadeiramente agressiva para o solo (embora o seja para o ambiente natural). (IDP)

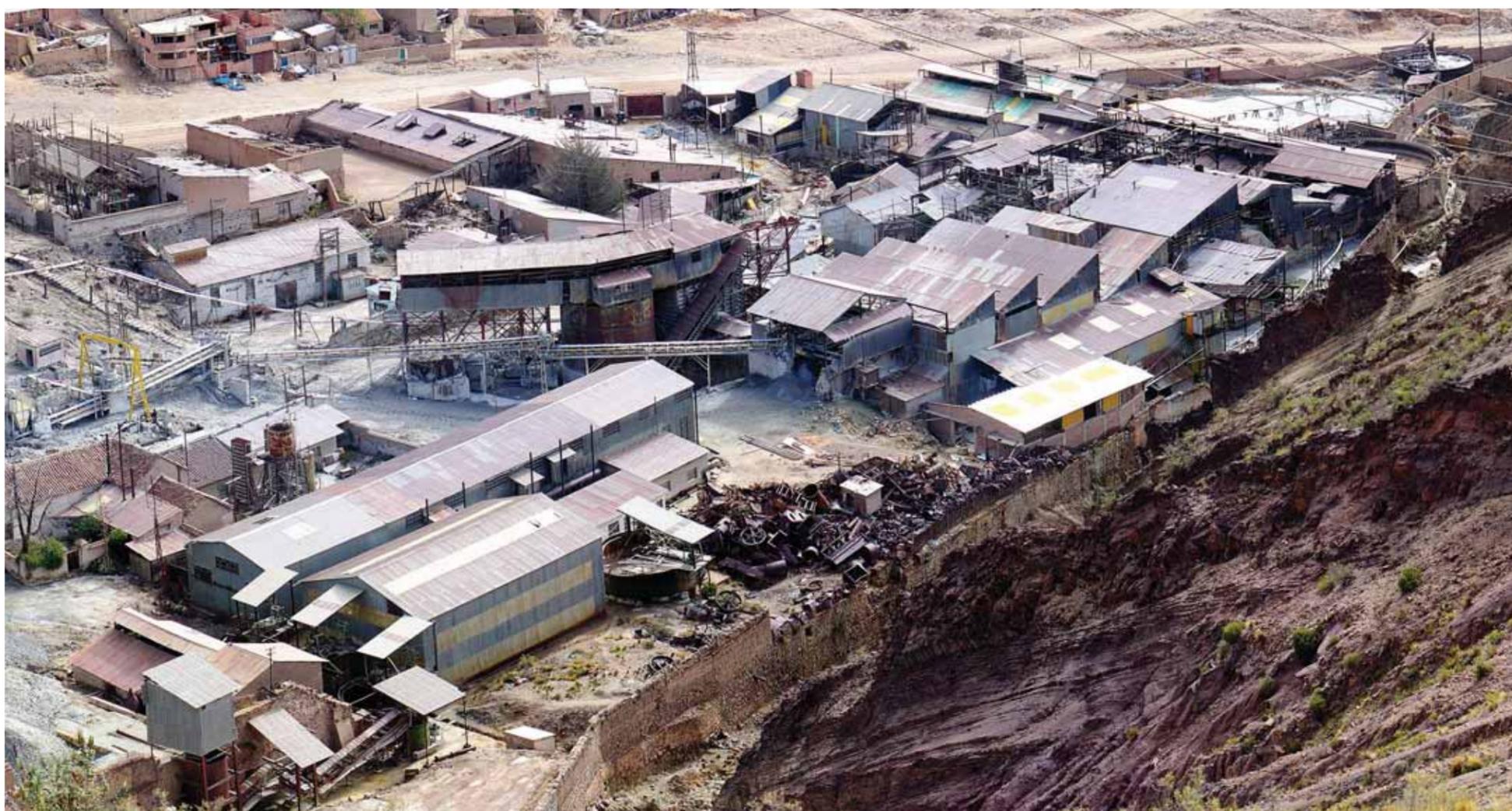
## Mineração

A mineração tem sido historicamente uma das atividades mais contaminantes na região. O desenvolvimento desta atividade não afeta apenas as reservas minerais exploradas, mas também influi sobre outros recursos naturais -água, vegetação ou solos- e gera grandes quantidades de resíduos contaminantes.

Este setor continua a ser uma fonte de atração de capitais e desempenha um papel importante em muitas economias nacionais: a contribuição média dessa atividade para a economia da América Latina é de 4%, mas existem países onde chega a 8% (Chile, Peru) e até 10-25% (Jamaica).

Considerando-se o potencial de mineração, e levando em conta as melhores práticas de mineração e sem incluir restrição no uso da terra, os grandes investidores consideram o Peru como um dos países mais atrativos, seguido do Chile, México, Brasil, Argentina, Bolívia, Venezuela e Equador.

Na Colômbia, por exemplo, encontram-se os maiores projetos de mineração a céu aberto do mundo. Uma delas é a mina de carvão El Cerrejón, onde foram registradas em 2007, mais de 70 mil hectares explorados e cerca de 29,8 milhões de toneladas de exportação. No México, as paisagens com mineração a céu aberto são conhecidas como "jales". Na maioria das vezes, o relevo é alterado de maneira irreversível, assim como os solos e a biota. Além disso, os jales, muitas vezes poluem o solo e os corpos de água mais próximos.



Vista da exploração mineira de Potosí, localizada ao sul da Bolívia. A cidade se expande no sopé da montanha legendaria Sumaj Orcko (quechua: 'Cerro Rico'), onde se situava a maior mina de prata do mundo. (SG)

## Uso atual da terra

O uso da terra se define como a sequência de operações executadas a fim de obter bens e serviços do meio ambiente [59]. Existem diferentes usos em função dos bens e serviços que se deseja obter do território por meio de sua gestão particular. O uso do solo é geralmente determinado por fatores socioeconômicos e pelo potencial biofísico do meio em que se encontra, tal como

pelos limites que este impõe. Em âmbito regional e global, a informação sobre o uso da terra pode ser extraída a partir dos dados do censo agropecuário, da cobertura do solo e dos mapas dos recursos biofísicos. Uma das bases de dados mundiais sobre o uso atual da terra é o "Land Use System" realizado pela FAO no escopo do projeto LADA, com uma resolução espacial de

cinco minutos de arco (cada pixel corresponde a cerca de 7.200 ha) [63]. Para executar este mapa a nível global, foram usados outros mapas, como o Global Land Cover 2000 (JRC), mapas de distribuição de culturas (Agro-Maps, FAO-IFPRI), de atividades pecuárias, ecossistemas e fatores biofísicos, tal como dados de tipo socioeconômico.



## Posse da terra, apropriação e segurança alimentar

A terra tem historicamente um importante significado cultural, religioso e jurídico para as diferentes sociedades. Na América Latina se testemunhou o nascimento de vários movimentos sócio-políticos que lutaram (e ainda lutam) por uma gestão democrática do território, por exemplo:

- O Movimento Zapatista em 1910 e as das vilas rebeldes de Chiapas em 1994, onde a luta pela terra foi uma das principais razões.
- Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST). Um movimento sócio-político brasileiro de inspiração marxista com o objetivo de alcançar a reforma agrária no Brasil. Originou-se como oposição ao modelo de reforma agrária imposto pelo regime militar, principalmente

nos anos 1970, o qual priorizava a colonização de regiões remotas do território, para a produção e exportação dos excedentes e para implementar a integração estratégica. Contrariamente a este modelo, o MST busca principalmente a redistribuição das terras improdutivas. O grupo está entre os maiores movimentos sociais da América Latina (cerca de meio milhão de camponeses sem terra organizados em 23 dos 27 estados do Brasil).

- A Via Campesina é um movimento internacional que coordena organizações camponesas, pequenos e médios produtores, mulheres rurais, comunidades indígenas, trabalhadores rurais migrantes, jovens e trabalhadores sem terra. Trata-se de uma coalisão de 148

organizações de cerca 69 países que defendem a agricultura familiar e sustentável. Esta coalisão lançou o conceito de soberania alimentar como o direito dos povos de definir suas políticas agrícolas e de produzir alimentos localmente.

- Outro aspecto importante é a apropriação ou estrangeirização da terra (land grabbing, em inglês). Refere-se à aquisição de grandes extensões de terras realizadas por particulares, grandes empresas estrangeiras e por alguns países interessados em expandir suas reservas de recursos naturais. Um estudo recente conduzido pela FAO para a América Latina e o Caribe, concluiu que este fenômeno é novo e está restrito aos grandes países da região (Brasil e Argentina)

### Classes do uso atual da terra (correspondente à legenda do mapa na página 119)

Classes gerais	Categorias incluídas na classe geral		
Floresta virgem			
Floresta protegida			
Outras florestas	Floresta com atividades agrícolas	Floresta com carga de gado moderada-alta	
Campos Naturais ou Pradarias sem aproveitamento	Pradarias sem manejo	Pradarias protegidas	
Campos Naturais ou Pradarias com aproveitamento	Pastagens com carga de gado moderada	Pastagens com densidade alta de gado	Pastagens com carga de gado baixa
Matorrais	Zonas arbustivas sem gestão	Zonas arbustivas protegidas	
	Zonas com escassa vegetação sem gestão	Zonas com escassa vegetação protegidas	
Matorrais pastoreados	Zonas arbustivas com carga de gado moderada	Zonas arbustivas com alta densidade de gado	
	Zonas com vegetação escassa e densidade baixa de gado	Zonas com escassa vegetação com densidade moderada-alta de gado	Zonas arbustivas com carga de gado baixo
Agricultura intensiva	Cultivos moderadamente intensivos com densidade alta de gado	Cultivos e carga de gado de alta densidade	Cultivos a grande escala com irrigação e carga moderada-alta de gado
	Agricultura de irrigação a grande escala	Viveiros	
Agricultura extensiva	Cultivos de sequeiro (de subsistência /comercial)		
Zonas úmidas	Zonas úmidas protegidas	Manguezais	Zonas úmidas com atividades agrícolas
Terrenos baldios	Sem gestão	Com densidade moderada de gado	Com densidade baixa de gado
	Protegidos		
Águas	Sem gestão	Protegidas	Zonas de pesca continental
Áreas urbanas			

**Acima:** o uso da terra é o fator individual mais importante da degradação do solo. Portanto, o conhecimento do uso da terra é essencial para avaliar os processos reais ou potenciais de degradação do solo. O mapa na página anterior revela os sistemas de distribuição do uso da terra, agrupados em 13 classes. Na tabela encontramos a classificação original, mais detalhada, onde se derivam as classes do mapa do uso atual. (FAO/JRC)

## De “Global Land Use” a “Land Use Systems”

### Cobertura do terreno

- Áreas artificiais
- Terrenos baldios
- Cultivos
- Cobertura herbácea
- Cultivos irrigados
- Mosaico: agricultura/vegetação arbustiva e/ou pastagem
- Mosaico: agricultura/vegetação arbórea/ outra vegetação natural
- Mosaico: Vegetação arbórea/outra vegetação natural
- Vegetação arbustiva e/ou herbácea, frequentemente inundáveis
- Cobertura arbustiva de espécies decíduais
- Cobertura arbustiva de espécies perenes
- Neve e gelo
- Cobertura escassa de herbáceas ou arbustivos
- Cobertura arbórea, de espécies decíduais, densa
- Cobertura arbórea, de espécies decíduais, aberta
- Cobertura arbórea, de espécies perenes, aberta
- Salinas
- Cobertura arbórea mista
- Cobertura arbórea de coníferas decíduais
- Cobertura arbórea de coníferas perenes
- Cobertura arbórea frequentemente inundável (água doce)
- Cobertura arbórea frequentemente inundável (água salgada)
- Cornos d'água



O mapa ilustrado à esquerda é um exemplo (neste caso, de Buenos Aires, Argentina) do projeto Global Land Cover, o qual, como já explicado anteriormente, foi utilizado como base de dados inicial para a elaboração do mapa de Land Use Systems (LUS).

Este mapa contém uma maior resolução geográfica (1 km) e ilustra a cobertura do solo, no entanto, não inclui informações sobre aspectos sócio-econômicos, tais como a gestão do território. Na classificação da legenda podemos observar que só existe uma classe correspondente ao sistema de gestão do território (“áreas cultivadas e geridas”), enquanto que relativas aLUS se encontra seis classes que descrevem várias atividades agrícolas, como observado na tabela acima (“Cultivos de sequeiro”, “Cultivos moderadamente intensivos com pecuária de alta intensidade”, “Cultivos em grande escala com irrigação e atividade pecuária moderada-alta”, “Agricultura de irrigação em grande escala” e “Viveiros”). (JRC)

## Uso potencial da terra

Os levantamentos ou estudo de solos constituem a base onde se fundamenta o conhecimento dos solos de uma determinada região. Abrangem a na caracterização de campo e de laboratório dos distintos tipos de solos encontrados e seu mapeamento ou distribuição espacial sintetizado num mapa. Por tratar-se de um documento técnico, com numerosos termos, que por vezes são difíceis de entender pelos não especialistas, se anexam interpretações simplificadas dos resultados principais aplicados. O objetivo é de conhecimento da potencialidade do solo para a agricultura, pecuária ou florestal, ou algum outro tipo de atividade onde os solos desempenhem um papel importante.

Neste processo, os dados do solo são combinados com os climáticos, no que se denomina "terra". A integração de ambos os fatores, permite estabelecer se as áreas que compõem um território são adequadas para o uso a que são destinadas.

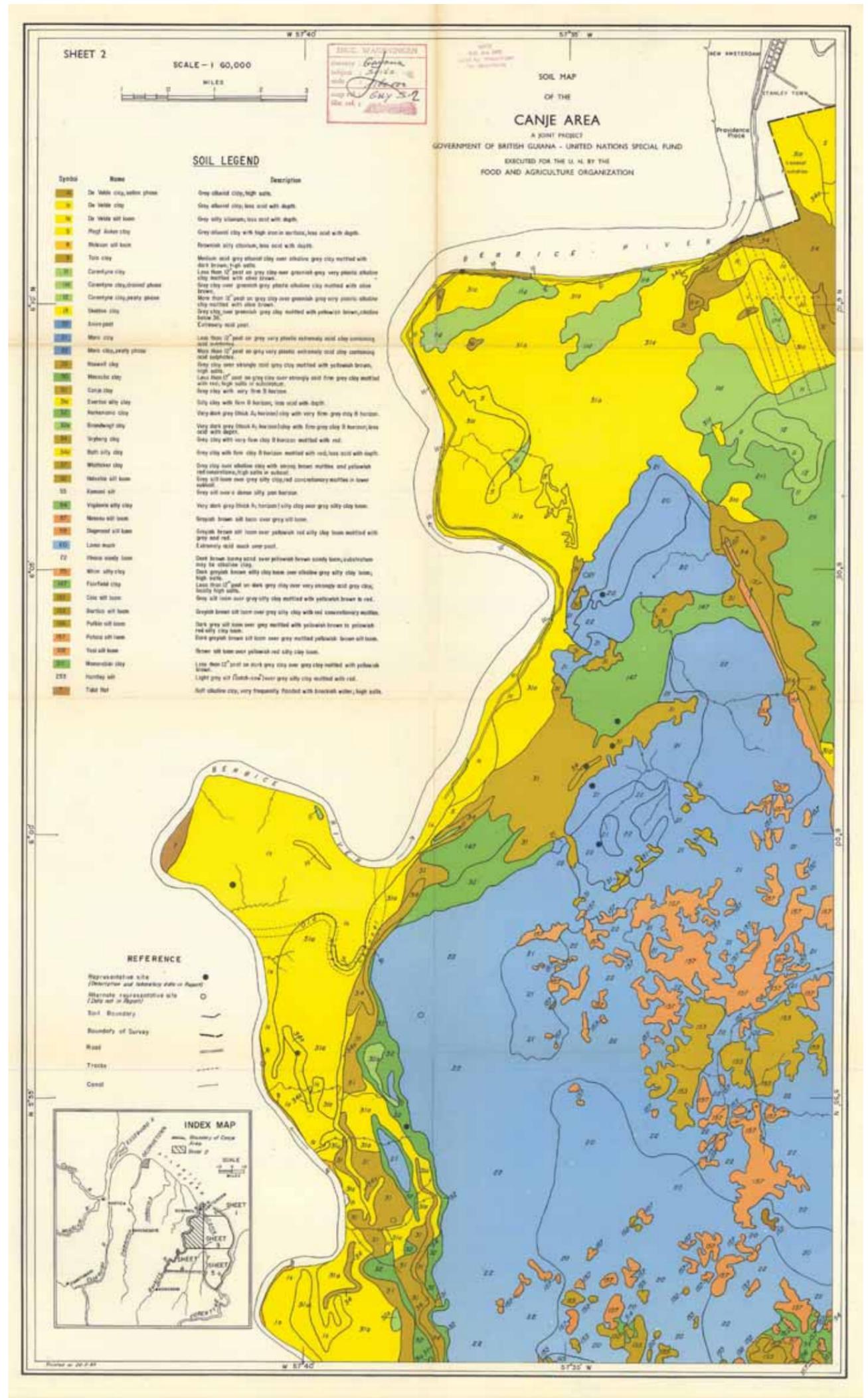
Na América Latina tem-se utilizado diversos sistemas interpretativos da qualidade das terras, descritos a seguir. Possivelmente, o primeiro deles foi o estabelecido pelo Serviço de Conservação do Solo dos EUA em 1961, o qual foi amplamente disseminado na América Latina pela Organização dos Estados Americanos na década de 1960. Este sistema é popularmente denominado "capacidade de uso das terras". Nele se destaca as principais potencialidades e fatores limitantes das terras para a produção agrícola, pecuária ou florestal, expressadas em oito classes de capacidade desde I, para uso amplo, até a VIII, em que o potencial seria restrito no seu uso ou para proteção da vida silvestre. Da Classe II em diante, se assinala as principais limitações, que podem ser de topografia (T), risco de erosão (E), solos (S) e a drenagem (D). Este sistema ainda é amplamente aplicado em vários países, foram incluídas numerosas especificações que permitem sua adaptação às condições e necessidades de cada região. Uma vantagem deste sistema é ele constitui per se, um indicador da qualidade das terras do país. No entanto, uma das suas principais desvantagens é que não consegue ser específico o suficiente, para recomendar qual seria o uso apropriado para cada porção homogênea do terreno. Isto impede uma correlação favorável entre os levantamentos de solos e os projetos de desenvolvimento agrícola.

O segundo sistema, desenvolvido pela FAO na mesma década, em parte, para remediar essa falta de especificidade da estimativa anterior, é o das "Zonas Agro-Ecológicas." Aplicada a todo o continente, o principal critério utilizado é o de "períodos de crescimento", ou seja, uma interpretação da temperatura e da umidade disponíveis, expressas em números de dias por ano. Este valor é contraposto com as exigências de cada cultura, resultando em diferentes graus de aptidão. Este sistema representa uma melhoria em relação ao sistema anterior, que fornece diferentes níveis de aptidão para cada uma das principais culturas da região baseadas principalmente nas exigências climáticas. O terceiro sistema, também proposto pela FAO, surge em meados dos anos 70 e se denomina "Avaliação de Terras". Nela o quadro metodológico geral se adapta especificamente para a agricultura de sequeiro, de irrigação e uso florestal e pecuário.

Sua principal contribuição para os sistemas existentes é a introdução do conceito de "tipos de uso da terra", onde, para além da denominação específica, o contexto tecnológico e socioeconômico correspondente é estabelecido. Os requisitos de cada tipo de utilização são contrapostos com a oferta de qualidades, que cada unidade da terra oferece. A partir daí, se faz a harmonização de ambas para obter diferentes graus de aptidão, sendo a primeira instância de caráter agroecológico ou físico natural e, posteriormente o econômico. Este sistema tem resultado ser o mais eficaz, de acordo com as experiências de diversos países, uma vez que determina claramente os graus de aptidão de usos específicos para diferentes unidades de terra, permitindo uma adequada interpretação por parte dos usuários e um zoneamento para a tomada de decisões e, ao mesmo tempo, uma abordagem mais integrada.

Além destes sistemas de uso potenciais usados de maneira generalizada na ALC se desenvolveram ou foram adotados em cada país sistemas em nível local para abordar suas próprias limitações ou para demonstrar diferentes graus de aptidão segundo as culturas de interesse em cada caso. Um exemplo deste tipo de zoneamento é o sistema de classificação agroprodutiva dos solos de Cuba, aplicado desde 1989, que ilustra a

aptidão dos solos do país, para os 29 usos agrícolas principais, baseado em fatores limitantes da produtividade do solo (erosão, baixo teor de matéria orgânica, compactação, salinidade, mal drenagem, acidez e outros). A partir desta base de dados, se desenvolveu um software que atualmente é utilizado pelo Serviço de Solos cubano.



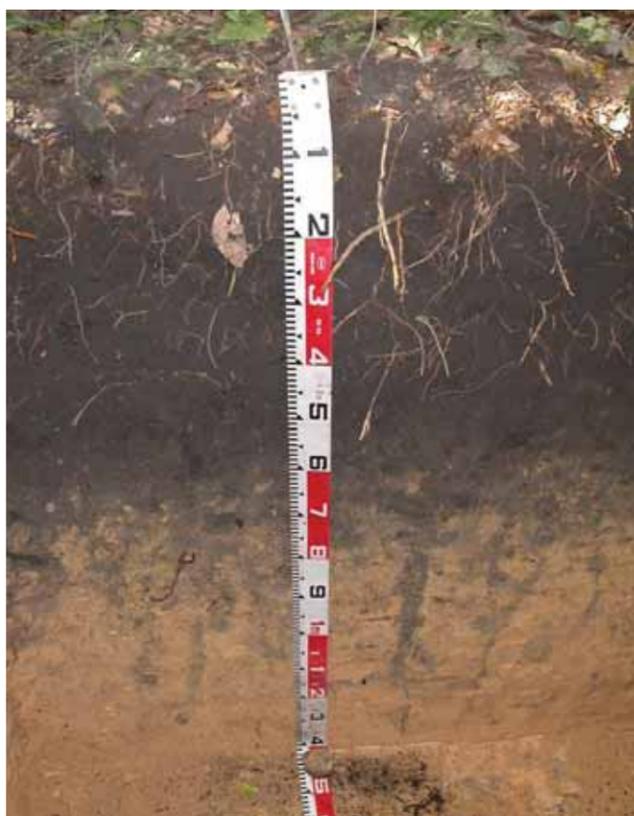
Exemplo de um mapa de capacidade de uso da terra desenvolvido para a região de Canje (Guiana), em 1964. (FAO)

## Conhecimento e usos tradicionais da terra na ALC

### Horizontes antrópicos

A palavra *antrópico* (do grego Anthropos, homem ou humano) refere-se à atividade humana como fator que influencia a formação do solo. Os horizontes antrópicos englobam a variedade de horizontes superficiais e subsuperficiais cujas características comuns são o resultado de um longo e prolongado período de cultivo.

Até recentemente, não se havia investigado os horizontes antigos de origem antrópica que ocorrem em muitas áreas tropicais. Conhecer sua formação e evolução representa uma oportunidade excepcional, não só no que diz respeito ao estudo das práticas indígenas ancestrais, mas também para entender os mecanismos que regem os ciclos do carbono e outros nutrientes em solos continuamente sujeitos à lixiviação nas áreas tropicais do continente americano.



Horizonte antrópico típico conhecido como terra preta de índio (TPI) sobre Ferralsol amarelo na Amazônia central, Brasil. (WGT)

No Brasil se pode definir, de forma geral, dois tipos de horizontes de origem antrópica: (i) o solo preto da Amazônia ou a *terra preta de índio* e (ii) os montes de conchas ou sambaquis. A terra preta da Amazônia ou **terra preta de índio (TPI)** refere-se às extensões de horizontes extremamente escuros e muito férteis localizados na Bacia Amazônica. Os lugares em que encontramos a TPI estão normalmente adjacentes aos Acrisols, Ferralsols, Plinthosols ou Podzols, quando localizados sobre terreno firme. Enquanto nas planícies de inundação (várzeas) encontramos sobre Fluvisols e Gleysols. Nos horizontes antrópicos da TPI surgem muitos fragmentos cerâmicos arqueológicos, assim como altos níveis de fósforo - total e disponível - e outros minerais (Ca, Mg, Zn, Mn, Ba e Sr), em comparação com os solos do seu entorno.

A designação TPI trata da cor do carvão vegetal, embora este não seja o único a influenciar a formação da TPI (a matéria orgânica e os nutrientes, tal como os microrganismos e a biota do solo, também desempenham um papel importante). Estes horizontes foram desenvolvidos pelas atividades dos índios na era pré-colombiana, há centenas ou mesmo milhares de anos atrás (o carbono foi datado com cerca de 10.000 anos de idade [64]).

Os **sambaquis** (etimologia tupi : tamba'kĩ, "monte de conchas") estão localizados principalmente na costa brasileira e são compostos principalmente por acumulações, quase sempre realizadas ao longo dos séculos, e por isso estratificadas, de valvas de moluscos, carapaças de crustáceos e outros detritos depositados pelo ser humano. Por vezes também aparecem restos de utensílios de pedra. Alguns sambaquis foram construídos por povos que habitaram a região há mais de 6.000 anos.



Sambaquí de Figueirinha em Jaguaruna (Santa Catarina, Brasil). Esta colina de conchas foi construída há milhares de anos atrás pelos antigos habitantes do litoral brasileiro. Tem uma altura ao redor de 15 m. (T)

Muitas vezes, essas estruturas apresentam horizontes com tons escuros, não só na parte superficial, mas também dentro da complexa matriz de estratos. Estes horizontes escuros são compostos de grande quantidade de fósforo e carbono [65]. O mecanismo pelo qual o carbono se estabiliza nos sambaquis ainda não foi esclarecido, porém provavelmente se relacione com a combustão de resíduos orgânicos (pirólise) e a disponibilidade de um elevado teor de cálcio procedente das conchas dos moluscos. A formação destes horizontes assemelha-se em parte ao processo de formação de horizontes A nos solos do grupo dos Chernozems (com material de origem rico em carbonatos).

O conhecimento das práticas utilizadas pelos antigos habitantes dessas áreas que levaram à formação desses horizontes, poderia orientar a formação de novos Anthrosols com características desejáveis, como por exemplo, com um alto conteúdo de carbono resiliente à mineralização ou com uma alta capacidade para a retenção de nutrientes. Um conhecimento mais profundo destes processos permitiria a formação de novas práticas de manejo dos solos, o armazenamento de carbono e o aumento da fertilidade, entre outros.



TPI de uma cor mais clara, neste caso, em Ferralsol na Amazônia central, Brasil (WGT)

### Os geoglifos

Os geoglifos são grandes figuras geométricas (circulares ou retangulares) construídas nas encostas das colinas ou nas planícies, mediante a acumulação de pedras ou então escavando a camada superficial do solo conectados por caminhos. Foram formados por uma civilização pré-colombiana da bacia alta do Amazonas. As investigações realizadas até agora não encontraram sinais de horizontes escuros relacionados com a presença de geoglifos ou próximo deles. Neste caso é surpreendente a ausência de horizontes ou restos químicos indicadores de assentamentos humanos, já que para construir as figuras de uns 300 m de diâmetro, 10 m de largura e 4 m de profundidade, seria requerido uma enorme força de trabalho e alimentação para os supostos trabalhadores. Por isso, surgiram mitos em torno destas figuras, as quais se tornaram conhecidas no século XIX pela primeira vez.

Essas figuras representam um campo ainda aberto para a pesquisa multidisciplinar, que permita ampliar as informações disponíveis sobre as alterações no solo e os mecanismos que fazem que o carbono e os nutrientes permaneçam armazenados nos solos tropicais.



Na Amazônia, os geoglifos são predominantemente quadrangulares. (EC)

## Sistemas agrícolas

Nas distintas regiões do continente podemos encontrar sistemas agrícolas formados durante o período pré-hispânico, como o caso das **chinampas**. A chinampa consiste de um sistema mesoamericano antigo de agrícola e expansão territorial, desenvolvido pelos astecas durante o período 650-900 d.C. no Vale do México. Trata-se de jardins flutuantes sobre plataformas elevadas de 2,5-10 m de largura e 120 m de comprimento, construídos com barro extraído de pântanos e lagos pouco profundos. Os astecas construíram as chinampas em 0,5-0,7m acima do nível da água, reforçando os lados com pilares e galhos de árvores entrelaçados. O método de construção mais comum consistia no empilhamento de camadas sucessivas de espécies herbáceas, terra e lama sobre o solo pantanoso. Uma vez atingida a altura e a superfície desejadas, se plantava as estacas vivas de salgueiro. Isso permitia delimitar o terreno e consolidar com suas raízes, para evitar o colapso. As chinampas tinham que ser continuamente renovadas com a adição de camada fértil antes de uma nova semeadura, e em certas ocasiões, a sua altura tinha de ser reduzida. Nelas, se cultivavam milho, feijão, pimentas e abóbora entre outros alimentos. A sua alta produtividade gerava um comércio com os povos vizinhos. As chinampas, como o eixo de um sistema intensivo de uso múltiplo da terra, tornou-se a principal fonte de alimento para a população da bacia do México durante os últimos 200 anos da dominação asteca. Ainda hoje se usa este sistema de cultivo; em 2006, a zona de chinampas abrangiu uma área de 2.200 ha, embora a maioria delas mostrasse tendências a uma mudança no uso do solo.



Reprodução da construção de uma chinampa. (IDP)

Outro exemplo de práticas ancestrais de manejo e conservação do solo é a construção de **andenes**, característicos do Peru, Bolívia, norte do Chile e Argentina. São terraços escalonados construídos pelo homem pré-hispânico nas encostas íngremes, a fim de incorporar terrenos não apropriados para a agricultura e armazenar água da chuva para a irrigação de cultivos. Os andenes são plataformas horizontais sustentadas por um muro de contenção de pedras. Dessa forma, também se reduz o risco de erosão ao se diminuir a pendente e se consegue executar os trabalhos agrícolas com menos esforço. Encontram-se principalmente nas áreas montanhosas, embora também podem ser encontrados em áreas com declives mais suaves, em colinas e contrafortes da cordilheira ocidental andina na vertente do Pacífico. Sua construção foi uma avançada obra de engenharia agrária que exigiu um trabalho comunal da povoação.



No Peru pode-se encontrar até hoje, os andenes da época dos Incas. São encontrados nas áreas da Arequipa, Tarata, Pisac e Tarma, embora muitos deles tenham sido abandonados. (JNR)



Cochas escavadas para o cultivo do figo sobre uma várzea desértica, onde os solos são salinos e arenosos. A foto foi tirada no distrito de Chilca, a 65 km ao sul de Lima, Peru. A maior parte da costa peruana apresenta uma área muito árida que recebe menos de 10 mm de precipitação anual. (JNR)

A horizontalidade do solo favorece a absorção da radiação solar, aumentando a capacidade de conservação do calor do solo. Esta prática, ao permitir o plantio em encostas em diferentes altitudes (em diferentes zonas ecológicas), permitiu ao homem andino diversificar os seus cultivos, onde por exemplo, a batata era encontrada nas partes altas e o milho nas zonas baixas. No entanto, o trabalho não só consistia em construir esses terraços, por si um trabalho extenuante, mas também em preenchê-los com solo rico em nutrientes, o qual eram transportados de lugares distantes, e em construir escadas e canais de irrigação. Atualmente ainda se utilizam os andenes dos incas para a produção agrícola, apesar de que a maioria destes foram abandonados. As principais zonas do Peru onde ainda são utilizados são Arequipa, Tarata, Pisac e Tarma.

As **cochas** (do Quechua cocha, lagoa) estão localizadas na costa peruana, região muito árida. São também conhecidas como chacras afundadas e são amplas depressões construídas para atingir as camadas úmidas dos horizontes inferiores do solo. Assim, o agricultor plantava no fundo das depressões sem necessidade de implementar irrigação, aproveitando a umidade do subsolo que aumentava por capilaridade, resolvendo de tal forma o problema da escassez da água. No distrito de Chilca, a 60 quilômetros ao sul da cidade de Lima, este sistema ainda é utilizado no cultivo de figo (ver foto acima).



Sistema tradicional de andenes no vale do Colca, Peru. (MVR)

## Terra Preta de Índio (TPI): uma técnica ancestral para a captura de carbono

A *terra preta* de índio é o resultado da modificação química e mineral do solo original, como consequência das atividades das comunidades indígenas que habitavam a região antes da chegada dos europeus. Na TPI o horizonte superior da *terra preta*, com restos de carbono forma estratos de cerca de 50 cm de espessura, podendo atingir até 2 m de profundidade em alguns casos. Por outro lado, os horizontes subsuperficiais, são geralmente profundos (de vários metros), porém, muito pobres em nutrientes.

Estes solos formados pelos seres humanos (Anthrosols) cobrem uma superfície estimada em 6.000 a 60.000 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 0,1 e 1 % da bacia amazônica (também recentemente foram identificadas nas áreas da Colômbia, Equador, Peru e Guiana Francesa). As áreas onde se encontram as terras pretas são mais frequentes e de maior extensão ao longo dos cursos médios e inferiores dos rios principais, especialmente no entorno das confluências e cachoeiras. Existem no entanto, áreas da bacia amazônica, as quais, mesmo tendo sido habitadas por um longo período, não formaram este tipo de solos.

A alta fertilidade da *terra preta* de índio explica-se principalmente pelo alto conteúdo de um tipo de matéria orgânica carbonácea e de nutrientes como manganês, fósforo, zinco e cálcio. Além disso, o carvão vegetal diminui significativamente a perda de nutrientes por causa das chuvas. Existe uma importante diversidade das composições da *terra preta* entre diferentes localidades e inclusive num mesmo lugar. Recentemente, foram encontradas terras pretas similares no continente africano (Benin, Libéria e África do Sul), porém o seu carvão vegetal não possui a mesma qualidade do encontrado nos solos amazônicos.

### Terra preta, biochar e mudanças climáticas

O que hoje se conhece como o *biochar* ou "carvão vegetal biológico", não é mais que o carvão formado por pirólise (a decomposição química da matéria orgânica através da ausência de aquecimento ou teor de oxigênio limitado). Antigamente, no caso da *terra preta*, este material era incorporado ao solo, mas não está esclarecido se isto era feito com a intenção de melhorar a produtividade do solo, ou simplesmente como uma forma de manejo dos resíduos domésticos. Esta dúvida surgiu quando a terra preta foi descoberta nos Gleysols, nas planícies amazônicas, os quais não possuem limitações de fertilidade.

### Biochar

O Biochar é um carvão formado pela pirólise da biomassa e pode ser usado para o sequestro de carbono e mitigação das mudanças climáticas, tal como para melhorar a fertilidade do solo. A biomassa inicial pode ser transformada em biochar, e este pode ser utilizado no solo para substituir outros resíduos ou para sequestrar carbono no solo. A alta resistência da *terra preta* à decomposição da matéria orgânica, tal como a sua grande capacidade de retenção de água e nutrientes, tem sido, desde o começo do século XXI, objetivo de vários programas de investigação sobre a fertilidade e a agricultura sustentável. A FAO tem analisado as implicações produtivas e culturais da *terra preta* e sugeriu que a mesma poderia servir de base para desenvolver novos modelos de agricultura sustentável na atualidade. No entanto, para poder gerar solos das mesmas qualidades é necessário melhorar o conhecimento dos processos que levam à sua formação. Por outro lado, o uso de biochar para mitigar a mudança climática, embora tenha sido proposto por várias instituições (p. ex., a Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Alterações Climáticas ou CQNUAC) e alguns países (p. ex., Belize, Costa Rica, Austrália) continua sendo objeto de debate, com organizações da sociedade civil que se colocam contra esta medida compensatória.

A imagem abaixo mostra um depósito de terra preta em que foram encontrados alguns fragmentos de cerâmica. A grande quantidade de cerâmica e objetos de origem humana encontrada nestes solos revela a sua origem antropogênica. Isto significa que a Amazônia deve ter sido abrigado densas populações sedentárias nos séculos precedentes à chegada dos europeus. Apesar do ceticismo de alguns historiadores, um número crescente de evidências históricas, arqueológicas e etnográficas contribuem para a identificação e caracterização dessas culturas ancestrais amazônicas. (AZ)

## Terra preta e terra mulata

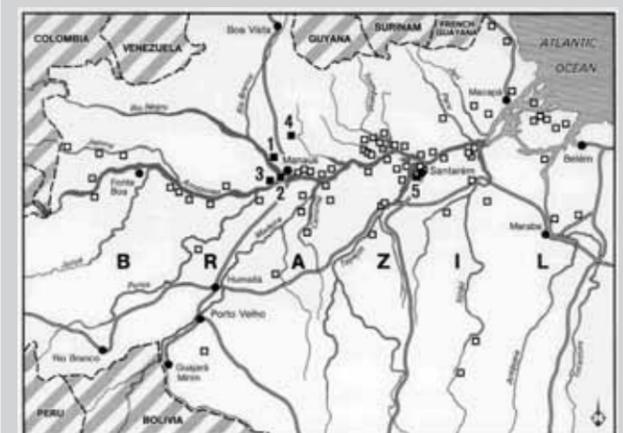
Apesar de não existir uma definição universalmente aceita, toda a *terra preta* possui quatro características fundamentais: uma cor escura; um alto teor em carvão vegetal; uma alta fertilidade e de origem humana.

Para a classificação foram propostas duas grandes famílias: a *terra preta* propriamente dita, muito escura, com alto teor de cerâmica e restos de animais, e a *terra mulata* com tonalidade mais marrom, com menor quantidade de restos de origem humana e geralmente encontrada em grandes superfícies no entorno das áreas de terra preta.

## Os primeiros pesquisadores

James Orton (1870), Charles Hartt (1874) e Herbert Smith (1879) foram os primeiros pesquisadores ocidentais a descrever uma terra amazônica escura, muito fértil e com abundantes fragmentos cerâmicos. A descoberta permaneceu como uma mera anedota, já que nesta época supunha-se que toda a Amazônia deveria ser fértil, uma vez que era coberta por uma extensa floresta. Esta ideia errônea perpetuou-se até a segunda metade do século XX e foi em parte, responsável pelos processos de exploração agrícola da região amazônica, que resultaram em fracassos econômicos e ambientais.

A existência da *terra preta* foi relativamente ignorada até ao final do século XX. Em 1980, Nigel J. H. Smith [66] publicou um artigo que resumia as conclusões sobre tais terras e concluiu que estas eram de origem antropogênica e que no passado, deveriam ter alimentado uma grande população. No entanto, o trabalho de Smith foi praticamente ignorado pela comunidade científica. Em 1996, o prestigioso pedólogo holandês Wim Sombroek, que tinha fascínio pela *terra preta* desde a sua tese de doutorado em 1963 sobre os solos da Amazônia, instalou-se em Manaus para executar um projeto ambiental financiado pelo Banco Mundial. Sombroek dedicou-se a promover ativamente a divulgação e a pesquisa científica sobre este tema, criando a associação Terra Preta Nova (2001) e colaborando na organização do primeiro simpósio internacional sobre este tema em 2002.



Acima: Típico horizonte de TPI sobre Ferralsol amarelado na Amazônia central, Brasil (WGT). Abaixo: Cultivo de feijão em TPI. Amazônia central, Brasil. (WGT)

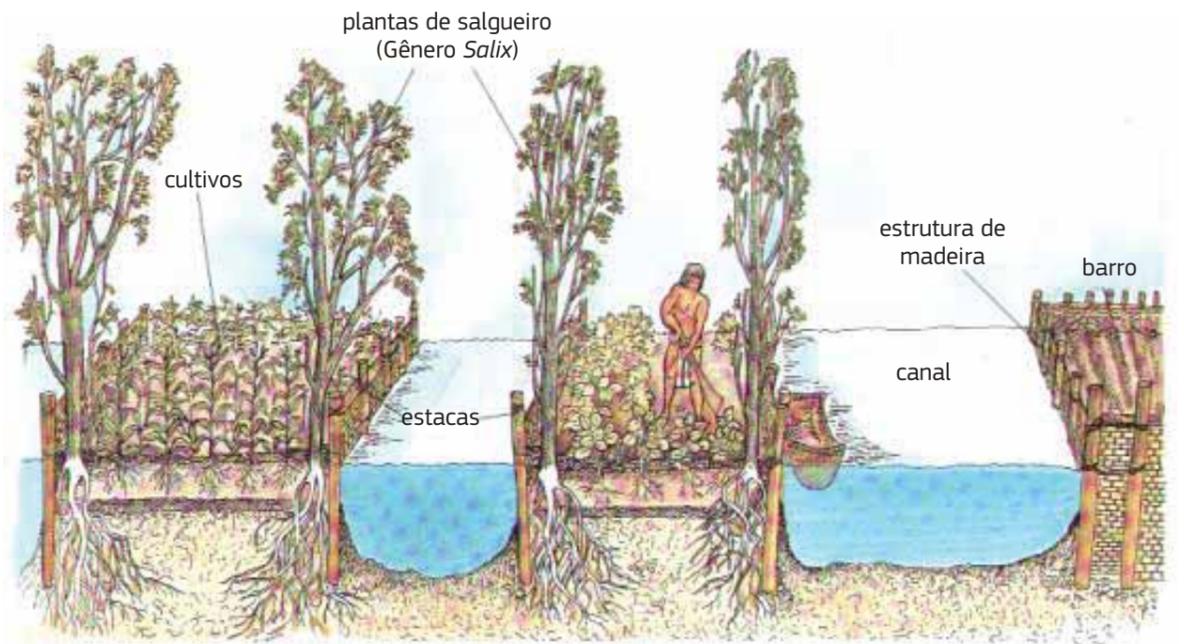


## Solos e água: sistemas agrícolas tradicionais da América Central e da região do Caribe

O termo **chinampa** se origina do nahuatl chinamitl "cerca ou muro de juncos" e *apam*, "terreno plano". Este sistema agrohidráulico constituiu uma das soluções mais eficientes, além de ser esteticamente impressionante, para resolver as condições climáticas adversas nas zonas altas semi-áridas e subúmidas temperadas da América Central.

Nos tempos astecas, entre os séculos XIII e XV, ocorreu uma impressionante sucessão de alterações culturais e tecnológicas na bacia do México. A civilização asteca era baseada na agricultura e no comércio, embora nem sempre tenha sido assim; no passado, a economia era à base de caça e coleta, mas uma vez instalados na meseta central do México, aprenderam a atividade da agricultura graças às aldeias vizinhas, mais civilizadas que eles.

Quando os astecas chegaram no lago Texcoco, a pressão dos habitantes locais fez que se instalassem num ilhéu onde a terra cultivável era muito escassa, de modo que quase todos os recursos naturais foram explorados e a seguir começaram a desenvolver as chinampas, grandes ilhas flutuantes no grande lago mexicano, construídas à base de madeira, barro e galhos. Essas construções eram muito férteis e sem necessidade de irrigação. Entre elas, se construíam canais estreitos, formando grandes labirintos, onde as canoas circulavam carregadas de produtos.



Esquema de la estructura básica de las chinampas. (IDP)



Xochimilco é hoje um dos lugares mais visitados na Cidade do México pelo turismo nacional e internacional. Uma das suas principais atrações turísticas são os canais pelos quais se pode navegar com a trajinera (barcos típicos ilustrados na imagem). Numa área com mais de 215 ha se contempla uma paisagem que relembra onde viviam os xochimilcas há mais de 500 anos. (MVR)

Os canais por sua vez, serviam como meio de comunicação e de drenagem. O sedimento extraído para a construção desses canais permitiu ao mesmo tempo, um aumento do controle das inundações. Os principais cultivos nas chinampas eram milho, feijão, tabaco, pimenta, frutas, cacau e algodão.

Estas novas técnicas agrícolas baseadas na irrigação por inundação do subsolo e na construção de canais, permitiu o crescimento populacional sem precedentes. Naquela época, a bacia do México foi, provavelmente, a maior e a mais populosa área urbana do mundo. Estima-se que até finais do século XV a população da bacia atingiu um milhão e meio de habitantes, distribuídos em mais de uma centena de aldeias.

Alguns exemplos notáveis desses sistemas são os que existiram nas bacias de Tlaxcala, Puebla, Teotihuacan, Tenochtitlan, Toluca, Cuitzeo, Patzcuaro e Chapala, no centro do que hoje é o México. Hoje esses sistemas ainda existem na área de Xochimilco e Mixquic.



Plantio de milho numa chinampa conservada até hoje. A árvore que delimita e assenta a estrutura do chinampa é um salgueiro (gênero *Salix*). Xochimilco, México. (J)

### Xochimilco

De acordo com os dados arqueológicos, durante o período de 650-900 AD, nas orlas do lago de Xochimilco (atualmente localizado em um dos 16 municípios do Distrito Federal do México), começou a construção e o uso intensivo das chinampas. A partir do ano 900 d.C. até 1400 d.C. aproximadamente, deu-se a maior expansão do sistema de chinampas no lago de Xochimilco. Após este período, Xochimilco tornou-se um importante e extenso assentamento, em grande parte devido à alta produtividade de seu cultivo no sistema chinampero; naquela época, a área coberta por chinampas atingia uma extensão de 12.000 ha. Durante o período de maior prosperidade de Xochimilco (s.X-XIV d.C.) a superfície

chinampera cobria uns 5.000 ha, que permitiam o sustento anual de cerca de 200.000 pessoas. Os xochimilcas chegaram a construir 38.760 *cuemiltl* (terra lavrada, cultivada ou *camellón*: hoje chinampa) e algumas das ferramentas que usaram para construir e lavar foram: o *acatl* "cana" ou caniço utilizado para a pesca, para dividir o *cuemiltl* ou para formar *tolchimalas* "escudos de junco". O ahuejotl, ahuejote ou salgueiro (*Salix bompladiana*), árvore plantada nas orlas para fixar os materiais de *cuemiltl*. Atualmente, a área ocupada pelas chinampas foi reduzido significativamente por diversas causas, dentre elas a dessecação do lago, a salinização ou a urbanização.

### As planícies de inundação do Caribe

Na Colômbia, no centro das planícies do Caribe, a *Depresión Momposina* recebe anualmente as águas dos rios *Magdalena*, *Cauca* e *San Jorge* que descem das cordilheiras. Com a inundação que chega durante oito meses ao ano, chega também um depósito fértil de sedimentos. Hoje a população sofre, ano após ano, com a perda de suas casas, pertences, colheitas e gado, mas nos tempos pré-hispânicos os *zenúes* sabiam como aproveitar a água e o silte de maneira favorável. Num longo processo, que atingiu o seu maior auge entre 200 a.C. e 1000 d.C., os nativos transformaram a paisagem por meio de um engenhoso sistema de controle de águas. O sistema hidráulico composto por uma vasta rede de canais e leiras ou camaleões, chegou a cobrir 500.000 hectares na bacia do rio San Jorge e 150.000 há no entorno do rio Sinú.

O mecanismo principal do sistema consistia em manter estáveis os cursos dos rios e córregos, margeados por ilhéus artificiais onde as casas eram elevadas. Perpendicular a estes cursos, os *zenúes* cavaram canais de até quatro quilômetros de comprimento, com 10 metros de separação entre eles, onde a água das enchentes fluía até os pântanos mais baixos. A corrente de água ali era freada com canais curtos e reticulados, de 30 a 70 metros de comprimento, para cobrir grandes áreas dedicadas à agricultura. Nestas extensões de até 2.000 hectares aptas para a agricultura, ao baixar o nível das águas, os canais mantinham uma reserva de umidade para o tempo seco. Os sedimentos ricos em nutrientes eram coletados nos leitos dos canais e transportados até ao topo dos campos elevados para fertilizá-los e prepará-los para serem cultivados. Alguns setores eram dedicados a um único produto, enquanto outros sustentavam várias espécies: coca, milho, batata doce, abóbora- menina, pimenta, abóbora, mandioca e muitas frutas. Uma organização social e política rigorosa permitiu que durante 1.300 anos sucessivas populações *zenúes* adequassem a paisagem e mantivessem limpos os canais para poder abrigar uma vasta população sem deteriorar o meio ambiente (MDO). Embora o sistema de drenagem tenha colapsado após da conquista espanhola, os padrões dos canais na paisagem ainda são detectáveis (ver abaixo).



Mapa do norte da Colômbia mostrando as áreas onde a cultura zenú foi desenvolvida. A zona verde escura ao redor do Canó Rabón denota maior concentração de obras de irrigação e drenagem. Os canais também foram construídos na parte inferior dos rios Cauca e Sinú. (JA)



Vista atual dos canais artificiais construídos pela povoação dos indígenas zenúes para o controle de enchentes, melhoria da qualidade do solo e provisão de reserva de água para os períodos secos. A fotografia aérea ilustra os terraços elevados (linhas amarelas) separados por canais inundados (marrom). (MDO)



Vista aérea de uma área inundada com restos dos canais zenúes. Observa-se que a rede de canais irradia de um canal principal (imagem superior ao lado direito) para a parte de baixo da fotografia. A maioria dos canais possuem uma largura de 10 m. Os sedimentos ricos em nutrientes sustentam o cultivo da coca, do milho, da batata doce, da abóbora, das pimentas, da mandioca e muitas frutas. (MDO)

## Degradação dos solos

A degradação do solo refere-se à deterioração ou perda total da capacidade produtiva do solo a curto e longo prazo. Este processo é favorecido pelas alterações que modificam o estado e a função dos ecossistemas do solo [67]. Implica uma redução da capacidade do solo para produzir bens econômicos e executar funções ambientais de regulação, dois deles diretamente relacionados com o bem-estar humano: a produtividade agrícola e a manutenção da qualidade da água e do ar [68].

Na região podemos distinguir duas áreas em termos do grau de degradação: México e América Central (mais degradado) e América do Sul (relativamente menos afetada).

Na América Central, a erosão é a causa principal da degradação do solo e, por sua vez, cria um grande problema ambiental pela deterioração dos recursos naturais em geral (geomorfias, água, flora e fauna) [69,70].

Esta situação levou à escassez de alimentos, problemas de saúde, migração e pobreza.

Na América do Sul existem grandes superfícies com solos em condições naturais, no entanto, apresentam restrições para as atividades agrícolas, como por exemplo a toxidez de alumínio, a erosão e a alta fixação de fósforo (ver quadro nesta página).

A concepção e a melhoria dos sistemas agropecuários e florestais devem considerar essas restrições para que sejam produtivos e sustentáveis.



La fotografía de arriba muestra los efectos de la severa erosión eólica y el sobrepastoreo en los páramos de las faldas del volcán Chimborazo, Ecuador en el año 2004. (PMV)

### O que é a degradação?

A degradação do solo é um fenômeno global que reflete uma redução da capacidade do mesmo para fornecer de uma maneira sustentável os serviços ambientais, tanto diretos como indiretos. Está associado a um sistema complexo de fenômenos extremos: o clima e as mudanças no uso do solo.

Global Soils Degradation Data Base (GLASOD) define a degradação do solo como " ... um fenômeno induzido pelo ser humano, o qual reduz a capacidade atual ou futura para sustentar a vida humana ... " [71].

### Degradação natural. Fatores limitantes na ordem decrescente de importância com a percentagem de área afetada por cada fator [72, 73, 74].

39%	<b>Toxicidade por alumínio</b> Apresenta-se nos solos em que o complexo de troca catiônica é dominado por alumínio, como nos Ferralsols e Acrisols não húmicos, associado a um pH inferior a 5,0. A causa principal e a forte lixiviação de bases trocáveis, devido à elevada pluviosidade, como nos trópicos úmidos. Embora certas plantas sejam tolerantes ao alumínio trocável (p. ex., seringueira, abacaxi, chá) para a maioria das culturas é uma grave limitação.
19%	<b>Risco de erosão</b> Este fator limitante origina-se ao se cultivar os solos nas encostas muito acentuadas (>30%) e moderadas (8-30%), aumentando o risco quando também possuem texturas contrastantes nos diversos horizontes. Não obstante, as características físicas que dão lugar a um risco potencial elevado de erosão não são as únicas causas desta. Igualmente importantes são condições sócio-econômicas que obrigam os agricultores a cultivar em terrenos inadequados.
15%	<b>Alta fixação de fósforo</b> A causa principal desta limitação é o alto teor de óxidos de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) na fração argilosa, os quais fixam o fósforo de tal modo, que não se encontra disponível para as plantas; o fósforo é frequentemente associado com solos do tipo Ferralsols, Acrisols, Nitisols e Andosol com altas percentagens de argila. É um fator limitante e difícil de remediar devido a que os fertilizantes fosfatados aplicados são rapidamente fixados pelos óxidos de ferro. Por esse motivo, se recomenda a adição de fontes de fósforo que possam liberar lentamente o elemento para a solução do solo.
10%	<b>Hidromorfia</b> Refere-se aos solos que permanecem encharcados durante a maior parte do ano. Geralmente, são solos localizados nas partes baixas do relevo e pertencem aos grupos Gleysol, Stagnosol, Fluvisol e Histosol.
5%	<b>Baixa capacidade de troca catiônica</b> São solos com baixa percentagem de matéria orgânica e argilas, onde predominam as argilas com baixa capacidade de troca catiônica, como os Arenosols e os Ferralsols. A baixa reserva de nutrientes, acompanhada pelos baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de retenção de umidade, fazem que os insumos para o rendimento agrícola sejam muito altos e não sustentáveis, com exceção nos casos em que seja possível aumentar artificialmente o teor de matéria orgânica do solo.
5%	<b>Salinização/Sodificação</b> Os solos salinos ou sódicos encontram-se naturalmente em posições baixas do relevo nas regiões áridas e semi-áridas. Apresentam uma acumulação de sais no perfil (Solonchaks) ou dominância de sódio no complexo de troca (Solonetz).
11%	<b>Solos rasos</b> São solos que contêm rochas ou um horizonte endurecido muito próximo à superfície, como nos Leptosols e Regosols, apresentando profundidades efetivas menores que 30 cm de profundidade. São pedregosos, propensos à dessecação e frequentemente são encontrados nas encostas íngremes. O aumento da pressão sobre a terra agrícola tem levado a utilizá-los, principalmente nos trópicos.

### Degradação natural

É um processo natural sobre os fatores e processos de formação dos solos, desenvolvendo características que limitamos solos para determinados usos. De tal modo, por exemplo, são reconhecidos, para a América Latina e o Caribe, sete fatores que limitam a fertilidade do solo (FAO, 2000. Consultar a tabela nesta página).

### Degradação antrópica e a sua influência na fertilidade

Os processos de degradação que levam à transformação dos solos de forma acelerada são induzidos frequentemente pelas atividades humanas. As causas são variadas, embora muitas vezes são o resultado de uma complexa interação de fatores naturais, sociais e econômicos.

A maioria das atividades humanas envolvem, em maior ou menor grau, um processo de degradação, embora o grau de severidade dependa das características da paisagem (p.ex., tipo de solo, relevo, vegetação e clima), além dos fatores socioeconômicos, como: densidade populacional, propriedade da terra, políticas ambientais e uso e manejo do solo [71].

As atividades que mais contribuíram para a degradação dos solos são a agricultura mecanizada, o sobrepastoreio e o desenvolvimento urbano e industrial; todas elas iniciam-se com pelo desmatamento.

As consequências podem ser apreciadas em vários níveis. Em âmbito local, a perda da qualidade e da quantidade de solo numa parcela, que causa uma diminuição na produtividade e, conseqüentemente, a redução da renda familiar. Num âmbito mais amplo, a partir da eutrofização e assoreamento (acumulação de sedimentos) dos corpos d'água, até a perda de biodiversidade e o aumento na emissão de gases que provocam o aquecimento global.

Os processos de degradação do solo devem-se à:

- Deterioração interna do solo, que resulta em uma perda de qualidade, provocada pelas alterações químicas, físicas ou biológicas, que resultam numa diminuição da fertilidade ou da capacidade do solo para permitir o crescimento sustentável das plantas.
- Deterioração externa (física) ou perda da quantidade de solo, resultante da desagregação e do transporte do material do solo.

A seguir, descrevem-se os distintos processos de degradação antrópica, destacando-se as características e propriedades dos solos que ao serem modificadas, resultam na perda da fertilidade.

### Perda da matéria orgânica

A fonte principal da matéria orgânica do solo são os tecidos vegetais; sob condições naturais, a vegetação aporta esses resíduos orgânicos. Os ganhos de matéria orgânica estão relacionados, principalmente, com a quantidade e o tipo de resíduos orgânicos recebidos, enquanto que as perdas têm sua origem naquelas atividades que impedem a entrada da matéria orgânica, favorecendo a sua oxidação (aeração, aumento da temperatura, pouca umidade) e/ou provocam uma perda do horizonte orgânico (erosão).

A perda da matéria orgânica resulta em consequências graves para o solo, prejudicando suas propriedades e a fertilidade do solo. Muitos dos efeitos são indiretos e é evidente que o efeito principal da matéria orgânica no solo não é proporcional ao teor relativamente baixo desta (0,5 a 3%, na maioria dos solos).

As práticas que mantêm ou aumentam o teor da matéria orgânica no solo são a conservação da vegetação natural, o uso de adubos orgânicos, os cultivos rotação, as práticas para evitar a erosão, a reciclagem de nutrientes, propiciar as baixas temperaturas, a retenção da umidade, o pastoreio controlado e a conservação dos níveis de nitrogênio. Pelo contrário, aquelas atividades que diminuem o teor de matéria orgânica do solo são o desmatamento, a agricultura intensiva, a colheita completa (quando também é extraída a raiz da planta), a exposição a altas temperaturas, o fogo, o sobrepastoreio, a fertilização exclusivamente inorgânica e as concentrações excessivas de nitrogênio mineral.

### Salinização e alcalinização

O aumento da concentração de sais na superfície do solo acima de determinados valores causa efeitos na vegetação e, conseqüentemente, limita o uso potencial (especialmente o agrícola), do solo. Este processo é conhecido como salinização.

Os efeitos sobre o crescimento das plantas são a toxicidade direta devido ao excesso de sal, —especialmente se envolve o sódio (então é denominado alcalinização), cloreto e boro—e a alteração do balanço iônico das plantas, reduzindo a sua capacidade de absorver a água, ao diminuir o potencial osmótico.

A salinização está intimamente ligada às propriedades do solo específicas do lugar e às condições climáticas, dando-se especialmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde não há chuva suficiente para lavar o excesso de sais solúveis, e além disso, produz-se uma ascensão capilar da água do solo carregada com sais, os quais precipitam na superfície quando a água de transporte se evapora. Este problema também é frequente nas áreas litorais devido à intrusão salina e às alterações no nível do lençol freático, bem como pela interrupção dos fluxos naturais e induzidos.



O limite norte da localidade Nezahualcóyotl era um aterro sanitário de grande dimensão da Cidade do México, o qual foi fechado após muitos anos de funcionamento, nivelado e coberto de areia. Sobre o solo "morto" existem hoje 76 campos de futebol. A contaminação do solo gera frequentemente danos irreversíveis nos aquíferos e canais de rios subterrâneos, o que provoca riscos graves de saúde para os vizinhos. (GW)



A paisagem da imagem situa-se sobre um solo do tipo Solonchets. Este grupo de solos apresenta altas concentrações de sais de sódio, os quais inibem o crescimento da maioria das espécies vegetais. (OS)

A alcalinização surge através do aumento de sais de sódio em relação aos de cálcio e magnésio; o indicador do processo é o aumento da relação de absorção de sódio (RAS), calculado:

$$RAS = Na^+ / [(Mg^{2+} + Ca^{2+}) / 2]^{1/2}$$

As atividades antrópicas que causam este problema são o uso da água de irrigação de baixa qualidade e os sistemas de deficientes de drenagem nos campos irrigados.

### Acidificação

Alguns solos são ácidos por natureza, pela lavagem de bases trocáveis a longo prazo, pela respiração microbiana e pela oxidação da matéria orgânica. Certas atividades antrópicas aceleram esses processos, como a deposição atmosférica de  $SO_2$  e  $NO_2^-$  e o uso excessivo dos fertilizantes nitrogenados inorgânicos.

Os efeitos da acidificação dependem da capacidade de tamponamento de cada tipo específico de solo, embora geralmente manifestam-se pela diminuição do pH, pela perda de cálcio (lixiviação de bases), solubilização do alumínio e do ferro, e portanto, toxidez que provoca a necrose das raízes e impede a absorção de outros nutrientes, por aumentar a sua fixação, como no caso do fósforo. Outros efeitos que revelam menor

importância são a disponibilidade de outros micronutrientes, tais como molibdênio (Mo) e o boro (B). A acidificação do solo também aumenta a disponibilidade por solubilização de manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe) e impede o crescimento de bactérias fixadoras de nitrogênio, inibe a nitrificação e diminui a decomposição da matéria orgânica.

Todos estes processos reduzem o potencial produtivo dos solos. A acidez do solo pode ser revertida, por exemplo, mediante a aplicação de matéria orgânica humificada solúvel. [72, 73]

### Contaminação

Ocorre pela deposição atmosférica de emissões industriais sobre o solo e a água, bem como pela presença de resíduos industriais e domésticos provenientes de uma grande variedade de atividades antrópicas (agricultura, florestal, mineração, de extração, urbanas e industriais), que podem ser depositadas no solo diretamente ou com o aporte da água.

Algumas das vias mais comuns de entrada de contaminantes no solo são: o uso de águas residuais na irrigação agrícola, o manejo deficiente dos resíduos sólidos urbanos e a má gestão dos efluentes e resíduos sólidos da mineração [74]. Os contaminantes podem ser orgânicos ou inorgânicos e, dependendo da vulnerabilidade do solo e da concentração do contaminante presente, terão diferentes efeitos negativos sobre a saúde humana, no crescimento das plantas e na densidade, diversidade e atividade dos organismos do solo e, conseqüentemente, sobre a função específica que eles servem.

Na verdade, os organismos do solo são cada vez mais empregados como bioindicadores para quantificar o impacto ecológico de sua poluição. Existem vários estudos que documentam os efeitos dos metais, pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos na atividade dos organismos [75]. Os solos podem atuar como tampões dos poluentes devido às suas propriedades; no entanto, uma vez que a capacidade de tamponamento for saturada, funcionam por outro lado como fontes de poluentes e é então quando existe o risco de contaminação dos alimentos, da água e diretamente, das comunidades humanas pela inalação de poeira atmosférica [74].

### Compactação e encrostamento superficial ou selagem

São processos que alteram algumas características físicas do solo, como a permeabilidade, a porosidade e a estrutura do mesmo.

A compactação é um processo induzido por um estresse mecânico causado, especialmente, pelo peso do maquinário utilizado na agricultura e pelo pisoteio do gado nas pastagens, a qual influencia negativamente a densidade do solo (ver Glossário), reduz o espaço poroso e homogeneiza a estrutura do solo, destruindo a geometria e a ligação dos poros. Esta resulta numa redução do transporte de gases, água, e nutrientes, além de uma diminuição dos processos biológicos. Também aumenta a resistência à penetração de raízes e da macrofauna do solo [76].

Os efeitos negativos na fertilidade do solo incluem a tanto a redução, da capacidade de absorção de nutrientes como na eficiência de fertilizantes e pesticidas, o aumento da demanda de lavoura e energia requerida e uma diminuição da infiltração de água, aumentando o escoamento superficial e o risco de erosão.

O encrostamento superficial ou selagem refere-se à formação de uma camada fina sobre a superfície do solo com uma porosidade reduzida e uma alta resistência à penetração, impedindo a infiltração de água e a germinação de sementes. É causada pela ação da água da chuva que dispersa o material fino que se acumula sobre a superfície e que ao secar, fica endurecido. Muitas vezes afeta principalmente os solos férteis nas áreas planas.



Quando o solo é coberto com asfalto e concreto, devido à urbanização, causa uma perda irreversível em quase todas as suas funções naturais. (AC)

### Erosão

A erosão é a degradação e o transporte de solo ou rocha na superfície terrestre devido à ação do movimento da água ou do gelo, vento e as mudanças térmicas, entre outros. A erosão implica no movimento, transporte de material, em contraste com o intemperismo, o qual consiste na desintegração das rochas. A erosão leva à formação do relevo dos vales, desfiladeiros, canyons, cavernas e mesas.

Sua magnitude, visto como um processo natural, depende das propriedades do solo, do tipo de vegetação e quantidade de cobertura vegetal, tal como da topografia e das condições climáticas. Suas causas naturais permanecem relativamente constantes ao longo do tempo, mas a erosão pode ser acelerada devido às atividades humanas, que incluem a conversão do uso do solo (de floresta para agricultura, pecuária ou urbano), as práticas agrícolas inadequadas, o sobrepastoreio e o desmatamento.

Muitas vezes o termo "erosão" se emprega como sinônimo de processo de degradação de solos. No entanto, é necessário fazer a distinção entre os mecanismos de degradação (p. ex., compactação, salinização, contaminação) e a perda irreversível do recurso solo, como por exemplo, a selagem pelo asfalto ou a erosão, já que o solo não é um recurso natural renovável numa escala humana.

Uma classificação, em termos gerais, permite distinguir a entre erosão hídrica, a eólica e produzida pelo preparo do solo. A preparação do solo é puramente antrópica, enquanto que, tanto a erosão hídrica como a eólica também ocorrem em condições naturais; no entanto, o homem tende a acelerá-las até o ponto em que as perdas não podem ser compensadas pela taxa natural de formação do solo.

### O combate à desertificação

A desertificação é a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, inclusive as variações climáticas e as atividades humanas.

Faz muito tempo que a comunidade internacional reconheceu a desertificação como um dos problemas mais graves em âmbito mundial, abrangendo tanto os aspectos econômico como o social e ambiental. A desertificação afeta uma grande quantidade de países em todo o mundo.

Em junho de 1994, foi adotada em Paris, a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (CNUCD, UNCCD segundo as siglas em inglês) com o objetivo de combater a desertificação e mitigar os efeitos da seca, através de programas nacionais, incorporando estratégias a longo prazo apoiadas pela cooperação internacional e as alianças de acordos entre países.



A erosão também é uma consequência do desmatamento para fins agropecuários, uma vez que o solo agrícola utilizado, é abandonado quando exaurido e novas áreas com vegetação natural são procuradas para reiniciar o plantio. A fotografia corresponde à Amazônia boliviana, especificamente numa área onde se plantam as espécies tropicais e a coca (*Erythroxylum coca*). Tomada em agosto de 2012, no Chapare. (RV)

Nos últimos 40 anos perdeu-se aproximadamente um terço da terra arável do mundo por causa da erosão, e a superfície afetada continua aumentando a um ritmo de mais de 10 milhões de hectares por ano; 80% dos solos agrícolas do mundo sofrem erosão moderada a severa e 10%, ligeira. As terras de cultivo são as mais suscetíveis à erosão, especialmente quando o solo é deixado em pouso repetidamente e sem cobertura vegetal que o proteja. O sobrepastoreio também pode causar taxas de erosão anuais que excedem 100 t/ha [77]. Estes números são mais dramáticos nas terras de cultivo encontradas nas encostas. Por exemplo na Jamaica se quantificou uma perda de solo de 400 t/ha anuais, onde 52% das terras agrícolas estão situadas em encostas com mais de um 20% de declive.

As maiores taxas de erosão do mundo são registradas na Ásia, na África e na ALC, com uma média anual de 30 a 40 t/ha; as taxas mais baixas excedem em muito a taxa média de formação do solo (cerca de 1 t/ha por ano). A erosão é uma das principais causas de degradação do solo na América Central e na parte ocidental da América do Sul (Andes).

Os rendimentos dos cultivos em alguns solos com erosão severa são mais baixos do que em solos protegidos. A erosão causada pela água e o vento afeta de maneira adversa a qualidade e a produtividade do solo. Uma vez que ao perder-se a camada superficial do solo, a reduzida a taxa de infiltração, a capacidade de retenção de umidade, os nutrientes, a matéria orgânica, a biota do solo, assim como a profundidade efetiva, reduzindo de forma geral, a fertilidade do solo e a disponibilidade da água.

O uso de grandes quantidades de fertilizantes, pesticidas e irrigação, ajuda a minimizar os efeitos negativos da erosão, porém, por sua vez, tem o potencial de criar problemas de contaminação, destruir o habitat natural e contribuir para o alto consumo de energia, o aumento dos custos e criar sistemas agrícolas não sustentáveis. A biomassa vegetal (viva e morta) que permanece no campo, reduz a erosão do solo e o escoamento superficial da água, interceptando e dissipando a energia das gotas da chuva e do vento.

As formas de degradação do solo, tanto naturais quanto antrópicas, devem ser reconhecidas, estudadas e analisadas, para poder aplicar técnicas agronômicas que minimizem o impacto no solo e/ou permita a recuperação das suas funções naturais.

### Restauração dos solos

Quando os processos de degradação dos solos são especialmente severos é necessário atuar para recuperar os componentes ou funções perdidas e evitar que se estendam os efeitos adversos às águas ou ao conjunto do ecossistema afetado. A **Restauração Ecológica** é o processo pelo qual se retorna ao ecossistema degradado (tanto seus componentes quanto suas funções) as condições mais próximas às anteriores da degradação do meio ambiente (condições de referência). Deve-se distinguir o conceito da restauração ecológica daquele de **reabilitação**, prática que consiste em recuperar apenas as funções e os processos degradados sem necessariamente restabelecer a condição natural, mas sim certa estabilidade geológica e hidrológica.



Nesta foto se observa um exemplo de erosão maciça perto de Sondorillo, ao sul de Huancabamba, Piura, Peru. (MC)



O altiplano peruano tem um significado histórico por ter sido o lugar onde surgiram diferentes civilizações, como a cultura de Tiahuanaco. Neste lugar domesticaram-se pela primeira vez, plantas como a batata e animais como a lhama. Pelas suas características ambientais e ecológicas, é uma região natural única na ALC. Pertence à denominada região de Puna. O solo nesta foto representa um Leptosol rico em cascalho. (MVR)



Salinas no Vale Sagrado, Peru. Sistema complexo de terraços onde se acumula a água carregada de sal, proveniente de uma nascente quente na parte superior do vale. O sal até hoje ainda é extraído. (MVR)

## Degradação do solo nos países da ALC

Abaixo seguem as causas principais da degradação do solo em cada um dos diferentes países da região.

### Argentina

A erosão hídrica afeta os solos da maioria das províncias argentinas, abrangendo uma superfície total estimada de 25 milhões de hectares, superfície que aumenta a uma taxa de 250.000 ha/ano. As condições áridas e semi-áridas são apresentadas em dois terços do território continental, superfície cuja erosão eólica afeta 21 milhões de hectares. Nas planícies úmidas da Argentina ocorrem fenômenos de inundações periódicas que provocam graves processos de hidromorfismo e salinização das terras, prejudicando as suas propriedades físico-químicas e causando enormes perdas econômicas. Mais de 60 milhões de hectares estão sujeitos a processos erosivos de grau moderado a grave e cada ano se somam mais uns 650.000 ha com diversos graus de erosão. Por grau moderado entende-se uma perda ou alteração superior a 25% do horizonte superficial (o mais fértil e produtivo). Quando o arrastamento do solo ou a alteração intensa ultrapassa os 50% da mesma camada, a erosão é severa ou grave. A forma principal de degradação é o desmatamento ou a conversão das florestas para a agricultura (principalmente monoculturas de soja).

### Bolivia

41% do território boliviano está sujeito a processos de degradação da terra em diversos graus. A Bolívia está dividida em duas grandes regiões: a ocidental (árida, semi-árida e subúmida seca) e a oriental (tropical subúmida e úmida). Na região ocidental as secas são frequentes e a degradação das terras é um fenômeno ativo devido a causas naturais, agravadas pelo uso não sustentável dos recursos naturais, entre eles o solo. A erosão e a salinização são os principais tipos de degradação do solo, causando a perda da fertilidade do solo. Esses processos de degradação estão estreitamente relacionados com o sobrepastoreio, a remoção da cobertura vegetal, o cultivo nas encostas sem métodos de conservação e o aporte limitado de matéria orgânica aos solos. A região oriental apresenta uma cobertura vegetal densa, com floresta primária em alguns casos, e em outros, uma agricultura intensiva. Ocorre também processos erosivos, compactação do solo, perda da cobertura vegetal e contaminação, os quais sofrem como consequência, a perda da biodiversidade e da fertilidade do solo. As causas principais são o sobrepastoreio, corte e queima indiscriminados das florestas e campos, a expansão das áreas de fronteira agrícola em áreas não aptas e o uso inadequado de produtos agroquímicos.

### Brasil

As áreas susceptíveis à Desertificação (ASD) no Brasil encontram-se nos estados da região Nordeste, além de Minas Gerais e Espírito Santo, sendo a região Nordeste Brasil é a área mais suscetível. Essas áreas semi-áridas e subúmidas são secas e são objeto do PAN-Brasil (Programa Nacional de Ação para o combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca). A avaliação da degradação nessas áreas durante o período 1990-2001 indica que enquanto as regiões semi-áridas apresentaram uma redução da área cultivada (cerca de 3 milhões de hectares), as regiões subúmidas secas a zona agrícola se expandiu para 1,4 milhões hectares, resultando numa diminuição da área cultivada de 2,3 milhões de hectares.

### Chile

A área afetada pela desertificação no Chile atinge 47,3 milhões de hectares (cerca de 62% do país). Este processo está relacionado com o desmatamento, a degradação do solo, a escassez de água e o sobrepastoreio (principalmente caprino, nas regiões IV e V), e resulta no baixo rendimento de produção agrícola. As áreas mais degradadas estão localizadas na metade norte (Região I a VIII) e na parte sul do país (Região XI e XII). Do mesmo modo, a erosão constitui na atualidade, um dos problemas ambientais com maior influência na agricultura e agrosilvopastoril. Em nível nacional, a superfície que corresponde aos solos erodidos (com vários graus de erosão) é de cerca de 36,8 milhões de hectares, equivalentes a 49% do território nacional. Os setores com maiores problemas de erosão em ordem de importância são: a região de Coquimbo, com 84% dos solos erodidos, Valparaíso (57%) e O'Higgins (52%).

### Colômbia

As zonas áridas ocupam 245.342 km<sup>2</sup> (21% da extensão continental do país), encontrando-se presentes em uma grande variedade de ambientes: desde os páramos nas partes mais altas das cordilheiras até os ecossistemas das terras baixas. Estima-se que uns 193 510 km<sup>2</sup>, 17% do território nacional, seja afetado pela desertificação (79% das áreas secas do país apresentam níveis diferentes de desertificação). Esta desertificação é principalmente o resultado da erosão e da salinização. Com relação à compactação, aproximadamente 74 % do país é suscetível a esta problemática (especialmente nas regiões naturais do Orinoco, do Caribe e da região andina). Cerca de 80% da região andina da Colômbia é afetada pela erosão. Uma das principais causas deste fenômeno é a aplicação das tecnologias agropecuárias inadequadas e muitas vezes sem levar em conta a sua aptidão de uso.

### Costa Rica

No país se produziu uma diminuição dos dois tipos principais de processos de degradação: o desmatamento, que passou de 22.000 hectares em 1990 para 8.000 hectares em 2000, e o número de incêndios florestais. Este último também foi reduzido de 7.103 hectares em 1990 para 1.322 em 2000.

### Cuba

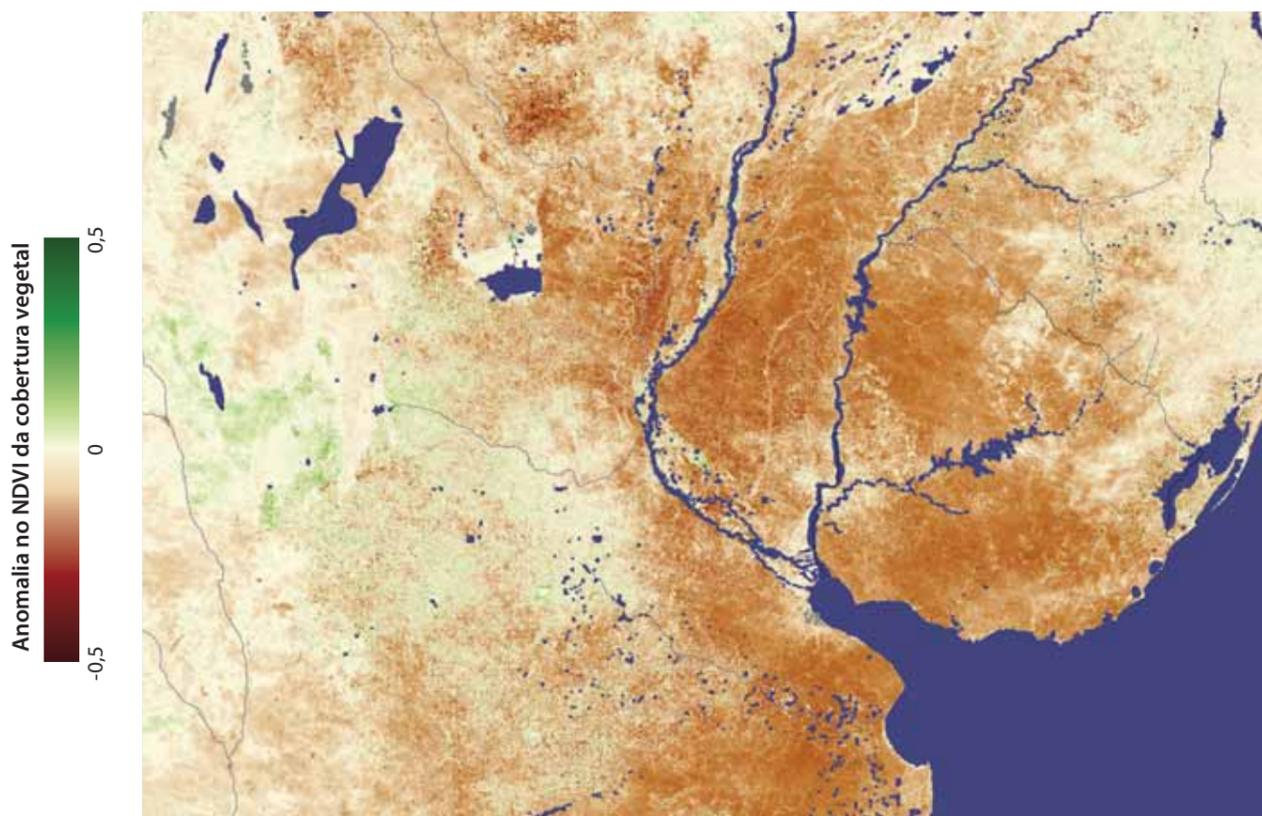
De acordo com informações de 2006, 80 % da área agrícola do país encontra-se afetado por um ou vários fatores limitantes da sua produtividade, o que faz com que o rendimento potencial das principais 29 culturas agrícolas se encontrem abaixo dos 70%, enquanto que 65 % destes encontram-se abaixo de 50 %. 71 % da superfície agrícola contém um conteúdo muito baixo de matéria orgânica, seguidos pelos solos afetados pela baixa fertilidade (44 %), erosão hídrica (43%), falta de drenagem (40%), acidez (40%), compactação (24%) e salinidade (15 %). As principais causas são as antropogênicas.

### Equador

O Equador apresenta 25 "áreas de vida" das quais 11 se enquadram na categoria de áreas áridas, semi-áridas e subúmidas secas dentro do marco da Convenção das Nações Unidas para Combate à Desertificação. A área suscetível à desertificação corresponde a 28% do país. De acordo com os dados de 2005, a superfície afetada pelos processos erosivos é de 50% do total, sendo 17% pela deterioração das bacias hidrográficas, 15% por processos de desertificação e 9% pela perda de nutrientes dos solos (baixa fertilidade).

### El Salvador

A erosão hídrica por causa da chuva afeta todo o território nacional. Constitui o processo de degradação do solo mais importante. A erosão de grau forte e o escoamento superficial se produz em todas as áreas de encosta desprotegida e cultivadas com grãos básicos nas montanhas e nas colinas da região norte e central do território, agravando as inundações na planície costeira e os danos consequentes. De acordo com os dados de 1999 75% do país está sujeito a processos de erosão hídrica (cerca de 1,58 milhões de hectares). A degradação do solo por contaminação surge nas áreas específicas da planície costeira, onde se estabeleceu o cultivo intensivo de algodão nas décadas de 1970 e 80. Também foram encontrados resíduos de inseticidas organoclorados e de herbicidas como Atrazina e 2,4-D nas amostras de solo extraídas entre 1996-997 no Distrito de Riego y Avenamiento No. 3, Lempa - Acahuapa.



Desde meados de novembro de 2008 até meados de fevereiro de 2009, os padrões climáticos incomuns causaram temperaturas extremas e precipitação pluvial nesta região agrícola que normalmente é produtiva. Essa época do ano é fundamental para muitas culturas (algodão, trigo, soja e milho). Os tons marrons revelam o crescimento dessas plantas, que é muito menos vigorosa do que a média em finais de janeiro de 2009. (NASA)

## O índice de NDVI

Numa tentativa de monitorar as grandes flutuações na distribuição da vegetação e entender como estas afetam o meio natural, os cientistas usam sensores em satélites para medir e mapear a densidade da vegetação na Terra. Através da medição da intensidade da luz no espectro visível e infravermelho refletido pela superfície da terra para o espaço, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é calculado. Este quantifica a concentração da vegetação com folha verde. Ao combinar os dados de NDVI diários nos períodos de 8, 16 ou 30 dias, é possível identificar onde existem plantas crescendo e se o estão fazendo sob condições de estresse (p. ex., estresse hídrico, devido à falta de água).

O índice baseia-se no pigmento responsável pela coloração verde das folhas das plantas: a clorofila. Este absorve fortemente a luz visível (VIS - de 0,4 a 0,7 micras de comprimento de onda) para a planta possa realizar a fotossíntese, enquanto que a estrutura celular das folhas reflete fortemente a luz no infravermelho próximo (NIR 0,7-1,1 micras). Quanto maior o número de folhas, maior será o comprimento de onda afetado. A expressão matemática do índice é:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

Para um pixel, os cálculos de NDVI sempre resultam num número que varia entre menos um (-1), a mais um (1); portanto, o valor 0 significa que não existe nenhuma vegetação e ao aproximar-se de 1, o índice indica a densidade máxima de folhas verdes.

## Guatemala

A principal forma de degradação dos solos no país é a erosão hídrica. De acordo com dados recentes, a taxa de erosão é de aproximadamente 274,7 milhões de t/ha por ano. Por outro lado, mais de 13.000 km<sup>2</sup> (12%) do território nacional, encontra-se ameaçado pela desertificação. Nesta área habitam cerca de 1,4 milhões de pessoas, 83% das quais sofrem de pobreza extrema como consequência dos fatores biofísicos limitantes. O risco da seca permanece em 19 dos 22 departamentos do país. Entre os departamentos mais afetados estão: El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Jutiapa e Baja Verapaz. Tanto o processo de desertificação como a seca são causados principalmente por fatores naturais, como a sombra hidrográfica, que se magnifica com a perda da cobertura natural, cuja média no país equivale a 38.597 ha anuais, observando-se as maiores perdas de floresta nos departamentos de Chiquimula e Jutiapa, ambos dentro da área semi-árida.

## Honduras

A seca, a erosão do solo, o desmatamento, a perda da biodiversidade e a redução a níveis críticos dos recursos naturais como a água, têm sido determinantes para a falta de sustentabilidade econômica e ambiental, especialmente nos sistemas produtivos. Estes efeitos também são associados com a pobreza: considera-se que 71 % da população de Honduras vive abaixo da linha da pobreza.

## México

No país existem 88 milhões de hectares afetados pelos processos de degradação de solos. A erosão eólica abrange pouco mais de 9% do país (18,5 milhões de hectares). Os estados com maior proporção da superfície afetada são: Tlaxcala (26%), Chihuahua (26%) e Nuevo León (19%). As áreas afetadas pela erosão hídrica atingem a 12% do país, equivalente a 23 milhões de hectares. Os estados que apresentam uma proporção maior de superfície afetada por este tipo de erosão são: Guerrero (32%), Michoacan (27%) e o Estado do México (25%). A degradação química do solo está intimamente associada com a intensificação da agricultura e seus efeitos podem ser observados em 35 milhões de hectares. A degradação física ocorre em 12 milhões de hectares, o Distrito Federal é o mais afetado, com 46 % do seu território, seguido de outros estados como Tabasco (37%) e Veracruz (29%).

## Nicarágua

A Nicarágua é um país eminentemente agropecuário e florestal, com três regiões ecológicas: (i) a região central (30% do país), com predomínio de encostas, onde a erosão hídrica é induzida pelo sobrepastoreio do gado, o uso de queimadas agropecuárias e a lavoura com bois em áreas com declives superiores a 10% para o cultivo de grãos básicos; (ii) a região do Pacífico (15%), a mais densamente povoada, com solos de alta fertilidade natural desenvolvidos sobre cinzas vulcânicas recentes, onde são comuns os processos de erosão eólica e hídrica (laminar e em depressões) devido à lavoura mecanizada, existindo também a poluição dos aquíferos pelo uso excessivo de agrotóxicos; (iii) a região atlântica do trópico úmido (55%), onde ocorre o desmatamento acelerado (60.000 ha/ano de acordo com os dados de INAFOR) devido ao uso da terra para atividades agrícolas e de pastagem. São comuns os processos de lixiviação de sais, compactação por pisoteio do gado e queima agrícola e pecuária.

## Panamá

De acordo com o Plano de Ação Nacional de Combate à Desertificação e à Seca (2004), existem um total de 2,1 milhões de hectares sujeitos a processos de seca e degradação do solo. Esta área compreende 36 distritos, 277 corregimentos e 20 bacias hidrográficas. As áreas mais afetadas pela degradação do solo são: Arco Seco, a comarca Ngobe Bugle, a savana veraguense e o departamento de Cerro Punta. Nesta área vivem 516.000 pessoas (dados do ano 2000), a maioria vive em situação de pobreza ou extrema pobreza. Nestas regiões se encontram 14 áreas protegidas que abrangem um total de 123.000 mil hectares. O Plano de Ação reconhece que essas áreas são submetidas a rigorosas exigências de produtividade (quase 35% das terras agrícolas são exploradas com a agropecuária), envolvendo o uso indevido de agrotóxicos, práticas insustentáveis de lavoura, sobrepastoreio, queimas e exploração madeireira.



Formação de voçorocas no México. Este tipo de erosão envolve a remoção das partículas do solo ou subtração por um fluxo concentrado, formando incisões estreitas, e que normalmente aportam água apenas durante e após chuvas intensas. As voçorocas conhecidas como "efêmeras" são as que podem ser removidas por procedimentos de padrão de preparo do solo (aparecem associadas a terrenos agrícolas). Por contraste, as voçorocas permanentes, como mostrado na imagem, não podem ser removidas por procedimentos convencionais de lavoura. (CCG)

## Paraguai

A redução da cobertura florestal na região oriental do país aumentou em cerca de 8 a 18 milhões de hectares entre as décadas de 40 e 90 devido a conversão das áreas para cultivo agrícola (soja, trigo e pastagens para a produção de gado). A erosão hídrica e a deterioração química do solo ocorrem principalmente na região leste do país. Isto se deve ao cultivo de solos pobres ou moderadamente férteis sem a aplicação adequada de adubos orgânicos ou fertilizantes químicos. A salinização consta igualmente como um processo importante de degradação em algumas áreas (p. ex. no Chaco paraguaio).

## Peru

Peru ocupa a terceira posição (depois da Argentina e do Brasil) entre os países da América do Sul com a maior extensão de terras áridas. Cerca de um terço da sua superfície se encontra com algum estado de desertificação, seja a área desertificada da costa ou da serra semiárida (3,9 milhões de hectares ou 3% do território) ou em processo de desertificação nas zonas tropicais da Amazônia peruana (30 milhões de hectares ou 24% do território), desmatadas por causa da agricultura migratória ou de corte e queima, a qual corresponde com o desmatamento, a 150.000 ha anuais. A categoria de terras áridas denominadas "deserto" abrange 8,3 milhões de hectares onde habitam 12,9 milhões de pessoas; as áreas de processo de desertificação compreendem 30 milhões de hectares, com 7,7 milhões de habitantes; e as regiões desertificadas incluem 3,9 milhões de hectares, afetando 1,1 milhões de pessoas.

## Uruguai

Apesar de ocorrerem várias formas de degradação dos solos, a erosão hídrica de origem antrópica é o problema ambiental mais importante, associado com a atividade agropecuária. Afeta cerca de 30 % da área do país (480 mil hectares). Manifesta-se em diferentes graus: leve (18 % dos solos), moderada (10%), severa (1%) e muito severa (1%). Os processos de erosão são principalmente desencadeados pelas atividades agrícolas (85%), sem problemas associada a deflorestação, devido ao fato que a vegetação nativa predominante são pastagens naturais. Outro fator importante da degradação é a perda de matéria orgânica dos solos (com consequente perda de qualidade do solo), muitas vezes causados pela erosão.

## Venezuela

44 % das terras da Venezuela tem o relevo como principal fator limitante da produção agrícola e, em consequência, riscos de erosão; 32% apresenta problemas de fertilidade, 18% limitações de drenagem, 4% limitações dos recursos hídricos e apenas 2% do território nacional apresenta terras de boa qualidade. Não se dispõe de informações oficiais, (segundo os dados de 2004) da extensão da degradação do solo em nível nacional; no entanto, o Plano de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PAN) indica que 34 % da área de 11 estados de climas áridos, semiáridos e subúmidos secos são afetados pela degradação do solo (99.000 km<sup>2</sup>). Nesta área habitam 6 milhões de pessoas (cerca de um quarto da população total desses estados).

## Boas práticas de gestão e manejo dos solos

A causa principal da degradação física, química e biológica terras cultivadas, das pastagens, pradarias e áreas florestais, é o manejo inadequado do solo. Em muitos países existem tensões contínuas devido aos recursos limitados da terra, uma vez que 80% da população mundial depende destes para sobreviver. A crescente pressão sobre os recursos naturais tem causado uma diminuição na produtividade da terra, especialmente com as práticas de agricultura extensiva. Isso tem se manifestado no empobrecimento das colheitas, na diminuição da cobertura vegetal, na salinização, na redução da fertilidade e no aumento da erosão.

Para favorecer a segurança alimentar e o sustento de boa parte da população mundial, é necessário reverter os processos de degradação do solo, garantir o fornecimento de água, assim como outros recursos, e assim, favorecer o aumento das colheitas e da reprodução de espécies animais, mediante as boas práticas de uso e manejo da terra.

A seguir são descritos alguns exemplos de iniciativas para melhorar a produtividade da terra sem prejudicar os serviços do ecossistema (p. ex., conservação da biodiversidade, abastecimento de água, armazenamento de carbono) ou pelo menos, reduzindo o impacto das atividades agrícolas na medida do possível.

### Agricultura conservacionista

O objetivo da Agricultura Conservacionista (AC) é alcançar uma agricultura sustentável e rentável, a fim de melhorar as condições de vida dos agricultores. Os três princípios da AC são:

- a perturbação mínima do solo
- a cobertura permanente, e
- a rotação de culturas.

A AC oferece um grande potencial para manejar propriedades rurais de diversos tamanhos e sob distintos sistemas agroecológicos. No entanto, são os pequenos produtores os que mais se beneficiam deste sistema, especialmente aqueles que não possuem mão de obra. A AC combina uma produção agrícola rentável com a proteção do meio natural e tem mostrado ser capaz de operar numa ampla gama de zonas agroecológicas e sistemas de produção. Esta prática é considerada na atualidade, uma ferramenta válida para o manejo sustentável do solo. Para que a AC funcione de forma eficaz, devem considerar os seus princípios de maneira simultânea e integrada, na hora de aplicar as técnicas agrícolas que nela se baseiam.

Os principais benefícios ambientais que se derivam da prática da AC são:

1. Melhora no conteúdo da matéria orgânica. A matéria orgânica está diretamente ou indiretamente relacionada com todos os processos que ocorrem no solo. A qualidade do solo é determinada principalmente pelo conteúdo da matéria orgânica (o qual é variável e muito sensível aos sistemas de manejo do solo).
2. Conservação e melhoria da estrutura do solo e da água. A AC melhora a estrutura do solo e portanto, aumenta a infiltração da água da chuva em relação à lavoura convencional. Isto ajuda a manter o caudal ecológico dos rios e dos córregos que depende mais do fluxo subterrâneo do que do escoamento superficial, e igualmente revitaliza as nascentes. Ao favorecer a infiltração, também são diminuídos o risco de inundações.
3. Melhora da biodiversidade. Os sistemas agrícolas com abundantes restos vegetais sobre a superfície do solo, fornecem alimento e abrigo para muitas espécies da fauna nos períodos críticos do seu ciclo vital. A cobertura vegetal abriga espécies de aves, pequenos mamíferos, répteis e muitos invertebrados, entre outros.

### Agricultura de precisão

A agricultura de precisão é uma ferramenta de manejo agrícola, a qual requer o uso das tecnologias de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), sensores, satélites e imagens aéreas, juntamente com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a fim de estimar e conhecer as variações das características do terreno. A informação coletada é usada para se avaliar com maior precisão, a densidade ótima do plantio ou a quantidade necessária de fertilizante, e assim, poder prever com maior precisão, a produção dos cultivos.

A agricultura de precisão tem como objetivo otimizar o manejo de uma parcela a partir do ponto de vista:

- Agrícola: ajuste das práticas de cultivo às necessidades da planta.
- Ambiental: redução do impacto vinculado à atividade agrícola.
- Econômica: aumento da competitividade através de uma maior eficácia das práticas.

Além disso, a agricultura de precisão fornece ao agricultor uma série de informações (memória real de campo) de grande utilidade para a tomada de decisões ou para monitorar os produtos (rastreadibilidade).

### Sistemas agroflorestais

De acordo com Farrell e Altieri [78], "o objetivo da maioria dos sistemas agroflorestais é de otimizar os efeitos benéficos das interações dos componentes da floresta com o componente animal ou dos cultivos, para obter um padrão produtivo comparável com o que geralmente se obtém dos mesmos recursos disponíveis na monocultura, dadas as condições econômicas ecológicas, e sociais predominantes".

A característica principal dos sistemas agroflorestais é a sua capacidade de otimizar a produção do território (unidade do terreno), através de uma exploração diversificada, onde as árvores desempenham um papel fundamental. Outras características dos sistemas agroflorestais são:

- Sustentabilidade. Ao se utilizar sistemas baseados nos ecossistemas naturais, a produtividade pode se manter por mais tempo, sem que ocorra a degradação da terra.
- Aumento da produtividade. O favorecimento das interações entre os componentes da paisagem com condições melhoradas de crescimento e uso eficaz dos recursos naturais (espaço, solo, água, luz) repercute em uma maior produção.
- Adaptabilidade cultural/ sócio-econômica. O sistema agroflorestal pode ser aplicado tanto em pequena como em grandes áreas. É uma prática muito valorizada, especialmente pelos pequenos agricultores nas áreas marginais e pobres das regiões tropicais e subtropicais, já que habitualmente não podem aceder às tecnologias mais caras.

## Produção Agropecuária sustentável na Argentina: novos desafios e mudanças climáticas

Na Argentina, o processo denominado de "agriculturización" consiste de dois eixos principais: a intensificação do uso da terra nas áreas tradicionalmente exploradas, como o Pampa, e a incorporação de novas áreas, particularmente do Centro, Noroeste e Nordeste, geralmente por meio do desmonte e do desmatamento.

As diversas condições climáticas do país determinam amplas variações na vulnerabilidade dos solos frente às intervenções agrícolas:

A região pampeana, de solos férteis e profundos sob um clima temperado-úmido, constitui um ambiente pouco frágil e com uma alta capacidade de recuperação ou resiliência. Não obstante, são registrados problemas de degradação quando os solos são mal manejados.

Nos biomas de florestas tropicais e montanhas e de estepes arbustivas, em condições subtropicais e áridas respectivamente, encontram-se solos com baixo teor de matéria orgânica, pouco férteis e vulneráveis (com pouca capacidade de recuperação). Isto propicia os processos de erosão hídrica e eólica e em consequência, a desertificação, uma situação difícil de reverter.

Deste modo, os ecossistemas argentinos e os seus solos em particular, enfrentam três principais ameaças e oportunidades: a expansão da fronteira agropecuária, a mudança no paradigma de produção e o impacto das mudanças climáticas. A isso soma-se os aspectos sócio-econômicos do uso e posse da terra, a integração das cadeias produtivas e as questões derivadas das políticas nacionais de desenvolvimento agroindustrial.

A mudança de paradigma da produção pressupõe uma modificação conceitual dos objetivos, das práticas e da tecnologia dos cultivos. Neste sentido, a Argentina adotou o sistema de plantio direto, que já atinge na atualidade, cerca de 19 milhões de ha, o qual representa mais de 50% da área total atualmente cultivada. Além disso, destaca-se o uso de variedades geneticamente modificadas e do aumento do uso de fertilizantes (embora isto nem sempre implique uma reposição de nutrientes realista).

No que diz respeito às mudanças climáticas, foram registradas mudanças nos padrões de distribuição das chuvas e aumento das temperaturas. Na Argentina, durante os últimos 40 anos, as precipitações estivais aumentaram, sendo observado um deslocamento para o oeste, o qual tem permitido a entrada de culturas como a soja e o milho nas áreas tradicionalmente usadas para a pecuária ou cultivos de inverno. É importante poder prever essas mudanças climáticas e identificar os processos poderão afetar as funções dos solos dentro do ecossistema, mediante estudos agroclimáticos contínuos e aumento no número de estações de observação e monitoramento.

Durante as próximas décadas, os produtores agropecuários, o sistema científico-tecnológico e os países agro-exportadores como a Argentina, terão o desafio de aumentar a produtividade dos solos, diminuir os impactos negativos das atividades sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, recuperar as áreas degradadas e implementar práticas de manejo sustentável dos solos, com o objetivo produzir alimentos suficientes para a população mundial e manter a qualidade ambiental.



Cultivo da soja na região pampeana. Santa Fe, Argentina. (JLP)

Os sistemas agroflorestais podem ser agrupados da seguinte maneira:

1. Agrosilvicultura. O uso da terra para a produção sequencial ou simultânea de cultivos agrícolas e florestais.
2. Sistemas silvipastoris. As florestas são destinadas para a produção de madeira, alimento e forragem, e ao mesmo tempo, a terra é usada para a produção animal.
3. Sistemas agrosilvipastoris. Produção simultânea de cultivos florestais, agrícolas e pecuários.
4. Produção florestal de uso múltiplo. Organização das florestas não só para produzir madeira, mas também para a produção de outros produtos não-madeireiros, como alimentos ou forragem.

Outra forma de classificar os sistemas agroflorestais é em função da variação dos usos ao longo do tempo:

- Sistemas agroflorestais sequenciais. Existe uma relação cronológica entre as colheitas anuais e os produtos arbóreos; ou seja, os cultivos anuais e as plantações de árvores se sucedem no tempo. Esta categoria inclui formas de agricultura migratória com intervenção ou manejo de pousios e os sistemas "taungya", método de estabelecimento de plantações florestais em que as culturas anuais são cultivadas simultaneamente com as plantações de árvores, mas apenas temporariamente, até que as árvores se desenvolvam.
- Sistemas agroflorestais simultâneos. É produzida uma integração simultânea e contínua de cultivos anuais ou perenes, árvores madeireiras, frutas ou de uso múltiplo e/ou pecuário. Estes sistemas incluem a integração de árvores com cultivos anuais ou perenes, hortos mistos e sistemas agrosilvipastoris.

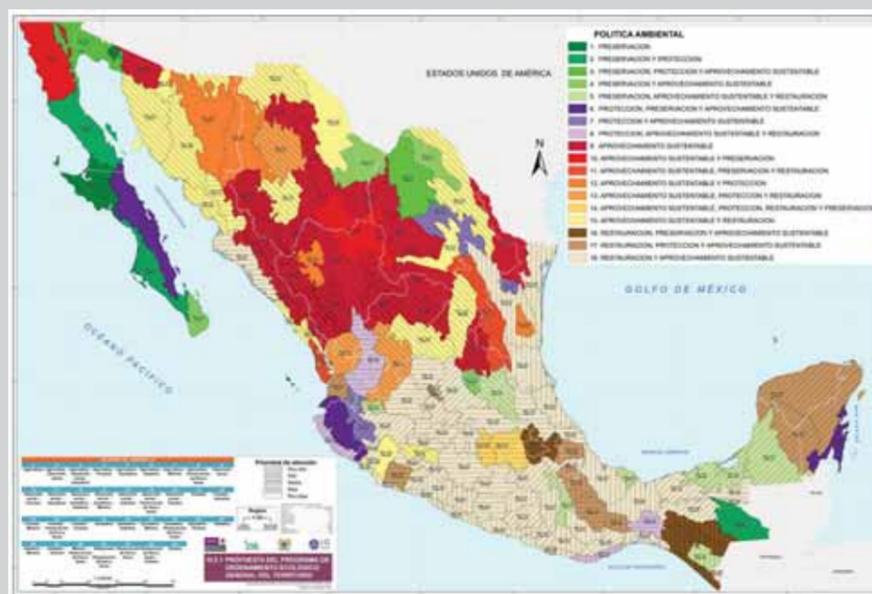
A seguir, descrevem-se uma série de exemplos de sistemas agroflorestais:

- Árvores de sombra em culturas permanentes. É o caso das culturas do café e do cacau. Inclui árvores madeireiras de uso múltiplo e de "serviços", orientadas a favorecer ao cultivo (fixação de nitrogênio, sombra, produtores de mulch).
- Cultivo em aléias e cercas ou barreiras vivas. Utilização de árvores e arbustos, juntamente com outros componentes (p. ex.: gramíneas ou pastagens) para formar fileiras que deixam entre si corredores usados geralmente para a produção de cultivos anuais. Sua finalidade principal é melhorar o solo (fixação de nitrogênio, produção de mulch arbóreo) e/ou reduzir erosão nas encostas.

## O Ordenamento Ecológico Mexicano

O governo do México molda as suas estratégias de conservação dos recursos naturais através do Ordenamento Ecológico. Trata-se de um processo de planejamento que visa definir um padrão de ordenamento territorial com o maior consenso possível entre os diferentes setores sociais e as autoridades da região. Através deste processo geram-se, implementam-se e avaliam-se, no caso, as políticas ambientais, com as quais se pretende atingir um melhor balanço entre as atividades produtivas e a proteção do meio ambiente. O Ordenamento Ecológico inclui um zoneamento, diretrizes ecológicas para cada zona e um conjunto de estratégias ecológicas. Uma diretriz ambiental é definida como um enunciado geral que reflete a meta ou o estado desejado de uma unidade territorial ou zona. Para que seja válido, deve-se cumprir o seguinte: (1) ser estabelecida por consenso entre os setores envolvidos no comité de ordenamento ecológico, (2) fundamentar-se com a melhor informação técnica e científica, e (3) gerar-se por meio de procedimentos sistemáticos e transparentes. Por sua parte, as estratégias ecológicas incluirão todas as ações, programas e projetos dos três níveis de governo com os quais se busca de cumprir as diretrizes correspondentes.

Os governos estaduais estão obrigados por lei a implementar os ordenamentos ecológicos do território.



A elaboração deste plano requereu a integração de um grupo de trabalho no qual participaram nove secretariados: de Meio Ambiente, Energia, Turismo, Agricultura, Desenvolvimento Social, Economia, Governança, Reforma Agrária e de Comunicações e Transportes, assim como o Instituto Nacional de Geografia e Estatística, o Centro Nacional de Prevenção de Desastres, Petróleos Mexicanos, a Comissão Federal da Eletricidade e o Serviço Geológico Mexicano.

(Fonte: SEMARNAT. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais. Governo Federal dos Estados Unidos Mexicanos; Universidade Nacional Autônoma do México (UNAM)).

- Sistema de *taungya*. Plantio de cultivos durante a fase de estabelecimento de plantações de árvores frutíferas ou cultivos perenes como café e cacau.
- "Corte e queima" e pousios melhorados. Sistemas agrícolas tradicionais, utilizando o pousio ou floresta secundária para regenerar a fertilidade do solo e controlar as ervas daninhas.
- Árvores isoladas em campos agrícolas. Inclui a regeneração natural e a plantação de espécies madeireiras, frutíferas e árvores de diversos usos (p. ex.: para a melhoria do solo, forragem, lenha, medicinais) com espaçamento amplo (> 10 m) nas áreas principalmente utilizadas para cultivos anuais.

- Fileiras de árvores no entorno de campos agrícolas. Cercas vivas, lindeiras e quebra-ventos.
- Hortos caseiros. Uma mistura de vários estratos complexos de árvores, arbustos, lianas (trepadeiras), culturas perenes e anuais, animais (especialmente porcos e galinhas) para gerar uma multitude de produtos comerciais e de uso familiar.
- Pastoreio em florestas secundárias/plantações florestais. Mais comuns nas plantações jovens (2-6 anos).
- Pastoreio em plantações de culturas arbóreas. Por exemplo coco, dendê, citros.
- Árvores dispersas em pastagens. Os criadores de gado plantam árvores para uso múltiplo (madeira, sombra e/ou de forragem e frutas).
- Árvores forrageiras. Qualquer uso de árvores/arbustos, com ou sem associação com pastagens, para fornecer forragem aos animais domésticos (p. ex. gado, galinhas), incluindo os "bancos de forragem".
- Pastoreio em sistemas agrosilviculturais. Muito comum na época da seca, após as colheitas, para aproveitar os resíduos das culturas (palhada). As árvores também constituem a única folhagem verde no verão.

## Políticas de conservação de solos no Uruguai

O Uruguai tem passado por um processo de expansão e intensificação agrícola, o qual quadruplicou sua produção de grãos nos últimos 15 anos. Tal como aconteceu no caso da Argentina, a crescente demanda internacional de produtos agrícolas estimulou esse aumento, o que torna indispensável atingir o uso e manejo responsável do solo para alcançar a sustentabilidade produtiva a longo prazo.

A Lei de Conservação dos Solos e das Águas no Uruguai declara de interesse nacional promover e regular o uso e conservação dos solos e águas superficiais para fins agrícolas, sendo competência do Estado, prevenir e controlar a degradação dos solos. Além disso, também iniciou-se a implementação normativa, mediante a qual, o Ministério da Pecuária, Agricultura e Pesca exige dos agricultores, a apresentação de Planos de Uso e Manejo Responsável do Solo aos. Estes planos devem incluir o sistema de produção planejado, levando em conta o tipo de solo, a sequência dos cultivos e as práticas de manejo, de modo que não ultrapasse a taxa de erosão tolerável. Em 2010 iniciou-se a Fase Piloto da apresentação de tais planos, e em 2012, no momento de escrever este texto, encontra-se na fase de desenvolvimento e avaliação conjunta por parte de técnicos e empresas privadas. Até agora foram apresentados planos em 29.000 ha, que representa 2% da área agrícola do país. 70% da área dos planos apresentados corresponde a rotações agrícolas puras que incluem gramíneas de verão. Nesta primeira fase, se considerou como muito positivo o trabalho de coordenação público/privada para a implementação de políticas públicas.



Homem arando o campo arando na Bella Union, Departamento de Artigas, no Uruguai. (Li)

## A Estratégia Ambiental Nacional de Cuba

Desde 1997, esta diretriz política se identifica à degradação do solo como o principal problema ambiental do país, uma vez que 76% das terras são afetados pelo menos por um fator que limita a sua produtividade. Dada esta situação, surge em 1993 o Decreto 179, o qual contém as regulações específicas que regem a proteção, o uso e a conservação de solos, e em 2001, o Programa Nacional para o Melhoramento e Conservação dos Solos (PNMCS), através do qual, o estado subvenciona os produtores para que apliquem medidas orientadas a deter e reverter o processo de degradação de seus solos, como: o uso da adubação verde, a aplicação de adubos orgânicos, construção de barragens (pequenos diques) ou canais de drenagem. Este programa é coordenado pelo Instituto de Suelos do Ministério da Agricultura, cujos especialistas devem certificar previamente a medida aplicada no lugar. Existem outros programas dentro do marco da Estratégia Ambiental, como por exemplo o Programa Nacional de Combate à Desertificação e à Seca e o Programa Florestal.



Imagem de satélite da geleira Perito Moreno. Apesar de ser uma das poucas geleiras no mundo ainda em expansão, os efeitos da mudança climática são evidentes: na imagem pode-se observar uma redução de sua profundidade, especialmente nas margens. (NASA)

## As mudanças climáticas na ALC

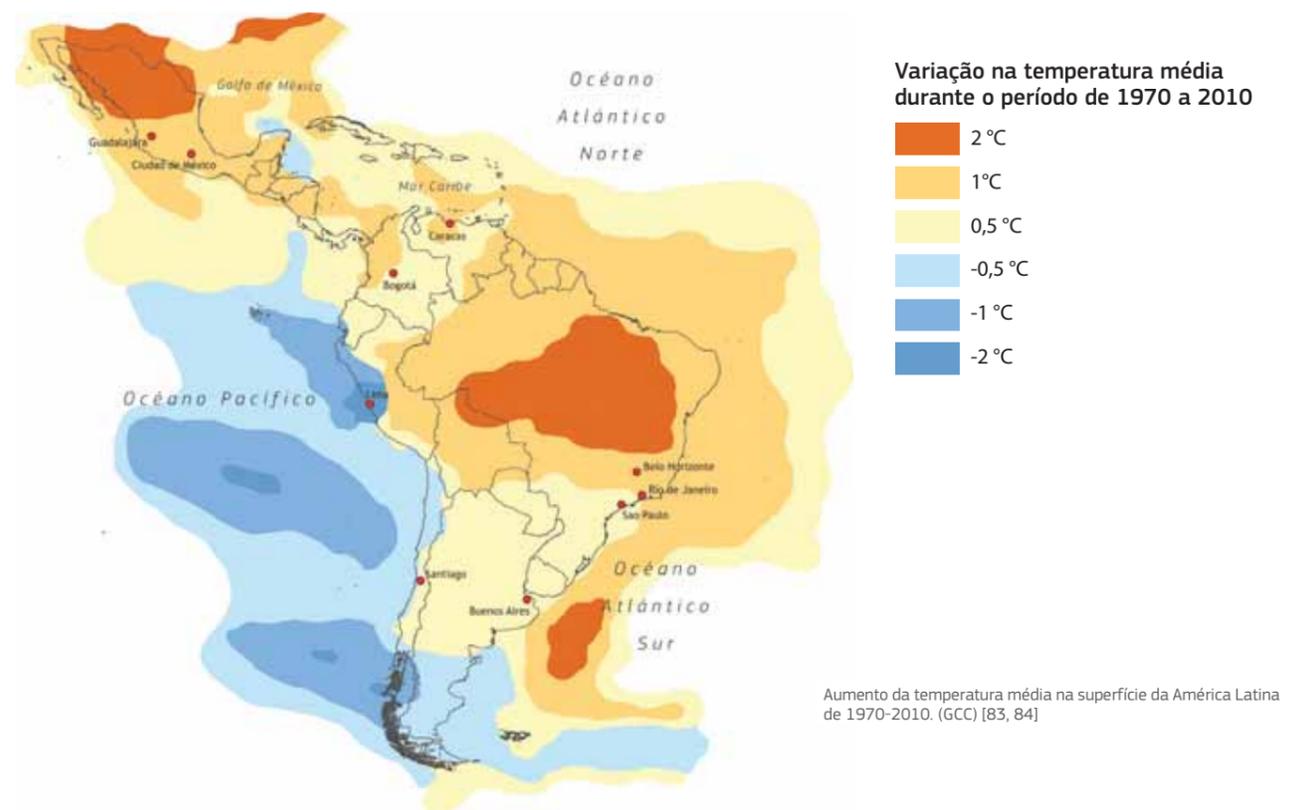
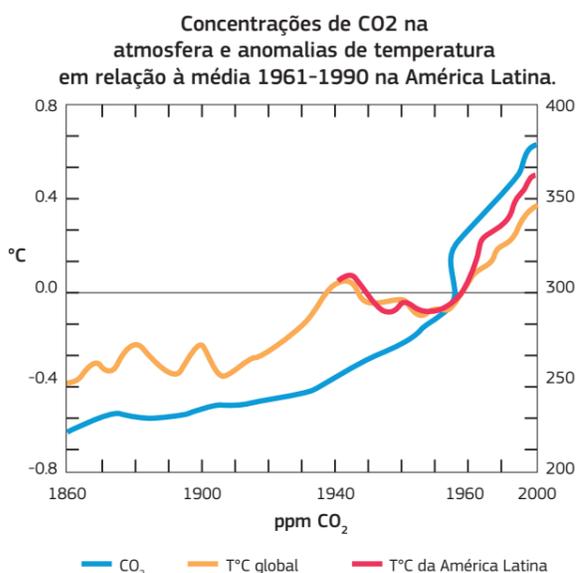
A atmosfera do nosso planeta funciona como uma estufa que retém calor suficiente do Sol para propiciar a vida de uma grande diversidade de plantas e animais. Este sistema de controle climático depende da concentração de vários gases, denominados gases de efeito estufa (GEE), entre os quais destacam-se o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Sem a presença destes gases, a temperatura média da terra seria gelada, de cerca de -18 °C em vez dos 14,5 °C atuais.

A cada 100.000 anos a Terra se torna mais elíptica (período quente ou interglacial) ou mais circular (período frio ou glacial) fazendo com que o planeta se aproxime ou se afaste mais do Sol. Da mesma forma, a cada 41.000 anos a variação na inclinação da terra afeta a intensidade das estações do ano: na maior inclinação, os verões são mais quentes e as geleiras derretem-se em um ritmo mais rápido. A precessão dos equinócios - ou os ciclos de Milankovitch - são movimentos no entorno do eixo a cada 20.000 anos, os quais irão provocar o fato de que a cada 10.000 anos, o inverno no hemisfério norte não se inicie em novembro mas em julho [79]. Os estudos do gelo antártico demonstraram que em cada era interglacial ocorrem aumentos significativos da temperatura. A última era interglacial, a que vivemos, começou há uns 11.600 anos, durante o Holoceno, e foi iniciada devido à instabilidade da atividade solar e às mudanças na órbita, no eixo de inclinação e nos movimentos de precessão de nosso planeta.

Durante uma era interglacial, se produz em primeiro lugar, o aumento da temperatura e a seguir, o aumento do nível do CO<sub>2</sub> e, finalmente, o aumento do nível do mar. O que varia na da situação atual, é que o nível de CO<sub>2</sub> está aumentando desproporcionalmente em relação ao nível da temperatura e ao nível do mar. Os cientistas atribuem esta perturbação ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), devido a um aumento dramático da população - especialmente nos últimos 30 anos - e ao nosso maior consumo energético (atividades industriais, consumo doméstico e transportes). De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em inglês: Intergovernmental Panel on Climate Change), a temperatura média da superfície da terra aumentou de 0,74°C nos últimos 140 anos (1860-2000). Este aumento foi acompanhado por um aumento nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera (ver figura abaixo).

Cerca de 99% da atmosfera terrestre é constituída unicamente por nitrogênio e oxigênio. Apenas uma fração (o 1% restante) é formada por gases com capacidade de reter calor, que são os responsáveis de muitas consequências do aquecimento global, os maiores extremos térmicos históricos, a maior intensidade dos ciclones ou frequência dos furacões, todas as quais produzem danos agrícolas, incêndios, migrações, mudanças na biodiversidade e como resultado, desequilíbrios nos ecossistemas.

De acordo com o IPCC, no seu Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas (2007), a América Latina emitiu em 2004, 11% de todos os gases no mundo, considerados no Protocolo de Quioto (aproximadamente 5 Tg/ano de GEE) incluindo aqueles emitidos pelas mudanças no uso da terra. A emissão anual de GEE per capita é próxima das 8 toneladas de CO<sub>2</sub>, o que equivale aproximadamente, a um terço da emissão média por habitante nos Estados Unidos; estima-se que em 30 anos, o consumo energético dos latinoamericanos seja similar ao dos países desenvolvidos.



## Gases de Efeito Estufa

### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

É produzido principalmente pela queima dos combustíveis fósseis, pela erosão do solo e pelo desmatamento (ao expor a serapilheira e o húmus diretamente ao calor do sol).

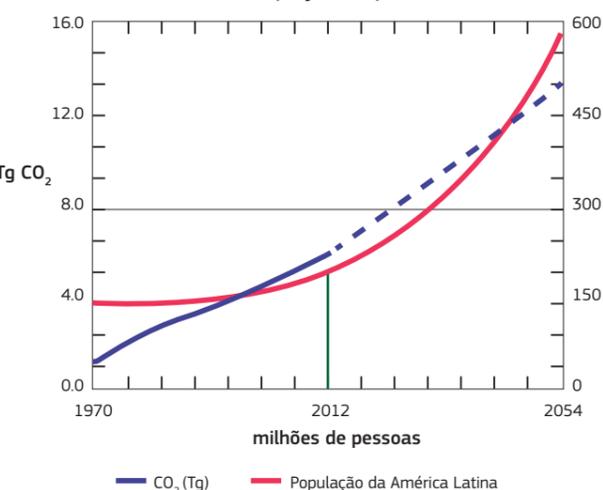
O dióxido de carbono tem uma vida média de 200 anos e se as emissões deste gás forem mantidas ao ritmo atual, até o ano 2100, a concentração irá aumentar de 390 a 525ppm e o mundo provavelmente irá se aquecer mais do que os 4°C previstos.

No caso de que não haja nenhum controle das emissões deste gás, seus níveis aumentariam até ultrapassar os 800 ppm e o aumento da temperatura ultrapassaria os 5,5 °C, certamente superando a capacidade de adaptação de 40% das espécies, levando-as à extinção.

Na América Latina, os países com maiores emissões líquidas de CO<sub>2</sub> são: o Brasil, o México e a Argentina, enquanto que os países com maior emissão per capita são: Brasil, Bolívia e Venezuela. Existem países como o Peru, a Bolívia, Cuba, Costa Rica e a República Dominicana, onde o solo representa o eixo principal de atividades com alta emissão de gases de efeito estufa, devido à agricultura e a mudança de uso da terra. Outros países relativamente mais industrializados como o México, o Brasil e a Venezuela, tem suas principais fontes de emissão na geração de energia e na indústria.

Evolução das emissões de carbono com o aumento da temperatura média e o crescimento da população na América Latina (CCG / IPCC). [80, 81, 82]

### Emissões de carbono e crescimento da população de 1970 a 2012 e projetada para 2054.



### Metano (CH<sub>4</sub>)

É liberado durante a geração de gases nos solos húmicos dos pântanos, nos solos inundados ou ocupados com campos de arroz ou aterros sanitários, onde o solo atua como um receptor de resíduos sólidos e contaminantes. Também é gerado durante a fermentação dos excrementos bovinos e a na conversão do uso da terra, particularmente associado com o desmatamento. O pantanal de Mato Grosso, localizado entre as extensas savanas centrais do Brasil e a Amazônia é a maior planície de inundação permanente do planeta e o lugar que emite maior quantidade de metano da América Latina.

### Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)

O uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados como a ureia, o sulfato de amônio e a amônia anidra aumenta a mineralização da matéria orgânica do solo e libera o óxido nitroso, o qual tem cinco vezes menos permanência que o CO<sub>2</sub> na atmosfera, mas um poder de aquecimento 310 vezes maior. No México, Brasil e Argentina, são consumidos anualmente, cerca de 5,7 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados, dos quais uma parte é lixiviada para os corpos d'água, enquanto outra parte não quantificada em âmbito global, é fixada ao solo por meio de bactérias presentes nos nódulos de certas plantas (p. ex.: feijão, soja, amendoim, alfafa e trevo) e pela incorporação de adubos verdes ao solo. No Brasil, a cultura da soja praticamente não usa fertilizantes nitrogenados, pois as sementes são previamente inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio. No Peru desenvolve atualmente, um fertilizante biológico a partir de cepas do gênero *Azospirillum*. No caso da Cuba, tem se aumentado a eficiência dos cultivos com o uso de adubos orgânicos e fertilizantes biológicos.

### Outros gases

Existem outros gases de efeito estufa, como o ozônio e o vapor d'água. Alguns dos mais agressivos são os hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorados (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), os quais podem permanecer na atmosfera até 50.000 anos e conter 24.000 vezes mais poder de aquecimento que o CO<sub>2</sub>.

### O que devemos fazer?

Sabemos que as emissões de CO<sub>2</sub> aumentarão entre 55 e 70 % entre 2012 e 2030. Portanto torna-se necessário aumentar a eficiência energética, deter o desmatamento e diminuir a erosão, já que o solo é um importante recurso para o armazenamento terrestre de CO<sub>2</sub>.

Apesar de algumas regiões da Rússia e do norte da Europa possam se beneficiar do aumento de temperatura, a maior parte do mundo, incluindo a América Latina, sofrerá com as mudanças climáticas, especialmente as áreas tropicais e os países como o Haiti, El Salvador e Bolívia, que não contam com fundos suficientes para a adaptação necessária.

Na atualidade, não existem soluções únicas nem rápidas. Conseguir que o mundo encontre um uso ótimo de energia e afastar-se ao mesmo tempo do ponto de desastre climático, é o principal problema ambiental e econômico que a humanidade enfrenta neste século.

## O ciclo do carbono

Este ciclo descreve a troca de carbono entre as quatro reservas naturais deste elemento, que são: a atmosfera, os oceanos, os sedimentos fósseis e a biosfera terrestre, das quais depende a regulação do clima no planeta.

O carbono é o quarto elemento químico mais abundante no universo e forma parte de todas as moléculas orgânicas, como a glicose, as proteínas e os ácidos nucleicos. Este elemento se renova na atmosfera cada 20 anos, por meio dos mecanismos de respiração das plantas e pelas atividades dos microrganismos do solo. Graças à clorofila contida nas plantas verdes, estas captam o CO<sub>2</sub> do ar durante a fotossíntese e em seguida, liberam o oxigênio que o substituirá.

Existem dois tipos de carbono: o inorgânico e o orgânico.

### Carbono inorgânico

É formado quando os organismos marinhos usam parte do CO<sub>2</sub> da água para formar conchas ou recifes ricos em carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Quando morrem, estes resíduos permanecem depositados no fundo oceânico formando rochas sedimentares onde o carbono permanece excluído do ciclo por milhares de anos. Este carbono volta ao ciclo quando as rochas ficam expostas pelos movimentos geológicos (p. ex. erupções vulcânicas) e dissolvem-se pelo calor e pelas diferenças de umidade.

Em algumas ocasiões, a matéria orgânica fica sepultada a grandes profundidades sem contato com o oxigênio que a descompõe, produzindo assim a fermentação que gera o carvão, o petróleo e o gás natural. A exploração atual desses recursos fósseis é uma das principais causas das mudanças climáticas.

### Carbono orgânico

O carbono orgânico é de troca rápida e encontra-se presente em todos os compostos orgânicos, incluindo o solo. Existem cinco rotas naturais de transformação, nas quais os seres humanos interferem diretamente:

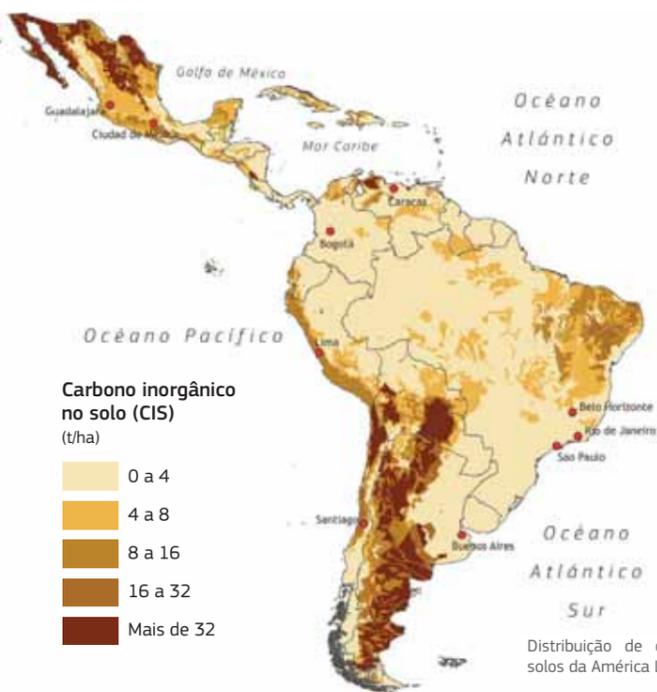
1. Da atmosfera para as plantas, mediante a geração de açúcar pela fotossíntese. Uma única árvore absorve em média uma tonelada de CO<sub>2</sub> da atmosfera durante toda a sua vida.
2. Das plantas para os animais, através das cadeias alimentares.
3. Dos seres vivos para a atmosfera, através da respiração.
4. Das plantas e animais para o solo, que ao morrerem são decompostos e integrados nas moléculas de argila, silte ou areia, mediante processos como a humificação, a translocação ou a mineralização.
5. Da atmosfera para os corpos d'água, pela dissolução de carbono e pela transformação do CO<sub>2</sub> em carbonatos pelos organismos marinhos.

### Fontes e sumidouros

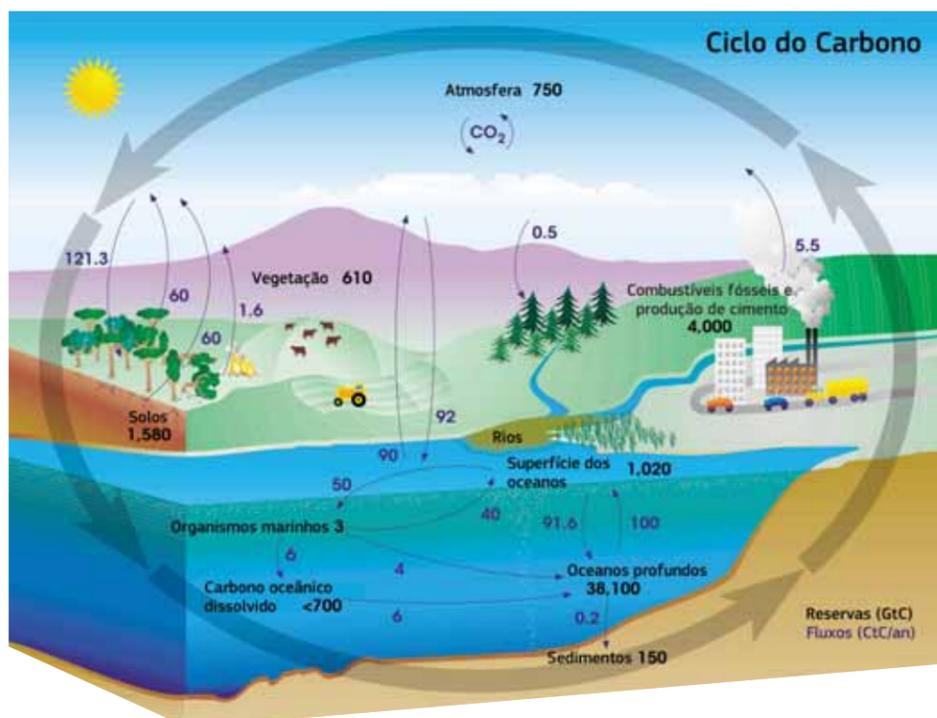
Existem três tipos de armazenamento de carbono orgânico de ciclo rápido ou biológico, de acordo com sua localização em relação à superfície do solo: i) o armazenamento aéreo, ou seja, na vegetação; ii) o armazenamento na superfície, que ocorre na manta (serapilheira e camada de fermentação); e iii) o armazenamento subterrâneo, que ocorre no solo e as raízes das plantas (ver Glossário).

As florestas primárias (nativas) são bons armazéns de carbono, mas não sumidouros, uma vez que seu fluxo de carbono com a atmosfera é mínimo; o contrário ocorre com as florestas secundárias (modificadas pelo homem), onde existe uma maior capacidade de conversão de CO<sub>2</sub> atmosférico para biomassa, por encontrar-se em crescimento. O armazenamento de carbono mais estável depois do oceano, é o solo, embora seja também o mais difícil de ser aumentado, já que se requer um tempo prolongado para isso. Os fatores que determinam o potencial do solo como sumidouro, são a profundidade, o peso do solo, a textura, os tipos e combinações de argila presentes, o grau de umidade e o volume ocupado por fragmentos grosseiros, onde o carbono orgânico não pode entrelaçar-se facilmente.

Os estoques de carbono inorgânico mais importantes, constituídos principalmente por carbonatos de cálcio, encontram-se presentes nas áreas de origem sedimentar, localizadas na Argentina, Bolívia, norte do México e norte do Chile.



Distribuição de carbono inorgânico nos solos da América Latina. (CCG / USDA) [85]



Modelo do ciclo de carbono. (JRC/LJ/NASA)

## Fontes antrópicas de carbono

Às vias de transformação do carbono já mencionadas, deve-se adicionar a intervenção humana como a principal fonte de perturbação do ciclo natural do carbono, através de quatro mecanismos principais:

### 1. Queima de combustíveis fósseis

O carbono contido originalmente nos combustíveis fósseis - carvão, gás natural e o petróleo - transformam-se em CO<sub>2</sub> atmosférico durante a geração de eletricidade, o transporte, o uso residencial, a pesca e a mineração. Destes combustíveis, o gás é a opção menos contaminante, mas somente a Venezuela o usa de maneira importante. Outros países, como a Argentina, já legislaram sobre o seu uso para os próximos anos. O carvão, por sua vez, é barato e abundante, mas é o mais contaminante de todos eles.

### 2. Extração e processamento de minerais do solo e subsolo

Quando se fabrica cimento, cal e dolomita, se transloca o carbono contido no solo e subsolo para o exterior, onde é mais facilmente transformado pelo calor ou pela dissolução direta com outras substâncias químicas. O México tem por exemplo, a maior fábrica de cimento do mundo (CEMEX), onde é produzido cerca de 2,8 Tg de cal e cimento, o que equivale à extração e movimento direto de 1,2 Gg de carbono.

### 3. Mudança de cobertura e uso do solo

Nos países latinoamericanos ocorre uma ampla quantidade e variedades de usos do solo. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) contempla pelo menos 225 transições. As que se destacam por sua maior liberação de carbono para a atmosfera, são as conversões de floresta para pastagem, de floresta para agricultura, de floresta para áreas sem cobertura vegetal e de floresta conservada para floresta degradada. Ao contrário, as transições com a maior absorção de carbono são as da agricultura para terrenos em pousio e da pastagem para floresta.

De acordo com *World Wide Fund for Nature*, na América Latina e no Caribe, cerca de 44% da superfície é coberta por floresta úmida tropical e subtropical, 18% por pastagens e 11% por desertos e vegetações arbustivas xerófilas. Os sistemas florestais sem intervenção humana possuem um aparente equilíbrio entre a síntese e a liberação de carbono para a atmosfera.

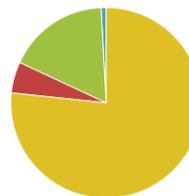
### 4. Agricultura e pecuária

A produção primária possui múltiplos efeitos no movimento do carbono do solo para a atmosfera. Quando os agricultores preparam suas terras, literalmente estão arejando o solo e com isso, aumentam a taxa de decomposição do carbono orgânico (processo denominado mineralização). Em contraste com a humificação, a mineralização causa a perda de volume e massa da parte orgânica do solo, diminuindo gradualmente suas propriedades de absorção de água e capacidade de troca de nutrientes com as raízes das plantas. Outro efeito acontece durante a fertilização: se for orgânica, se redistribui diretamente ao solo, o fluxo de carbono orgânico dos animais ou plantas, mas se a fertilização for artificial, o aumento da mineralização do carbono será muito maior. No caso das queimas da cana-de-açúcar, o homem elimina diretamente os organismos responsáveis pela humificação, afetando diretamente a estrutura física da matéria orgânica que ainda permanece após a incineração. A produção pecuária também contribui significativamente para a emissão dos GEE. Globalmente este setor produz 18% (equivalentes de CO<sub>2</sub>) das emissões antropogênicas dos GEE.

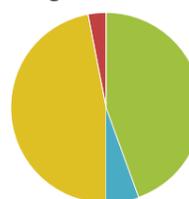
### 5. Dejetos humanos

Os dejetos sólidos, tratados ou não, são a matéria-prima para os processos microbiológicos de degradação anaeróbica, que liberam carbono para a atmosfera. Além disso, gera-se o óxido nitroso por decomposição dos excrementos humanos e o tratamento anaeróbico das águas residuais domésticas e industriais, em fase líquida e sólida (lodos).

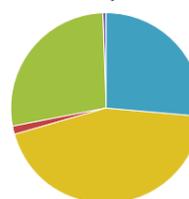
### Venezuela, 1999



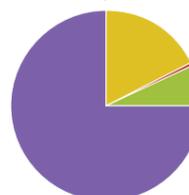
### Argentina, 2000



### México, 2006

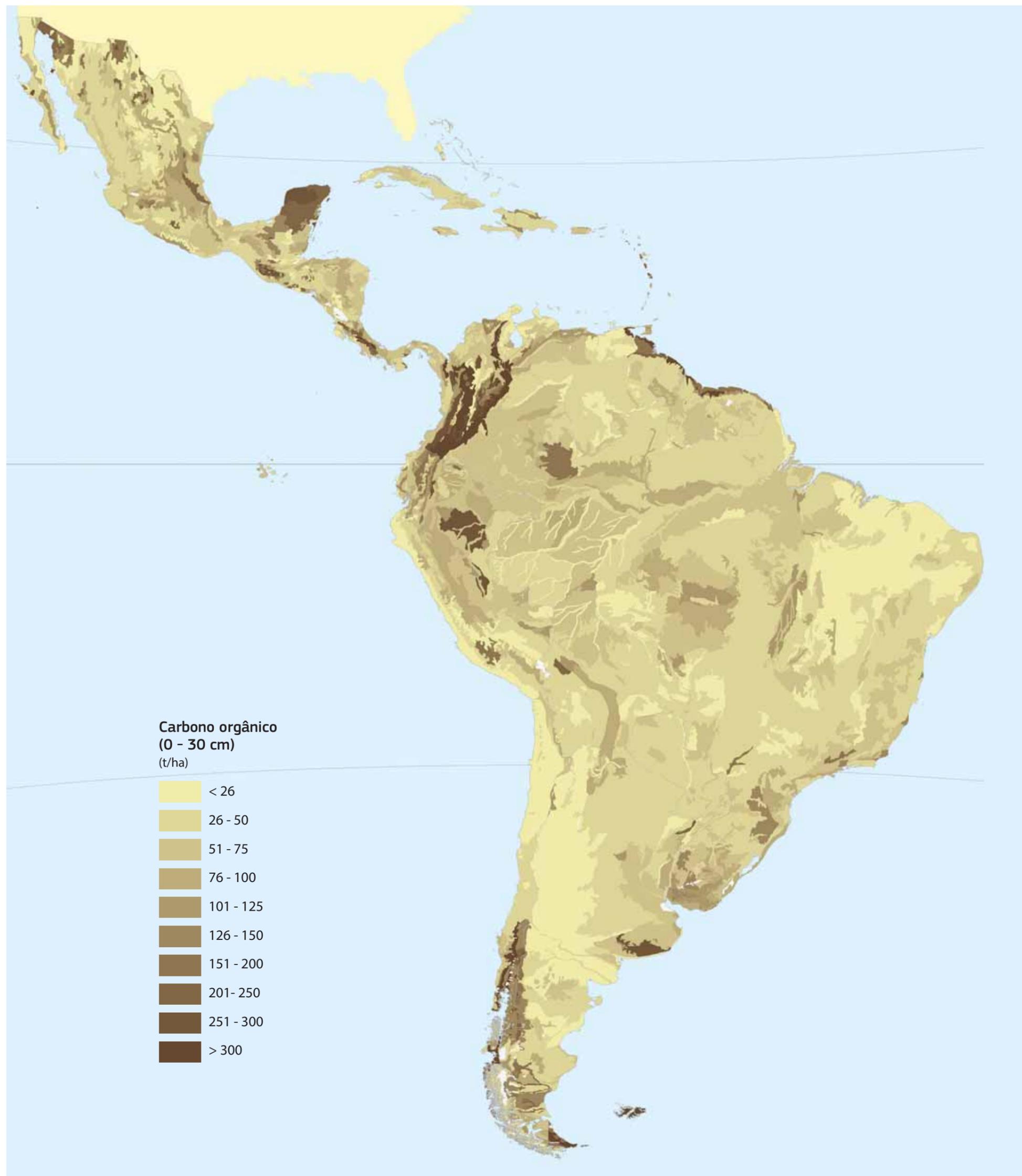


### Brasil, 2000



Emissão de gases de GEE por setor de emissão em quatro países latino-americanos selecionados com diferentes perfis de consumo energético. (CCG) [86a, b, c, d]

## Distribuição do carbono orgânico (CO) nos solos da América Latina e do Caribe



O peso seco do carbono orgânico expressado em toneladas por hectare é o indicador mais ilustrativo da capacidade de acumulação deste elemento no solo. Este valor depende da densidade do solo (em toneladas por metro cúbico), do teor de carbono orgânico medido (em percentagem do peso), da proporção de terra fina presente (partículas de 2 mm ou menos, em percentagem do peso) e da profundidade (em metros). Este último valor é o que tem maior efeito na variabilidade do indicador.

No primeiro metro de profundidade dos solos da ALC, se armazenam aproximadamente 185 Gt de carbono orgânico. Esta quantidade equivale a quase o dobro das reservas de carbono acumuladas na vegetação da Amazônia.

Os solos mais ricos em carbono orgânico da América Latina (CO superior a 250 ton/ha) estão localizados na região sedimentar do Carso Huasteco e na península de Yucatán no México, no delta do Orinoco na Venezuela, nas florestas da Guatemala e da Costa Rica, na região de Cauca e Magdalena na Colômbia, em Iquitos, Napo e no Rio Negro, na Amazônia oriental, nas savanas uruguaias e nos pampas úmidos, nas florestas de Valdivia, no Chile e nas estepes da Patagônia, na Argentina.

Em relação às regiões mais áridas (no México, Chile, Peru, Brasil e Argentina), é indispensável preservar o escasso carbono que ainda existe (CO abaixo de 25 ton/ha), devido à grande fragilidade dos ecossistemas aí encontrados. (ISRIC /JRC [47])

## Degradação do solo e mudanças climáticas na ALC

Os principais agentes de perturbação do ciclo natural do carbono são o desmatamento e as práticas agropecuárias associadas às mudanças no uso do solo. Na América Latina, cada ano, mais de quatro milhões de hectares de florestas são transformadas em novas áreas agrícolas de subsistência, novas pastagens ou áreas urbanas.



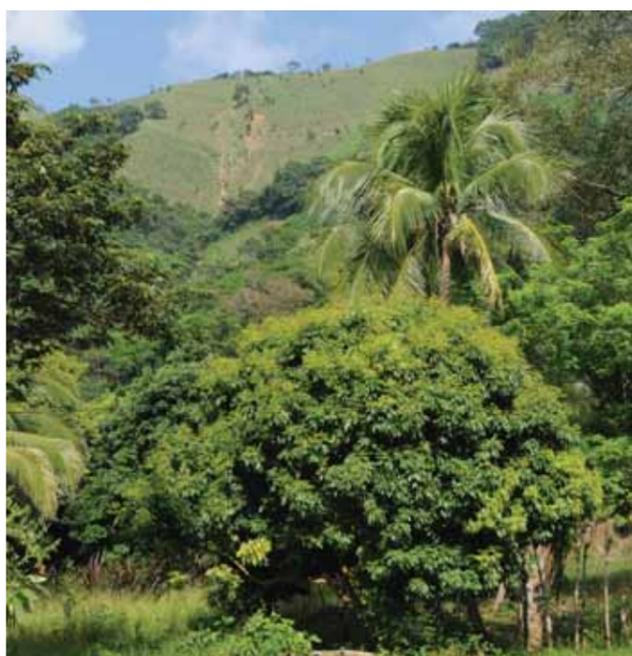
Exemplo de mudança no uso do solo, neste caso, de floresta para urbano, no Vale do México de 1940 (acima/IDP) a 2010. (abaixo/JSR)

### Desmatamento

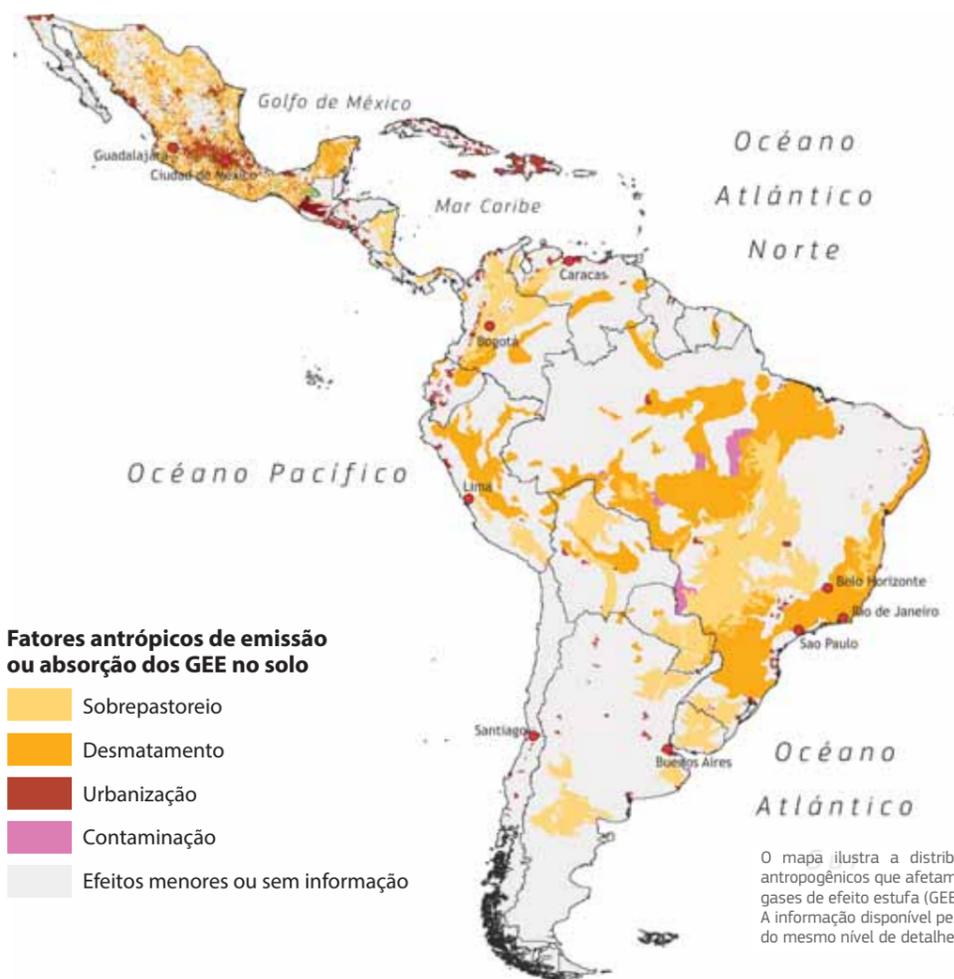
A mudança no uso da terra de floresta para outros fins, é responsável na América Latina, por 46% do carbono emitido para a atmosfera. Estas emissões originam-se a partir da combustão por incêndio, da decomposição da biomassa vegetal e da remoção da manta ou serapilheira das florestas, assim como pelas perdas produzidas durante a mineralização do carbono e pela erosão.

Portanto, no caso da ALC, manter o carbono orgânico armazenado no solo, é uma forma efetiva de mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Assim, quando uma floresta é derrubada, inicia-se de imediato, um processo de oxidação e degradação da matéria orgânica, seguido de uma deterioração da microestrutura do solo, aumentando assim o fator de dispersão e a densidade do solo. O desmatamento diminui a capacidade do solo para infiltrar a água que escorre na superfície durante as chuvas mais intensas, o que conduz a uma erosão mais intensa, por causa do desprendimento e transporte das partículas do solo. Isso contribui para o assoreamento de muitos corpos d'água e rios, reduzindo sua capacidade natural e podendo levar a problemas de inundações ou deslizamentos da terra.

O Brasil perde mais de 2,5 milhões de hectares de floresta por ano, mais do que qualquer outro país no mundo. A mudança no uso do solo na Amazônia gera 52% das emissões de GEE para o Brasil. Segue em magnitude de danos, o México, com cerca de um milhão de hectares de florestas perdidas por ano, e após, o Peru, com 400.000. Nos casos notáveis da Mata Atlântica da Argentina e do Brasil, 70% da floresta original já foi removida.



A erosão do solo morro abaixo, após o uso de "corte e queima". Região Huasteca, México. (CG)



### Práticas agropecuárias

A aplicação intensiva de fertilizantes, a irrigação mal planejada e o preparo excessivo do solo, provocam a compactação dos primeiros 30 cm do solo, onde os agregados acabam sendo destruídos, desaparece a maior parte dos macroporos e o fator de dispersão aumenta. Além disso, se estes solos forem destinados para a monocultura, as reservas de carbono orgânico irão diminuir em poucos anos, até chegarem a menos da metade do seu conteúdo original.

Nem tudo é preocupante, já que também existem boas práticas agrícolas que ajudam a conter as emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera. Por exemplo, no Brasil, o arroz geralmente se produz em grandes extensões de áreas não inundadas e a cana-de-açúcar é cortada mecanicamente sem recorrer à queima tradicional, num terço da superfície que já foi colhida. Na Colômbia e Cuba incentiva-se a produção e o uso de fertilizantes orgânicos.

Por outro lado, os solos que são convertidos em novas pastagens são rapidamente compactados quando as taxas de lotação são elevadas e o pisoteio constante, como sucede no caso do Brasil, onde apenas nos biomas Cerrado e Amazônia se concentram mais de 240 milhões de cabeças de gado.

### Conservação ambiental

Os programas oficiais e iniciativas empresariais ou civis de restauração ambiental, são orientados em sua maioria, para proteger ou ampliar as áreas de florestas e, em menor proporção, para proteger o solo. Em todo caso, a América Latina apresenta ainda, um grande desequilíbrio entre as ações positivas e negativas em relação ao manejo do recurso solo. De acordo com fontes oficiais, para cada 8 hectares desmatados, apenas um é reflorestado. Os valores mais extremos são encontrados no Brasil e no México: para cada 40 hectares desmatados apenas 1 ha reflorestado. Nos países menores, ao contrário, mas com melhores políticas de conservação, como é o caso de Cuba, Guatemala ou Costa Rica, esta proporção é de até 3 hectares desmatados por cada hectare reflorestado.

Geralmente os estados ou municípios menos participativos são também aqueles com menos recursos disponíveis. No Peru, por exemplo, os municípios de Huancavelica e Ayacucho, com os maiores índices de pobreza humana, são os menos comprometidos e, paradoxalmente, neles as possibilidades de captura e sequestro de carbono são mais elevadas do que em outros municípios. O mesmo ocorre no México, onde estados como Guerrero e Oaxaca, com maior biodiversidade e maiores taxas de erosão, apresentam um menor número de projetos de conservação e políticas orientadas para resolver estes problemas.

Existem no entanto, exceções como na Bolívia, onde se encontra o maior projeto de restauração integral do mundo, conhecido como PAC-Noel Kempff, o qual abrange 634.000 hectares no altiplano andino. Além disso, neste país, se protege o solo, compensando o desmatamento mediante o cultivo de plantações perenes de cacau silvestre e castanhas. No Peru existem registros de reflorestamento em mais de 50.000 ha, destacando a Cajamarca. O México por sua vez, orienta os esforços não só para reflorestar, mas também para restaurar os solos mais erodidos mediante obras como barragens, gabiões, terraços e pagamentos diretos por serviços ambientais.

Por outro lado, a geração de resíduos causa por si só, um impacto negativo ao meio ambiente, no entanto, existem esforços importantes para melhorar dos sistemas de tratamento de resíduos sólidos depositados sobre o solo. Por exemplo, as dez cidades mais densamente populadas da ALC, geram em conjunto, cerca de 50 milhões de toneladas de lixo por dia, das quais uma parte é altamente contaminante e geralmente se deposita em contato direto com o solo.

Se os solos que recebem esses materiais dispõem de uma alta capacidade de troca (argilas expansíveis do tipo montmorilonita ou vermiculita), a retenção destes resíduos será maior, caso contrário, os resíduos tóxicos serão depositados nos aquíferos profundos ou escoarão lateralmente até as correntes de água mais superficiais. O pantanal de Mato Grosso, no centro-oeste do Brasil, é um recipiente natural dos sedimentos domésticos e industriais do crescimento acelerado de sua população e, como se comentou anteriormente, é a principal emissor de metano na ALC.

As atividades de mineração podem também causar impactos no solo e nos fluxos de carbono. Torna-se cada vez mais importante o investimento nas investigações para caracterizar os impactos ambientais das grandes explorações de mineração, bem como as novas tecnologias para a extração de metais que sejam respeitadas do meio ambiente (como poderia ser o uso das bactérias oxidantes para extrair certos minerais).

## Métodos para a mensuração e estimativa do carbono orgânico do solo

O teor de carbono orgânico (CO) no solo tem sido tradicionalmente considerado como um indicador da fertilidade do solo. Desde 1934 um dos métodos mais utilizados para determinar o teor de carbono orgânico (CO) foi o de Walkey and Black.

Para entender melhor os procedimentos de medição do carbono, devemos ter em conta que o carbono total (CT) é a soma do carbono inorgânico (IC) mais o carbono orgânico (CO) (ou seja,  $CT = CI + CO$ ). O carbono inorgânico pode estar livremente nos carbonatos do solo ou constituindo os minerais das rochas calcárias, dolomíticas ou xistos, bem como no dióxido de carbono dissolvido nos gases que as rochas emitem ao serem aquecidas ou então em forma de carvão vegetal, produto de incêndios. Por outro lado, o carbono orgânico é o produto da decomposição das plantas, os metabólitos dos organismos vivos e do crescimento bacteriano. Também é encontrado em compostos sintéticos, como os fertilizantes (amidas e ureia). Para analisar o carbono orgânico do solo (COS ou SOC do inglês: Soil Organic Carbon), existem muitos procedimentos. Na figura da direita descrevem-se os principais métodos utilizados para a avaliação e a medição do carbono orgânico do solo.

Tipologia de métodos	Métodos	Processo	Descrição
Qualitativos	NMR	Espectroscopia de ressonância nuclear magnética	Compostos de carbono são caracterizados com base na energia absorvida e reemitidos pelos núcleos atômicos colocados num campo magnético estático
	DRIFT	Espectroscopia por reflectância difusa no Infravermelho médio com Transformada de Fourier	Compostos de carbono são identificados com base na absorção no infravermelho médio
Semiquantitativos	Oxidação úmida	Peroxido de hidrogênio	Destruição da matéria orgânica por oxidação úmida, seguido da determinação gravimétrica da perda de peso da amostra
	Combustão	Perda por ignição	Destruição da matéria orgânica por combustão, seguido da determinação gravimétrica da perda de peso da amostra
Quantitativos	Oxidação úmida	Oxidação com dicromato de potássio (Walkey-Black, Springer and Klee)	Oxidação por via úmida, seguido pela coleta e medição do $CO_2$ desprendido
	Combustão	Combustão (COT)	A combustão no forno de alta temperatura (com ou sem catalisador), seguido da coleta e medição do $CO_2$ desprendido

### Sombra e conteúdo de carbono

A frequência, a largura e a densidade do dossel nas árvores, o diâmetro das copas dos arbustos e a densidade de cobertura das herbáceas estão diretamente relacionados com a umidade e temperatura do solo e determinam em grande parte, a quantidade da liteira e a velocidade de humificação desta.

Quando uma árvore é derrubada, a intensa radiação solar elimina os organismos vivos do solo que habitavam sob seu dossel, iniciando-se um processo de degradação biológica que pode tomar duas direções: uma recuperação lenta do estrato herbáceo ou, no pior e mais comum dos casos, uma degradação biológica profunda e o subsequente estado de erosão irreversível.



A quantidade de liteira acumulada em condições de sombra é muito maior do que sob condições de sol, mesmo a poucos metros de distância. Peso extrapolado de 0,5 ton/ha (acima) e 0,0 tons/ha (abaixo).

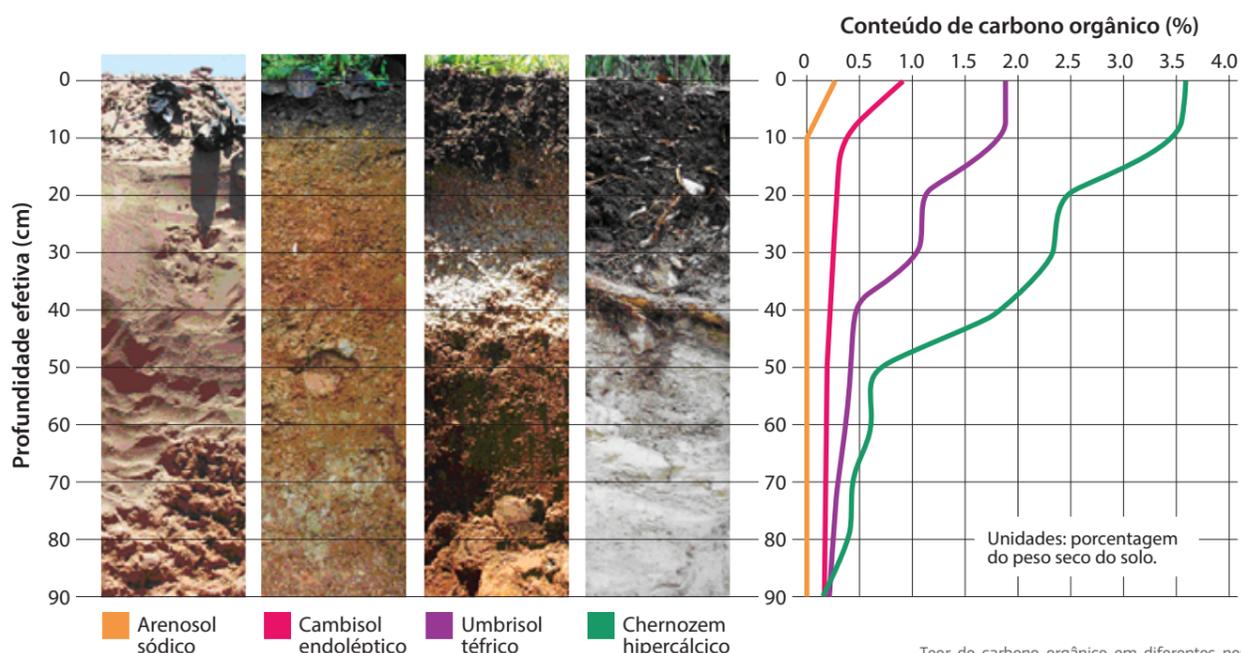
Ambas as ilustrações correspondem ao Inventário Estadual de Florestas e Solos do estado Aguascalientes, México. (CCG)

### O uso da espectroscopia para a predição do carbono orgânico do solo

Nos últimos anos, a maior parte do trabalho realizado tem sido para avaliar o uso de espectrômetros portáteis ou via aérea para quantificar com mais precisão, a quantidade de carbono orgânico presente no solo. Estes instrumentos sofisticados medem os níveis de luz refletida sobre uma porção específica do espectro eletromagnético para gerar uma espécie de "pegada eletromagnética". A variação é o sinal medido e se determina pelas características químicas e físicas da substância ou objeto da investigação.

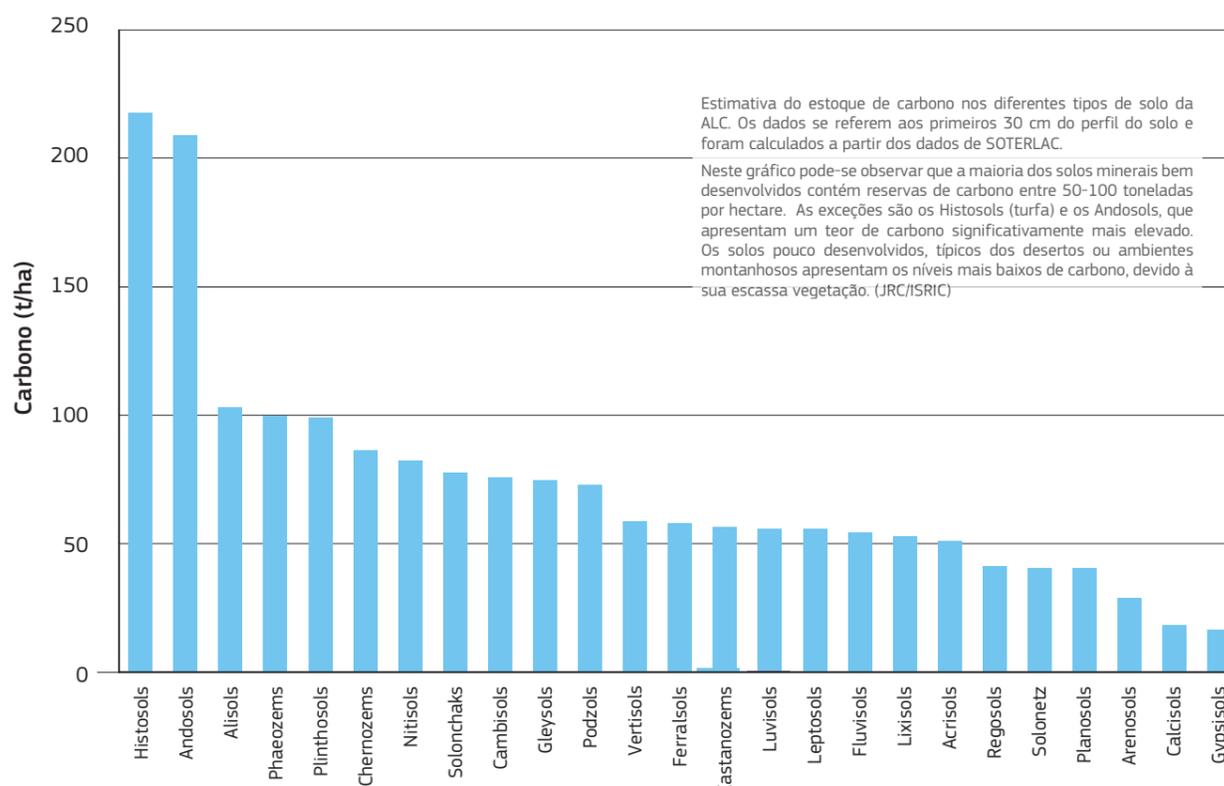
Os estudos de laboratório têm demonstrado que estes instrumentos podem detectar variações sutis no conteúdo de carbono orgânico nas amostras de solo. Atualmente, se realizam esforços para determinar se estes procedimentos podem ser implementados em condições de campo.

Descrição dos métodos para a determinação do teor de carbono orgânico do solo. (JRC)



Teor de carbono orgânico em diferentes perfis de solo, de acordo com dados de 2006. As cores das linhas correspondem aos perfis ilustrados à esquerda. (CCG)

### Armazenamento de carbono nos solos de ALC (0-30 cm)



## Como se calcula o teor de carbono do solo?

A quantidade (ou estoque) de carbono orgânico do solo (COS) pode ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$COS = C * DA * T * (1-FG)$$

onde:

- C é o teor de carbono orgânico para um tipo de solo específico (em % de peso seco), determinado por análises de laboratório;
- DA é a densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>), um fator crucial, que descreve o peso de uma amostra de solo inalterado - os solos podem apresentar densidades que variam de 0,1 nas turfas ligeiras a 1,8 nos solos minerais muito densos e compactos. A matéria orgânica é mais leve do que a matéria mineral, assim, o aumento do conteúdo de matéria orgânica num solo, diminui a densidade diminuirá deste;
- T é a espessura da camada do solo expressa em termos de metros de profundidade (por exemplo 30 cm ou 0,3m);
- FG é o conteúdo de fragmentos grosseiros, cascalhos (e/ou gelo) no solo (% peso seco);

Normalmente se expressa o COS em toneladas de carbono (tC), gigatoneladas (Gt = 1 bilhão de toneladas) ou teragramas (Tg = 1 milhão de toneladas), ou petagramas (Pg = 1 bilhão de toneladas).

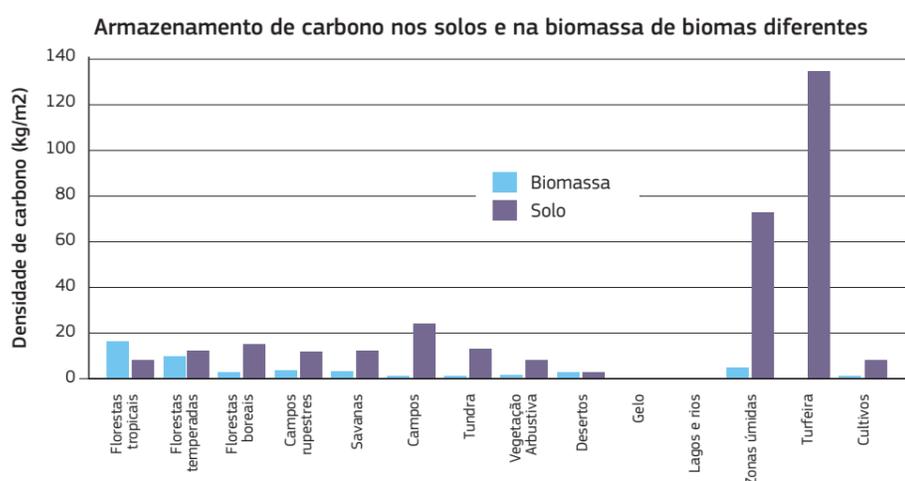


Um grupo de estudantes de Ciências Ambientais coleta amostras de solo para avaliar o teor carbono do solo, numa floresta de faias (*Fagus sp.*). (CG)

## Desafios na mensuração do COS

O nível tecnológico atual faz que seja possível analisar uma amostra do solo com uma grande precisão, em laboratório. No entanto, existem fatores externos que limitam o uso destas análises. Os seguintes aspectos devem ser considerados para evitar erros durante as medições e monitoramento do carbono:

- **Plano de amostragem.** A qualidade da amostragem é o fator com o maior efeito sobre os resultados da medição. A abordagem estática de uma única coleta deve ser evitada, complementada pelos enfoques dinâmicos de reamostragem em diferentes estações do ano (períodos secos e úmidos). É importante levar em conta os eventos fora dos padrões normais (p. ex. nevasca em áreas semi quentes) ou extremos (furacão ou incêndios), uma vez que influenciam nas taxas de transformação do carbono, devido à mudança abrupta da temperatura e da umidade do solo. Outro aspecto a ser destacado, é que as medições se referem normalmente à biomassa aérea, quando a biomassa subterrânea acumula mais de dois terços do carbono terrestre.
- **Calibração de sensores.** Os sensores de satélites indicam os limites espaciais dentro dos quais as condições do relevo, umidade e cobertura vegetal são similares para cada estudo de campo. A sensibilidade dos sensores, no entanto, varia durante a sua vida útil. As imagens obtidas de satélites apresentam erros devido aos deslocamentos, irregularidades da geóide, forte nebulosidade, dispersão irregular do vapor d'água, assim como a interferências devido à cobertura extrema do dossel e a heterogeneidade na altura e na distribuição das espécies vegetais.
- **Propagação de dados e modelagem de fluxos de carbono.** Se todos os dados existentes na América Latina e Caribe estivessem perfeitamente integrados (meio milhão de perfis e um milhão de tradagens), esta superfície seria equivalente a 1/107 da superfície total onde se representaria espacialmente o conteúdo de carbono orgânico. É por esse motivo que se deve selecionar os lugares de amostragem mais representativos, medir com precisão a variabilidade espacial do carbono e utilizar métodos holísticos (levando em conta os ecótonos, por exemplo) para representar os fluxos do carbono.



Acima: estimativa de armazenamento de carbono nos solos e na biomassa de diferentes biomas. (JRC) [91]

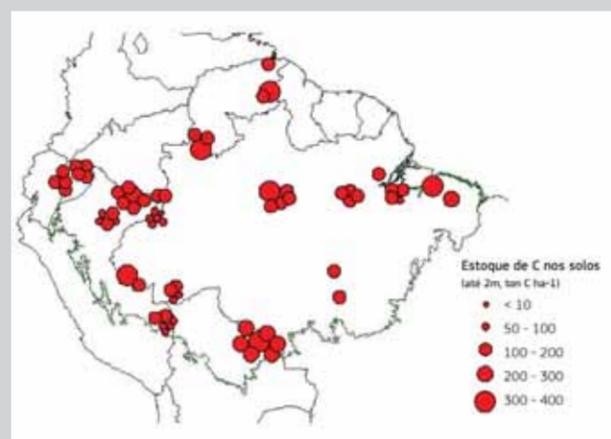
## RAINFOR e carbono na Amazônia

A Rede Amazônica de Inventários Florestais (RAINFOR) é uma rede internacional estabelecida para entender a biomassa e a as dinâmicas das florestas amazônicas. Desde o ano 2000 estabeleceu-se um marco sistemático para o monitoramento a longo prazo numa região que contém mais biodiversidade, água e carbono vegetal do que qualquer outra parte do planeta.

Os solos são um ponto importante do projeto RAINFOR na Amazônia, tanto devido ao seu papel na modulação da estrutura e na dinâmica da floresta, como pela sua enorme capacidade de armazenar carbono de forma estável. Por exemplo, a Amazônia, com cerca de 6 milhões de km<sup>2</sup> de florestas, acumula aproximadamente 85 Pg de carbono na biomassa e 105 Pg de carbono nos dois metros da superfície do solo. Assim, a preservação deste enorme reservatório de carbono depende das alterações no clima e nos usos da terra, sendo que o retorno desse carbono para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>, poderia aumentar o efeito estufa, acelerando o processo de mudança climática, com consequências desastrosas para todo o planeta.

Mesmo se as reservas de carbono na vegetação e nos solos da Amazônia não justificassem sua conservação e manejo adequados, existem evidências de que as florestas e os solos abaixo delas estejam contribuindo de forma eficaz para a redução de gases do efeito estufa. Como resposta às mudanças climáticas e na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a floresta amazônica está acelerando a sua dinâmica natural, hoje com maiores taxas de crescimento e de biomassa, comparadas com as de três décadas atrás. Espera-se que as reservas (estoques) de carbono nos solos da Amazônia aumentem a longo prazo, em proporção com os aumentos da produtividade florestal e as reservas de biomassa aérea.

Atualmente, a RAINFOR recebe o apoio da Iniciativa Andes y Amazonia da Fundação Gordon e Betty Moore e também da Natural Environment Research Council (NERC) do Reino Unido, como parte do consórcio AMAZONICA.



Alguns dados da reserva de carbono orgânico nos solos da Amazônia.

Fonte: Projeto Rainfor/BQ.



O mapa ilustra a densidade de armazenamento do carbono orgânico do solo (em t/ha), para os diferentes países da ALC. (JRC) [92]

## Impactos das mudanças climáticas

Os vários relatórios nacionais sintetizam os principais efeitos das mudanças climáticas na ALC, em forma de chuvas mais intensas, secas mais prolongadas, diminuição do volume do gelo polar e da extensão da neve sobre a superfície terrestre, variação histórica de temperaturas diurna-noturna e nas modificações da regeneração natural vegetal ou modificações dos padrões de migração, nascimentos e fragilidades da saúde de várias espécies, incluindo o ser humano. As mudanças climáticas irão afetar diretamente o solo pelas alterações no padrão das chuvas e um aumento na evapotranspiração que irá gerar um clima mais extremo e condições mais propícias para expandir a degradação do solo e a desertificação.

A degradação é entendida como a perda da produtividade biológica ou econômica da terra pelo efeito de uma combinação de agentes de mudanças (desmatamento, práticas agropecuárias, baixa eficiência no tratamento de resíduos) que afetam em grande medida as propriedades físicas ou bioquímicas do solo (principalmente profundidade, carbono orgânico, pH, salinidade e fertilidade). Pode-se observar diversas formas onde as mudanças climáticas provocam a degradação do solo: redução das geleiras, erosão e compactação do solo, deslizamentos de terra, inundações e mineralização da matéria orgânica.

### Redução dos glaciares e do gelo continental

Nos últimos cem anos, a área das geleiras tem diminuindo de extensão em cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup> em escala mundial. Desde o ano 2011, as geleiras se tornaram um dos ícones dos efeitos das mudanças climáticas. Quando a superfície de uma geleira retrocede, ficam expostas as camadas mais ativas do solo, onde se encontra a maior parte da atividade biológica. Algumas dessas camadas podem conter até 50 t/ha de carbono orgânico, correndo mais risco de serem liberados para a atmosfera e de acelerar ainda mais o aquecimento global. O Chile é o país com a maior concentração de geleiras (glaciares) e gelo continental do hemisfério sul. Das 1.835 geleiras existentes, 75% encontram-se no Chile, na região de Aisen e Magallanes. Existem evidências de que de cada 100 geleiras existentes, pelo menos 5 estão crescendo ou se encontram em equilíbrio. Outros países latino-americanos com redução importante das geleiras ou glaciares, são a Bolívia (glaciares Chacaltaya, Charkini, Tuni e Codorni), Argentina (na Patagônia e Cuyo), Peru e Equador.

### Erosão e deslizamentos de terra

Refere-se à perda de solo pelo efeito da água ou do vento e que pode ser acentuada pela intervenção do homem através do desmatamento, práticas agrícolas inadequadas, sobrepastoreio ou a remoção direta do solo para construção. Menos camada superior do solo, para menos alimentos, maior pobreza e mais emissões de carbono para a atmosfera. A erosão mais ativa e severa ocorre geralmente nos limites da fronteira agrícola, quer dizer, naquelas áreas onde se mudou recentemente o uso do solo, e que de maneira geral, encontra-se nas áreas denominadas de tampão, as quais na prática, quando a fragilidade do solo é alta, convertem-se nas áreas com maior grau de erosão.



Impactos fortalecidos pelas mudanças climáticas de fenômenos erosivos ou de degradação do solo. (CCG) [93, 94, 95, 96, 97]

Outras zonas mais propensas à erosão são localizadas nas áreas sujeitas com maior frequência, a granizo e chuvas torrenciais, como os vales interandinos da Bolívia, ou então, as áreas com intenso pisoteio de ovinos ou bovinos, localizadas nas encostas (maior escoamento superficial), como é o caso de Neuquén, Chubut e Rio Negro, na Argentina. Outras regiões com intensa erosão devido às mudanças no uso do solo, encontram-se nas florestas e serras do Peru, onde destaca-se Mollebomba, assim como as zonas de Falcón, Costa, Andes e a Serra de Perijá na Venezuela.

As savanas do Cerrado no Brasil, apresentam talvez, a situação mais preocupante de degradação física e bioquímica, devido a que os solos em sua maior parte, são arenosos e instáveis, com uma delgada camada fértil, que se perde imediatamente frente aos constantes incêndios e pelo pisoteio do gado. O problema é importante, porque somente esta região, contribui com 17% das emissões totais de GEE no Brasil.

Os deslizamentos de terra são também uma forma de erosão massiva que apresentam um elevado risco natural, pela magnitude de seus danos. No México, Guatemala, Peru e Bolívia, mais de mil vidas já foram perdidas nos últimos dez anos por esta causa.

### Inundações e redução da linha da costa

As mudanças climáticas afetarão o volume de descarga, as características dos novos sedimentos nos rios e também o desenvolvimento de uma cobertura vegetal protetora que estabilize a paisagem. O aumento do nível do mar, irá modificar em grande parte, os atuais padrões de drenagem e as sequências típicas dos sedimentos.

Nos últimos cem anos, o nível médio do mar aumentou 15 cm. O aumento estimado para o ano 2050 poderá variar entre 8 e 27 cm, de acordo com os diferentes modelos de predição climática, revelando altas probabilidades de chegar a 85 centímetros no ano 2100.



Áreas com maior risco de intrusão ou de cobrimento total pela água do mar, projetado para o ano 2100. (CCG)

Isto representa não só um importante retrocesso na linha da costa com a consequente perda do território continental, mas também a inundação permanente ou a intrusão severa de água do mar em 0,4% do território da América Latina e cerca de 6% do território cubano, mexicano ou venezuelano.

## Desertificação e seca

A qualidade do solo está ligada à desertificação. Quando o solo recebe maior radiação solar direta, ele mantém temperaturas elevadas e reduz por sua vez a umidade; os processos de mineralização ou erosão do carbono disparam e os sais de carbonatos são substituídos por sais menos solúveis de sódio que, finalmente, irão diminuir a fertilidade do solo.

Alguns solos férteis de agricultura com irrigação como os Vertisols do México, sofrerão um impacto direto nos seus coeficientes de cultivo (Kc), isto é, as plantas irão precisar de quase a mesma quantidade de água, mas em períodos de crescimento muito mais curtos, o qual aumenta os custos de produção e torna os cultivos mais suscetíveis a pragas e doenças.

A AGROASEMEX, a maior agência de seguros agrícolas do México, inclui as previsões da variabilidade climática na hora de definir as suas políticas de seguro agrícola em culturas de sequeiro (principalmente sobre Phaeozems e Vertisols). Seus custos de pagamento de seguro nestes solos quando o clima é anormal, tornam-se altos e por isso, se impulsiona o conhecimento, para aproveitar a informação climática e dos solos.

Na ALC encontram-se quatro dos dez países mais vulneráveis do mundo às mudanças climáticas, porque apresentam quatro das cinco características de vulnerabilidade reconhecidas pela Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre as Mudanças Climáticas (CQNUMC): zonas costeiras baixas; zonas áridas e semiáridas, zonas expostas a inundações, seca e desertificação; e ecossistemas montanhosos frágeis. Além disso, tem-se o crescimento populacional constante, o elevado índice de pobreza e seu território mantém ameaças crescentes por eventos de seca extrema relacionados com o ENOS (Efeito do El Niño, Oscilação Sul). Estes países são, em ordem de fragilidade decrescente: Haiti, Peru, Bolívia e Guatemala.

Outras áreas vulneráveis à desertificação no futuro, são: o norte da Argentina, o vale do Chaco (Bolívia), Fortaleza e Campina Grande, no Brasil e, no México, o altiplano central, a zona mixteca e os solos orgânicos ao norte de Yucatán. Inclusive vastas regiões das florestas da América do Sul serão afetadas pelas reduções importantes da quantidade e/ou frequência das precipitações.



## Medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas

Dois séculos transcorreram desde que Arrhenius demonstrou o aumento da temperatura média da atmosfera de 0,5 para 0,8°C, e o estabelecimento do primeiro sistema de quotas nacionais de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em Quioto (Japão). Embora este acordo tenha sido demorado e não tenha alcançado a categoria de tratado, é um sistema flexível e de reconhecimento amplo, que consiste em transferir as poupanças das emissões de gases de um país para o outro, com um crédito baseado num preço internacional do carbono.

A primeira meta dos países desenvolvidos (inscritos no "Anexo B") foi reduzir as suas emissões de GEE para o período de 2008-2012 em 5% do total, com relação a 1990. Este objetivo não se cumpriu quantitativamente, mas forneceu um estímulo para que cada país aumentasse suas próprias capacidades de mitigação. No entanto, a resposta política internacional às mudanças climáticas teve início em 1992, com a adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC). Esta convenção estabeleceu diretrizes para estabilizar a concentração dos GEE na atmosfera, evitando assim que a atividade humana interferisse perigosamente com o sistema climático. Em 2009, todos os países da América Latina ratificaram o acordo, exceto Porto Rico, por ser território dos EUA (este não ratificou a convenção).

Qual será o custo das políticas climáticas na América Latina destinadas a controlar as emissões de gases, visando diminuir o efeito estufa? A resposta não depende apenas de assuntos técnicos; na realidade depende mais do estado e da confrontação política entre adversários e partidários dos protocolos e de cúpulas mundiais. Os Estados Unidos per se emitem oito vezes mais GEE do que todos os países da América Latina e do Caribe, de acordo com o World Resources Institute. A sua não participação nos compromissos de redução, diminuiu em 45% a meta global estabelecida para 2012. Por outro lado, os países na ALC só podem participar dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), participando dos projetos que permitem aos países desenvolvidos alcançar reduções certificadas de emissões. Nesta categoria, o México e o Brasil são responsáveis por 14% dos MDL em âmbito mundial [98, 99].

### O Protocolo de Quioto

O Protocolo de Quioto sobre mudanças climáticas é um acordo internacional da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Climáticas (CQNUMC), que tem por objetivo reduzir as emissões de seis gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e três gases industriais fluorados: os hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). O protocolo estabelece as reduções das emissões de pelo menos 5%, durante o período 2008-2012, em comparação com as emissões do ano 1990.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) estabeleceu-se no ano 1992 na Cúpula da Terra no Rio de Janeiro.

### O IPCC

O Grupo Intergovernamental de Especialistas sobre as Mudanças Climáticas, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas segundo o acrônimo em inglês IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) é uma organização internacional estabelecida em 1988, conjuntamente pela Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). A sua missão é avaliar cientificamente o risco de mudanças climáticas causadas pelas atividades humanas e fornecer informação científica e técnica compreensível, sobre suas potenciais consequências ambientais e socioeconômicas e as possíveis alternativas para a adaptar-se a essas consequências ou para mitigar seus efeitos.

O IPCC já publicou o seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5), em 2014. No relatório o grupo destaca a dura advertência sobre o futuro do planeta se os gases de efeito estufa continuarem a ser emitidos para a atmosfera. Mas também é uma capitulação à realidade que compreende quatro seções, duas das quais são dedicadas à adaptação e mitigação aos efeitos do clima. O relatório do Grupo de Trabalho I (Fundamentos da Ciência Física) foi publicado em setembro de 2013. No relatório aumenta-se o grau de certeza de que as atividades humanas estão impulsionando o aquecimento global que o mundo está experimentando, de "muito provável" ou confiança de 90% em 2007, a "extremamente provável" ou confiança de 95%.

<http://www.ipcc.ch/>



Projetos de redução das emissões de gases a efeito estufa (GEE) realizados no marco do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL é um dos três mecanismos estabelecidos no Protocolo de Quioto para reduzir as emissões dos GEE. (UNFCCC)

### O que se pode fazer?

O conjunto de soluções discutidas durante os últimos nove fóruns globais, exigem uma visão multilateral, conjunta e a longo prazo. As ações que se destacam atualmente pela sua importância em reduzir as emissões de GEE, são:

- Eficiência energética. Igual bem-estar, com menos consumo de energia. No setor florestal, 65% do potencial de mitigação da ALC está em seus trópicos e do total de emissões, a metade pode ser reduzida pela diminuição do desmatamento e degradação dos solos florestais.
- Substituição de fontes de energia, especialmente carvão e petróleo pelo gás e as derivadas da energia nuclear, eólica, solar e hidráulica. O consumo de carvão, petróleo e gás na ALC foi duplicado desde o final dos anos 70 e a produção de eletricidade em suas diversas formas, foi triplicada. Apesar disso, cerca de 100 milhões de pessoas vivem nesta região sem eletricidade. Cada cidadão contribui, com uma emissão média global, com 6,25 Mg/ano de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Se considerarmos que cada Mg de CO<sub>2</sub> contém 27% de carbono, pode-se dizer que a taxa de emissão de carbono é de 1,7 MgC/ano por habitante. O extremo superior são os Estados Unidos, com 6MgC/habitante por ano. Os países latino-americanos, com as maiores taxas de emissão de carbono são o Brasil e a Venezuela, com 3,1 e 1,9 MgC /habitante por ano, respectivamente.

A lógica econômica tem influenciado em quase todas as políticas nacionais, mediante duas ferramentas:

- Geração de inventários de oportunidades de redução no campo da administração pública, da empresa e do núcleo familiar. Este último significa que o cidadão tem em suas mãos, ações individuais de enorme alcance, tais como empregar lâmpadas poupadoras de energia, usar menos o carro e revisar periodicamente os pneus, reciclar, usar menos água quente e plantar pelo menos uma árvore. Se cada cidadão cumprisse pelo menos duas das ações citadas anteriormente, o consumo per capita seria reduzido em até duas toneladas de carbono por ano. Para o México, isso representaria por exemplo, uma redução das emissões líquidas de aproximadamente 40% do seu compromisso oficial. Cuba, por exemplo, conta com um programa nacional para enfrentar as mudanças Climáticas, que inclui o solo e a atividade agropecuária, que é avaliado periodicamente.
- Execução de investimentos com maior rentabilidade com relação ao custo mais baixo para cada tonelada de carbono não emitido. Esta seção é extremamente difícil de homologar, uma vez que cada país apresenta diferentes graus de resistência cultural frente às mudanças climáticas, tal como ações fiscais e aspectos culturais muito diferentes entre si. Para atingir a estabilização nas concentrações de 445 a 535 ppm de CO<sub>2</sub>, o custo seria menos do 3% do PIB global, uma quantidade muito menor do que o custo de não realizar nenhuma ação (15% do PIB mundial).

Um dos investimentos mais importantes dos países da América Latina é o estabelecimento de Áreas Naturais Protegidas (ANP). Os países com a maior proporção de superfície sob proteção são: Belize (44%), Panamá (32%), Guatemala (29%) e Costa Rica (26%). No entanto, a maioria das ANP da América Latina, com exceção das de Costa Rica, Cuba e Bolívia, carecem inventários detalhados ou o número de espécies incluídas nas ANP é relativamente baixo. Em geral, as florestas secas e as savanas não têm proteção suficiente por parte das autoridades ambientais da América Latina.

Um dos dados mais reveladores sobre a conservação real, é o pessoal dedicado a a essas tarefas no campo. Os países com maior número de funcionários são: Cuba, Costa Rica e Argentina (4.837, 950 e 911 pessoas, respectivamente), enquanto que o Paraguai, Uruguai e El Salvador dispõem apenas de 32, 16 e 5 pessoas, respectivamente. respectivamente), mientras que Paraguay, Uruguay y El Salvador sólo disponen de 32, 16 y 5 personas respectivamente.



Atividades de capacitação e atualização de especialistas em Pedologia. É necessário conhecer o funcionamento dos solos para saber como serão alteradas as suas funções em consequência das mudanças climáticas. (CCG)



Entrevista com o produtor para conhecer a história do uso e gestão do território (México), informação essencial para conhecer o uso e manejo do solo. (CCG)

## O efeito das mudanças climáticas nos solos da ALC

No contexto do programa Euroclima foi elaborado, em forma de estudo temático o "Guia metodológica para facilitar a avaliação e redução dos efeitos das mudanças climáticas sobre os processos de degradação dos solos na América Latina" [100]. Segundo este estudo, existem diversos métodos para estimativa da degradação do solo, que focam o problema de diferentes pontos de vista e com informações de várias fontes. Não obstante, a metodologia mais idônea para estudos regionais deste tipo, contempla o uso de informações obtidas por satélites complementadas com estudos locais ou sub-regionais. No caso da América Latina, esta informação é disponível de maneira gratuita e corresponde a dados gerados por instituições internacionais ou em base de dados globais. Alguns dos países mais desenvolvidos, como o Brasil e o México, dispõem de mais informações que outros, no entanto, torna-se evidente a falta de informação disponível em escala adequada.

De acordo com o referido estudo, existem graves problemas de degradação dos solos em todos os países, em maior ou menor grau de extensão, afetando áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, em forma de desertificação (35% do território, ou seja, 6,9 milhões de km<sup>2</sup>). Nas regiões úmidas, o motor principal da degradação do solo é o desmatamento; a perda da floresta afeta 6,5 % do território (1,3 milhões de km<sup>2</sup>). A extensão do solo vulnerável à erosão hídrica representa a metade do território, ou seja, 49% (9,8 milhões de km<sup>2</sup>), enquanto que os solos afetados pela salinidade ou acidez - degradação química - representam pelo menos 56% do território (11,2 milhões de km<sup>2</sup>).

A análise de diferentes cenários revela que as condições climáticas no futuro, projetadas de acordo com um dos cenários que do IPCC (concretamente o conhecido como "A2", ver quadro nesta página "Os cenários do IPCC"), irão variar de mais secas em algumas áreas para mais úmida em outras. Embora a maior parte não vá sofrer mudanças consideráveis, muitas regiões passarão de sua condição atual para uma condição mais seca. A superfície total de mudança para um regime mais árido segundo este modelo, será de 21% (4,1 milhões de km<sup>2</sup>), enquanto que a transição das zonas áridas para uma situação mais úmida será apenas de 2% (298.000 km<sup>2</sup>). A análise das informações disponíveis para conhecer o uso do solo nestas determinadas situações, não mostra mudanças significativas. É provável que a inclusão de informação adicional em escala adequada se faça necessária para obter resultados mais coerentes com a realidade.

As estimativas sobre a vulnerabilidade à degradação dos solos na região indicam que o grau mais alto irá ocorrer em ao menos 1,6 milhões de km<sup>2</sup> (8%), enquanto que os graus "altos" e "médios" se darão em extensões de 6 e 2,6 milhões de km<sup>2</sup>, respectivamente (13% e 30 %). Estas superfícies incrementarão em 26,3% (5,3 milhões de km<sup>2</sup>) ao considerar-se uma mudança climática sob o cenário de emissões A2, com um efeito acentuado nas zonas áridas e semi-áridas.

No que diz respeito à política ambiental, a América Latina é uma região altamente heterogênea, com diversos graus de progresso nesta matéria; na atualidade, as agendas de desenvolvimento nacionais em sua maioria, integram como prioridade as questões ambientais e, em maior ou menor grau, têm implementado planos e programas com ações verificáveis na prática.

A problemática da degradação dos solos tem sido tradicionalmente abordada no marco da Convenção de Combate à Desertificação e a Seca, através do qual tem sido formulado instrumentos institucionais para facilitar a cooperação, a otimização de recursos, a geração de informação e a execução de projetos. Contudo, a integração dos temas de degradação dos solos e mudanças climáticas é muito recente e requer marcos político-institucionais específicos. As áreas com alta vulnerabilidade à degradação dos solos requerem a preparação de respostas e a reabilitação das áreas afetadas pela erosão, a fim de assegurar o bem-estar da população. As estratégias tecnológicas de maior sucesso para o manejo e conservação de solos e águas são as que integram os beneficiários como entidades ativas no diagnóstico, planejamento, implementação e monitoramento das ações, enriquecendo o processo com a participação das partes interessadas e adaptações às condições locais.

No último capítulo do estudo são apresentadas as medidas de redução contra a degradação empreendidas nos países beneficiários de EUROCLIMA e as práticas principais reconhecidas pela sua abrangente e exitosa aplicação, bem como aquelas lições aprendidas durante os processos de implementação.

REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY	
<p>Punto Focal de EUROCLIMA: Sr. Luis Santos Coordinador de la Unidad de Cambio Climático, del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente</p> <p>Organismo Competente para los temas relacionados al Cambio Climático: Unidad de Cambio Climático del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente</p> <p>Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático</p>	
<p><b>Agenda de desarrollo, marco político</b></p>	<p>La política de Estado se orienta a lograr el desarrollo sustentable del país; en la temática ambiental y de aprovechamiento de recursos naturales se apunta al aumento de la producción y obtención de productos inocuos en sistemas productivos sustentables que puedan insertarse en los mercados mundiales de forma competitiva.</p>
<p><b>Medidas institucionales y/o marco jurídico</b></p>	<p>El marco jurídico sobre uso, manejo y conservación de suelos incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley No. 15.239 de Conservación de Suelos y Aguas con fines agropecuarios, que establece entre otras disposiciones las Normas Técnicas a la que están sometidos los tenedores de tierras con uso agropecuarios, conservación y uso sostenible del suelo y agua.</li> <li>• Decreto reglamentario No. 333/04 de la Ley 15.239: Regulación de uso y conservación de suelos y aguas superficiales.</li> <li>• Decreto reglamentario No. 405/008 de la Ley 15.239: Regulación de uso y conservación de suelos y aguas superficiales.</li> <li>• Ley Nº 18.564: Conservación, uso y manejo adecuado de suelos y aguas.</li> <li>• Decreto 126/92: Creación (Integración, cometidos, entre otros) de la Comisión Nacional Honoraria de Conservación de Suelos y Aguas</li> </ul> <p>La Dirección General de Recursos Naturales Renovables (RENARE) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca es la Unidad ejecutora involucrada en la generación e implementación de políticas, planes y acciones destinadas a detener los procesos de degradación de tierras, en especial aquellos con fines agropecuarios. Cuenta con Divisiones especializadas en Suelos y Aguas las cuales tienen como objetivo conservar el recurso suelo evitando la erosión y degradación, manteniendo e incrementando su productividad.</p> <p>El Programa Nacional de Conservación de Suelos y Aguas (PNCSA) con</p>
<p><b>Marco Institucional</b></p>	

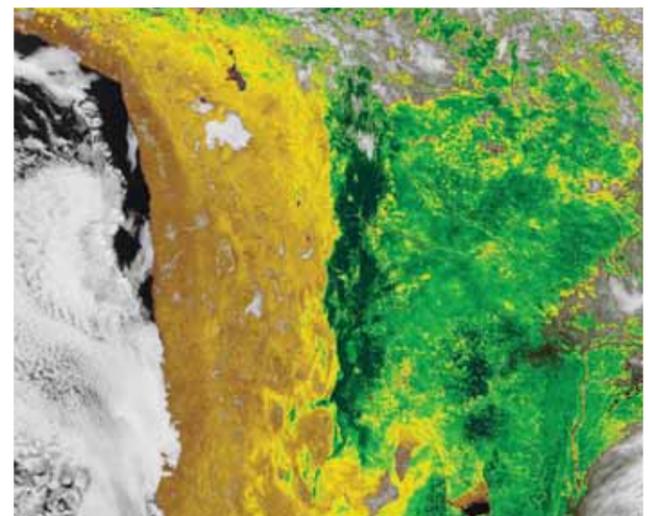
Neste estudo temático apresenta-se uma aproximação, por país, do quadro político-institucional dos países membros de Euroclima. Este inclui uma breve agenda que define os planos e estratégias nacionais para combater a degradação dos solos e sua legislação relacionada em cada caso. Também são apresentados os programas e projetos desenvolvidos por agências governamentais e apoiados em vários casos pela cooperação técnica e financeira de ONGs e outros órgãos internacionais. Ao final de cada folha são resumidas as forças e fraquezas das medidas tomadas no âmbito do combate à degradação do solo. [100]

## Os cenários do IPCC

No ano 2000 o IPCC desenvolveu uma série de cenários de emissões de gases efeito estufa que têm sido implementados para elaborar projeções de possíveis mudanças climáticas no futuro. Tais cenários descrevem diferentes situações socioeconômicas e são representados por meio de uma nomenclatura específica (p.ex. :A2).

Para mais informação consultar a página web:

<https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>



O forte contraste das cores da imagem revela a grande diferença no índice de vegetação entre a zona árida do Chile e o oeste da Bolívia; em marrom - amarelado (índice de vegetação baixo) e em verde (alto índice de vegetação), a terra mais fértil na Argentina. Os dados de satélite podem ser usados para controlar as variações na vegetação, como resultado das alterações das condições de solo e clima. (C)



Rebanho de alpacas a 2.400 m de altitude, próximo de San Pedro de Atacama (norte do Chile). Os possíveis efeitos das mudanças climáticas (p. ex., alterações na distribuição e intensidade das precipitações) poderão ser apreciados com mais facilidade nos ambientes marginais. (LG)

## As mudanças climáticas e os incas

De acordo com as análises recentes de sedimentos de um lago no Peru, durante o império inca, entre 1400 e 1532, existiu um período mais quente do que o normal. As temperaturas mais altas em torno do ano 1.150 permitiram aos agricultores incas cultivar em altitudes que antes eram demasiado frias para suportar a agricultura. O aumento da temperatura provocou o degelo de algumas geleiras, aumentando assim a quantidade de água disponível para a irrigação. Esta combinação de fatores permitiu que os incas desenvolvessem o seu sistema sofisticado de agricultura baseado na construção de terraços (andenes). Nos sedimentos desse lago, foram encontradas em torno do ano 1.150, sementes de *Alnus acuminata*, que desaparecem ao redor de 1600; é provável que os incas repovoassem as encostas usando essas árvores com quebra-ventos, para limitar a erosão e fertilizar o solo mediante a fixação do nitrogênio atmosférico.

<http://www.newscientist.com/article/dn17516-hotter-weather-fed-growth-of-incan-empire.html>



Capa do estudo temático

## Biomassas, ecorregiões e solos

No início do desenvolvimento da Pedologia, acreditava-se que o clima, a vegetação e os solos estavam estreitamente relacionados e variassem segundo um gradiente de norte a sul. Posteriormente, com o desenvolvimento das ciências geográficas, chegou-se à conclusão que o clima e os ecossistemas estão distribuídos ao longo da superfície da terra de uma maneira mais complexa, dependendo também da configuração dos continentes, da orografia e da história geológica da paisagem. Hoje em dia também se sabe que não existe uma relação direta entre

a vegetação e os solos em escala local. No entanto, em escala de bioma (porção do planeta que compartilha o mesmo clima, flora e fauna), observa-se uma correspondência com a cobertura pedológica. O mapa abaixo, proposto pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF - *World Wildlife Fund*) [101] ilustra em grandes linhas, os principais tipos de paisagem da América Latina. A respeito da relação das grandes paisagens com o solo, vale destacar que os limites dos biomas quase sempre coincidem com os limites principais entre as pedopaisagens.

Uma área geográfica relativamente grande que se distingue pelo caráter único de sua morfologia, geologia, clima, solos, hidrologia, flora e fauna, é denominado de ecorregião. Cada uma apresenta solos únicos e isto se deve à combinação irrepitível dos fatores de formação e da história complexa de cada paisagem. A seguir são apresentados exemplos de paisagens latinoamericanas correspondentes a cada ecorregião, assim como a relação dos solos mais típicos dessas regiões ecológicas.



## 1. Florestas tropicais e subtropicais úmidas



**Esquerda:** Vista da floresta tropical na bacia superior do rio Amazonas. (5) **Direita:** distribuição do bioma floresta tropical e subtropical úmida latifoliada na ALC. (Fonte: JRC/WWF)

Iniciando-se desde a costa oriental do México e América Central, surge uma paisagem que estende-se pelas ilhas do Caribe, continua pela costa Pacífica colombiana, pela costa do Atlântico da Guiana e concentra-se na Mata Atlântica da costa brasileira. Esta paisagem se caracteriza por desenvolver-se num ambiente quente e úmido, com grande biodiversidade e uma vegetação exuberante de folhas largas, distribuída em diferentes estratos ou níveis. É conhecida como selva ou floresta tropical pluvial ou floresta úmida [102].

Estas florestas úmidas encontram-se dentro da zona climática úmida tropical (precipitações anuais de mais de 1.500 mm e temperatura média anual superior a 18°C). Geralmente encontram-se associadas a solos muito intemperizados e profundos. Segundo a classificação WRB trata-se principalmente de Ferralsols, Acrisols, Nitisols e Plinthosols. A distribuição de cada grupo de solos depende de fatores como a geologia e o relevo; por exemplo, os Nitisols estão geralmente associados com a rocha basáltica, enquanto que os Plinthosols são formados nos terraços marinhos e aluviais ou no sopé das montanhas. Vale mencionar que apesar da exuberância de sua cobertura vegetal, este tipo de floresta pode ser formado sobre solos rasos e pouco desenvolvidos, por exemplo, nas áreas montanhosas e/ou com rocha calcária.

A origem das florestas tropicais úmidas, assim como o porquê do grande número de espécies nela encontradas, é ainda um objeto de debate. A hipótese mais aceita, é que as ditas florestas, semelhantes às atuais, iniciaram sua formação há 65 milhões de anos, durante a transição entre os períodos Cretáceo e Cenozóico.

Antes do impacto do meteorito que levou provavelmente à extinção dos dinossauros, a estrutura e composição dessas formações frondosas quente e úmidas eram muito diferentes das de hoje, segundo a informação que se infere de análises polínicas (de pólen). Hoje em dia, estas florestas são dominadas por angiospermas (plantas com flores), as quais surgiram durante o Cretáceo. No entanto, naquele período, as espécies dominantes eram as gimnospermas e samambaias, com baixo potencial de fotossíntese e não existiam estratos diferenciados nas florestas. Foi após a queda do meteorito quando as comunidades das plantas sofreram uma transformação. Durante o período Cenozóico, as angiospermas e os mamíferos começaram a dominar o cenário. Paulatinamente foi se produzindo a transição de um planeta mais quente para um planeta frio. Acredita-se que a diversidade da floresta tenha sido afetada durante os últimos 60 milhões de anos, aumentando os períodos de aquecimento e diminuindo os períodos de resfriamento.

Também não está esclarecido o papel desempenhado pelos múltiplos estratos das florestas de angiospermas e sua relação com a dinâmica de nutrientes e carbono dos ecossistemas tropicais. O conhecimento dos processos de alteração da diversidade e estrutura das comunidades vegetais terrestres ao longo do tempo geológico e sua relação com as mudanças climáticas, é importante para entender a mudança climática moderna. O registro fóssil sugere que as plantas mais modernas possuem uma ampla variabilidade genética para responder às mudanças de temperatura e CO<sub>2</sub> no ambiente.

### Amazônia: um mosaico de solos na maior floresta tropical do mundo

A bacia do rio Amazonas abrange uma área de cerca de 7 milhões de km<sup>2</sup>, cobrindo parte do Brasil, Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela e Equador. O rio Amazonas tem o nome Marañón na sua cabeceira e Solimões na parte brasileira, até seu encontro com um de seus afluentes mais importantes, o Rio Negro. A partir deste ponto denomina-se rio Amazonas até chegar ao mar no golfo Marajoara, depois de percorrer mais de 6.000 km, recebendo a contribuição de mais de 200 afluentes. No oceano deságua num fluxo que pode atingir 20% da descarga total anual de água doce nos oceanos.

Geologicamente, a bacia do rio Amazonas está limitada ao norte pelo Escudo das Guianas e ao sul pelo Brasileiro. A maioria das rochas são ígneas (volcânicas) da era Pré-cambriana, cobertas por depósitos sedimentares mais recentes. A erosão nas áreas desses escudos levou à formação de depósitos sedimentares mais recentes e extensivos na parte central da bacia

dos períodos Terciário e Quaternário. Devido à sua antiguidade, as rochas destas eras geológicas diferentes foram submetidas a vários processos morfogenéticos e pedogenéticos, dando lugar a uma ampla variedade de solos em diferentes tipos de topografia e com cobertura vegetal diferente.

Os solos variam desde texturas muito argilosas na parte central da bacia, a arenosos na parte baixa. A paisagem é predominantemente composta por planícies, embora nas áreas da fronteira entre o Brasil e a Venezuela e nas cabeceiras dos rios na Cordilheira dos Andes, o relevo varia de ondulado a montanhoso. A fisionomia vegetal de maior expressão são as florestas tropicais úmidas localizadas tanto na terra firme como nas terras sujeitas a inundações periódicas.

Na bacia predominam os solos pobres em nutrientes. No entanto, podem-se encontrar solos férteis, os quais desenvolveram-se a partir de rochas máficas (ricas em ferro e magnésio) na região andina e no escudo Brasileiro. Os solos nos terraços do Pleistoceno e nas planícies de inundação do Holoceno possuem uma fertilização anual, resultante dos ricos sedimentos em suspensão que são aportados pelas águas dos rios. Este ambiente constitui, provavelmente, a maior reserva de solos eutróficos dos trópicos, com um total de mais de 20 milhões de hectares de solo fértil.

Durante muito tempo, ocorre o debate sobre a viabilidade do bioma de Amazonas e a sua capacidade agrícola para sustentar grandes populações, que remontam à era pré-colombiana. Novas descobertas arqueológicas evidenciam a existência de grandes populações que viveram neste ambiente e o modificaram. Estudos apontam que na América do Sul, não só prosperaram as grandes civilizações andinas dos Incas, Paracas e Nazca, mas também as Marajoara Tapajônica, Maracá e Xinguana, ao longo do rio. Estas civilizações perdidas foram identificadas devido às permanências de evidências das suas cidades, geoglifos, terraços agrícolas e canais de drenagem.

A Amazônia representa a ecorregião com maior biodiversidade de plantas e animais do planeta e uma alta vulnerabilidade à exploração dos seus recursos naturais.



**Esquerda:** A imagem de satélite ilustra em detalhes o efeito do desmatamento na floresta Amazônica brasileira. As áreas de cor verde escuro indicam floresta intacta, enquanto que as áreas de cor marrom (solo nu) e verde claro (cultivos, pastagens ou ocasionalmente florestas secundárias), a vegetação original foi eliminada. (NASA) **Direita:** Horizonte típico de solos antrópicos sobre Ferralsols amarelos na Amazônia Central do Brasil (Embrapa).

## 2. Florestas tropicais e subtropicais secas



**Esquerda:** Floresta seca na região Huasteca (CG) **Direita:** Distribuição do bioma floresta tropical seca e subtropical latifoliado na ALC. (WWF/JRC)

As florestas tropicais secas crescem nas áreas onde existem uma ou duas estações secas definidas ao ano, entre 0 e 1.000 m de altitude e com temperaturas médias anuais acima de 24°C. Distinguem-se das florestas úmidas por conter de 40 a 100% de espécies lenhosas decíduais, as quais perdem a sua folhagem de maneira mais ou menos simultânea, durante a estação seca. Este tipo de floresta tem uma ampla distribuição no Neotrópico, estendendo-se desde o México ocidental até a Costa Rica, algumas ilhas do Caribe, o norte da Colômbia e a Venezuela, o sudoeste equatoriano e o noroeste do Peru, assim como no nordeste do Brasil.

A origem das florestas tropicais remonta ao Pleistoceno, embora a sua condição atual de seca tenha se desenvolvido na metade do Holoceno. Durante este período (há 5.000-7.000 anos), o clima dominante era o da Zona de Convergência Intertropical, uma vez que o fenômeno do El Niño era ausente ou muito fraco. Alguns estudos sugerem que a fase climática mais seca do Holoceno resultou da mudança da zona intertropical até a sua posição atual.

As florestas tropicais secas são consideradas as mais vulneráveis diante da persistente ameaça de desmatamento pelas atividades antrópicas. Devido à fertilidade dos seus solos, têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento de populações humanas e objeto de uma intensa transformação. Existem estudos que demonstram que a floresta seca, devido às condições de seca que sofre, possui menores taxas de crescimento do que das florestas tropicais úmidas.

Não obstante, estas florestas secas possuem uma alta capacidade de recuperação pós perturbações, isto é, são muito resilientes. No entanto, se as perturbações persistem e a floresta for altamente degradada, a recuperação até seu estado inicial não é garantida.

As florestas secas sofrem incêndios florestais de grande magnitude, devido ao acúmulo de matéria orgânica seca não decomposta, embora existam evidências de que tais florestas sejam menos suscetíveis a esses eventos, em virtude dos mecanismos de adaptação de suas espécies. Apesar da pouca importância dada a essas florestas, elas representam uma fonte importante de espécies vegetais úteis para o homem. É o caso para várias espécies leguminosas forrageiras, ornamentais e frutíferas originárias desta formação vegetal.

Os solos das florestas secas são diversos, devido aos seus diferentes graus de desenvolvimento. Uma grande parte destas florestas se encontram nas áreas montanhosas, onde a taxa de erosão impede o desenvolvimento de um perfil maduro. Embora possam desenvolver-se sob este tipo de vegetação solos como os Luvisols, Alisols e Phaeozems, os solos mais abundantes das florestas secas são os Cambisols, Leptosols e Regosols, que se formam nas encostas, onde a taxa de erosão é maior do que a de formação do solo. Em certas áreas, como a península de Yucatán (México), os solos são desenvolvidos a partir de rocha calcária (Leptosols e Phaeozems).

### A Área de Conservação de Guanacaste (Costa Rica)

A iniciativa de restauração ecológica mais importante realizada numa floresta tropical seca é a da Área de Conservação de Guanacaste (ACG) na Costa Rica. Uma iniciativa liderada por Daniel H. Janzen, que afirmou que as florestas tropicais secas se encontravam entre os mais ameaçados de todas as florestas tropicais. Assim, desde 1985, iniciou-se uma campanha para a aquisição de terras, para assim obter uma área grande e deixar que a floresta se recuperasse através do processo natural de sucessão ecológica. Dessa forma, se estabeleceu cerca de 70.000 ha de floresta, as quais tinham sido anteriormente convertidas em campos agrícolas e pastos. As principais atividades desenvolvidas para apoiar este processo de restauração, foram a interrupção das queimadas antropogênicas, a proibição da coleta de plantas e caça de animais e a capacitação de pessoas comprometidos com esta causa.

A ACG representa um dos projetos de restauração florestal mais importantes realizados nos trópicos e uma das poucas iniciativas em escala de paisagem. Também foi possível com este projeto, chamar a atenção sobre a importância da conservação das florestas tropicais secas e da viabilidade de sua execução.

### O bioma "escolhido"

Nos trópicos existe uma tendência de habitar os ambientes quentes e secos, em detrimento dos úmidos. América Central, 79% da população se localiza nessas zonas. Embora existam razões políticas, também influenciam os fatores ecológicos. Por exemplo, em comparação com a floresta tropical pluvial, as árvores das florestas secas são menores e, portanto, mais simples de serem removidas para desenvolver a agricultura. Estas florestas são também mais adequadas para produção pecuária e muitas vezes mais férteis. O crescimento da vegetação é mais lento e menos agressivo, e o mesmo sucede com a propagação de doenças que afetam os seres humanos.

Ao serem relacionados com centros populacionais, o recurso das florestas secas tem sido aproveitado durante milhares de anos. Por isso, é possível que não exista uma floresta seca completamente "virgem". Além disso, uma demanda de madeira superior à produção das florestas secas, provoca uma redução significativa deste recurso. Assim, devido à pressão humana, muitas dessas regiões são mantidas como campos e savanas, uma vez que eliminada a floresta, é muito difícil retome sua forma original. Embora existam espécies de plantas adaptadas ao fogo, este torna-se uma ameaça quando é reiteradamente provocado pelo homem.



Pampa guanacasteca, Costa Rica. (TI)

### 3. Florestas tropicais e subtropicais de coníferas



**Izquierda:** Bosque de coníferas (*Abies religiosa*) en el Estado de México, México. (TA) **Derecha:** Distribución del bioma bosque tropical y subtropical de coníferas en LAC. (WWF/JRC)

As florestas de coníferas se encontram zonas elevadas e baixas, de clima subtropical sub-úmido. Estas florestas encontram-se nas serras do México e se estendem desde o sudoeste dos Estados Unidos até a Nicarágua. Também se localizam em algumas das ilhas Antilhas e no sul do Brasil e no sudoeste do continente americano (Chile e Argentina) (estas duas últimas áreas não aparecem no mapa, porque que as florestas do Cone Sul são mistas e não puramente coníferas).

No seu estado natural, as florestas de espécies coníferas caracterizam-se por serem densas e acompanhadas por um sub-bosque de fungos, samambaias, arbustos e árvores pequenas. Nas áreas onde a floresta é mais seca, existe uma vegetação de arbustos espinhosos e plantas suculentas. As florestas de coníferas estão localizadas em ambos os lados do Trópico de Câncer. Ocorrem em altitudes entre 800 e 1.300 m, em áreas onde a temperatura média apresenta grandes variações. A precipitação anual está relacionada com a exposição dos ventos e pode variar entre 600 a 2000 mm.

As florestas de coníferas variam muito em sua composição, dependendo das condições climáticas e geológicas em que se desenvolvem. Os solos sob este tipo de florestas também variam. Os mais frequentes são os Luvisols. Em altitudes mais elevadas estes solos são substituídos pelos Umbrisols, enquanto nas áreas mais baixas, encontram-se principalmente os Luvic Phaeozems. Nas áreas com fortes processos de erosão nas encostas os solos são pouco desenvolvidos; aí podemos encontrar os Regosols e Leptosols. As florestas de coníferas também podem se desenvolver sobre materiais geológicos particulares, como o calcário e a cinza vulcânica. Em algumas montanhas de origem calcária os solos sob florestas de pinheiros (*Pinus spp.*) são pouco profundos (Rendizic Leptosols). Em outras áreas encontram-se solos vermelhos e profundos do tipo terra roxa. Nas áreas com atividade vulcânica recente, os solos mais comuns são os Andosols. Em certos lugares onde as encostas encontram-se cobertas por produtos argilosos antigos, as florestas de coníferas apresentam solos com características típicas dos solos de regiões tropicais úmidas; alguns podem ser classificados como Ferralsols ou Nitisols. Os solos destas florestas são um exemplo de que nem sempre existe uma relação direta entre os solos e a vegetação.

A exploração florestal inadequada, especialmente a clandestina, tal como o desmatamento para a expansão de áreas agrícolas, pecuárias e residenciais, são os principais fatores que prejudicam essas florestas e/ou modificam a sua composição. A pecuária é a atividade com maior influência no uso do fogo: cerca de 80% da superfície ocupada por estas florestas é submetida a incêndios periódicos. A floresta de coníferas constitui um recurso de importância primordial pela demanda madeireira, devido a sua fácil exploração e à rapidez de crescimento de muitas de suas espécies. Outras atividades de importância econômica são a extração de resina ou de sementes comestíveis das espécies de pinheiro.

#### Eossistemas com dependência do fogo

Assim como em outros ecossistemas, o fogo é essencial nas florestas tropicais e subtropicais de coníferas, onde as espécies desenvolveram adaptações para responder positivamente ao fogo e facilitar a sua propagação. Nestas áreas, se o fogo for evitado, ou se o regime for alterado além de sua faixa normal de variabilidade, o ecossistema perde habitats e espécies e se transforma em algo diferente.

Na América Central, podemos encontrar uma ampla variedade de florestas de coníferas dependentes do fogo. O México, com seus ambientes tropicais e temperados, contém a maior diversidade de espécies de pinheiros do mundo (55 espécies e variedades). A maioria das espécies de pinheiro está associada a perturbações, frequentemente definidas por regimes específicos de fogo. Muitos destes tipos de floresta estendem-se na América Central.

Na região do Caribe, as florestas de *Pinus caribaea*, dependentes do fogo, estendem-se desde as Bahamas, até Cuba, Belize, Honduras e Nicarágua. Na República Dominicana, existem florestas e savanas dependentes do fogo, pertencentes à espécie endêmica *Pinus occidentalis*. É provável que atualmente muitos destes ecossistemas dependentes do fogo estejam sendo queimados de maneira excessiva, mas também ocorre uma falta geral de informação sobre a natureza e adequação ecológica dos regimes atuais de fogo em muitos deles.



**Arriba:** Erosión del suelo en Michoacán, México. (PK) **Derecha:** Bosque de coníferas en Durango, México. (CCG)

#### A Geologia das Sierras Madre mexicanas

As *Sierras Madre* mexicanas formam um largo muro entre as grandes regiões da Mesoamérica e Aridoamérica. O seu interior engloba um grande conjunto de serras, encostas, vales e outeiros atravessados por um extenso Eixo Neovulcânico. As altitudes médias das regiões montanhosas variam de 1.000 a 2.500 m, sendo os pontos mais elevados, de 3.700 m na Serra Madre Oriental e 3.300 m na Serra Madre Occidental. No Eixo Neovulcânico concentram-se os vulcões mais alto da Mesoamérica. Pico de Orizaba (5.610 m), Popocatepetl (5.465 m) e Iztaccihuatl (5.286 m). A característica mais importante desta região é a "sombra geográfica" criada pelas serras, a qual impede a entrada das massas de ar úmido provenientes do Oceano Pacífico e do Golfo do México, cheguem até a parte central do México. A aridez originada por essa situação, resulta na formação de ecossistemas altamente especializados.

A estrutura geológica nesse sistema geográfico é bastante diversa. A *Sierra Madre del Sur* contém as rochas metamórficas mais antigas (período Pré-Cambriano), enquanto que a *Sierra Madre Occidental* apresenta rochas ígneas do Cretáceo, mais jovens; e na *Sierra Madre Oriental*, encontram-se as rochas sedimentares do Cretáceo (calcários). O Eixo Neovulcânico é constituído por rochas extrusivas e piroclásticas ejetadas desde o Oligoceno até hoje.

Existem subsistemas montanhosos formados a partir de material de origem intemperizado e transportado por gravidade ao longo das encostas. A profundidade e composição desses depósitos depende em grande parte, do desenvolvimento dos processos de erosão. Nos vales, o material de origem é constituído de sedimentos aluviais e lacustres.

O clima desta área é caracterizado por um regime de umidade tropical baseado em épocas de chuvas alternadas, com períodos secos. No entanto, pelo efeito da elevação e das massas de ar provenientes do norte do continente, o regime de temperatura é temperado com algumas zonas frias e chuvosas no inverno. As encostas das *Sierras Madre* orientadas de frente para o mar possuem maior umidade do que as faces internas, o que faz com que as florestas de coníferas são encontradas nas encostas da parte interna do país. Nas encostas das Sierras Madre assim como nas serras mais baixas localizadas no interior desta região, a umidade aumenta com a altitude e é muito comum a combinação de grandes vales secos de vegetação escassa, com serras cobertas de florestas de pinheiros (*Pinus spp.*), carvalho (*Quercus spp.*), abeto (*Abies religiosa*) ou tascate (*Cupressus spp.*).



## 4. Florestas mistas temperadas



**Esquerda:** Floresta com *Araucaria araucana*, Parque Nacional Nahuelbuta, Chile (SZ) **Direita:** Distribuição do bioma de florestas temperadas latifoliadas e mistas na ALC. (WWF/JRC)

As regiões que incluem essa vegetação são a Floresta Valdivia e a Floresta Subpolar Magalhães (Magallánico), as quais encontram-se no sul do Chile e na fronteira sudoeste da Argentina, respectivamente [103].

Estas florestas são desenvolvidas sob clima temperado ou por abaixo dos picos montanhosos, onde as variações sazonais são suaves. Nessas áreas a pluviosidade é geralmente muito abundante (regime hiper-úmido).

Podem distinguir-se três tipos de floresta, de acordo com a sua composição florística: Região da Floresta de Laurissilva, Região da Floresta Andina-Patagônica e Região da Floresta Sempre-Verde e Turfeiras.

Os grupos de solos dominantes são os Leptosols, Cambisols, Regosols, Luvisols e Phaeozems.

### Região da Floresta Andina-Patagônica

A Floresta Andina-Patagônica estende-se sobre o território da Cordilheira dos Andes, desde os 37° de latitude sul até o extremo meridional do continente (latitude 55° sul), limitada pela estepe patagônica no leste. Uma de suas características ecológicas mais importantes é que recebe geralmente, precipitação em forma de neve. Na região das cordilheiras da Araucanía (37° a 40° de latitude sul), esta floresta caracteriza-se pela predominância de Andosols, sendo uma zona de floresta alto-montana, com invernos frios e nevados. Por outro lado, durante os meses estivais as condições ambientais são mais favoráveis. A vegetação da área é tolerante e cresce em solos pouco desenvolvidos e também é capaz de crescer sobre mantos de lava ou nas fendas das rochas. A espécie arbórea dominante é a araucária (*Araucaria araucana*). Outro lugar de destaque desta região é a Cordilheira Patagônica, onde a floresta estende-se desde os 45° até mais de 52° de latitude sul, ou seja, na parte mais austral da Cordilheira dos Andes. Esta floresta é distribuída ao longo da encosta oriental da cordilheira, sobre vertentes e grandes vales. Os grupos de solos de referência dominantes são os Andosols e Leptosols. Sobre eles desenvolvem-se espécies como a faia (*Nothofagus pumilio*).

### Região da Floresta Sempre-Verde e das Turfeiras

A Floresta Sempre-Verde caracteriza-se pela alta pluviosidade e temperaturas relativamente baixas, sendo estas características em conjunto, uma limitação para o desenvolvimento da vegetação. Esta floresta estende-se sobre as áreas montanhosas nas encostas ocidentais das cordilheiras patagônicas. As formações florestais alternam-se com comunidades de vegetação arbustiva e turfeiras. Esta vegetação desenvolve-se sobre solos dos grupos Nitisol, Cambisol, Leptosol, Andosol e Histosol.

Nesta região existe uma floresta sempre-verde, a qual desenvolve-se a partir dos 47° de latitude sul, ocupando principalmente terrenos montanos em direção ao sul e setores médios dos vales dos grandes rios ao norte. Nas áreas de encostas baixas e nos vales a floresta foi praticamente eliminada pela conversão do uso para a pecuária. A espécie mais destacada é a *coihue de Magallanes* (*Nothofagus betuloides*).

Outras áreas de interesse nessa região são Turfeiras, o *Matorral* (ou campos arbustivos) e a Estepe Pantanosa. Localizam-se a partir dos 47° de latitude sul, ocupando as inúmeras ilhas dos arquipélagos que encontram no extremo sul do país (56° de latitude sul).

Nas turfeiras destacam-se os Histosols e a vegetação é de caráter sub-antártico, com formações de plantas pulvinulares (com forma de almofada), cespitosas (formando grupos) e arbustos baixos.

### Região da Floresta Laurissilva

A Floresta Laurissilva distingue-se pela presença de árvores perenifólias, de folhas grandes, brilhantes e verde escuras, desenvolvidas sob clima chuvoso durante o ano todo. Apresenta uma baixa oscilação térmica, com valores constantes durante as estações. Algumas das suas espécies de árvores são consideradas reliquias, ou seja, organismos remanescentes que em outras épocas foram abundantes em áreas extensas e agora estão distribuídos em pequenas áreas. Trata-se de uma floresta densa e escura, pobre em espécies herbáceas, sua extensão é limitada e fragmentada, condições essas que são interpretadas como uma regressão de caráter biogeográfico. Localizam-se na zona norte e ao sul de Valdivia, entre 38° e 42° de latitude sul, onde os efeitos de das glaciações e do vulcanismo do Quaternário foram menores do que nas áreas adjacentes. Os solos destas florestas são os Nitisols, Alisols, Fluvisols, Cambisols, Andosols e Gleysols. Estão localizadas preferencialmente nas terras baixas e nas vertentes de ambas as cordilheiras.



Floresta de lenga (*Nothofagus pumilio*) de altitude. Estancia Chacabuco, Parque Patagônia, Chile. (R)



Controle de pastoreio com cerca elétrica na Araucanía no sul do Chile, como uma medida para evitar o sobrepastoreio e preservar a cobertura do solo. (PNR)

## 5. Desertos e matagais xéricos



Esquerda: Deserto do Atacama. (CH) Direita: Distribuição dos desertos e vegetação xeromórfica na ALC. (WWF/JIRC)

As áreas mais representativas dos desertos e vegetação xeromórfica da América Latina encontram-se ao norte do México [104], na região do Deserto do Atacama-Sechura (Chile e Peru) e na área da Caatinga no Brasil, assim como no entorno da Cordilheira da Costa venezuelana ou nas Ilhas Galápagos.

Estes ecossistemas caracterizam-se pela vegetação xeromórfica e baixa pluviosidade. A escassez de água pode ser devida, além do regime de precipitações, ao aumento da evapotranspiração ocasionado pelo vento ou à baixa retenção de umidade do solo.

Denomina-se vegetação xeromórfica aquelas plantas adaptadas a ambientes secos, como os arbustos lenhosos, plantas suculentas como os cactos (adaptadas para armazenar água) ou espécies anuais que completam seu ciclo de vida em períodos de tempo curtos ou então, numa determinada época do ano, por exemplo quando chove.

Os grupos de solos dominantes nos desertos são os Calcisols, Gypsisols, Arenosols, Regosols, Leptosols, Cambisols, Durisols, Solonchaks, enquanto que nas áreas de vegetação xeromórfica, ocorrem os Lixisols, Luvisols, Cambisols, Durisols, Vertisols, Kastanozems.



A caatinga ou sertão é o principal bioma da região nordeste do Brasil. (JCAF)



Vegetação do deserto de Chihuahua, México. (Le)

### Os desertos da ALC

#### Os desertos mexicanos

Na vegetação dos desertos mexicanos, situados ao norte do Equador e considerados tropicais, predominam as espécies suculentas, as quais tem sua origem na flora neotropical mesoamericana. A continentalidade (afastamento da costa) é um dos fatores que mais influencia as variações extremas de temperatura.

No sul do México surgem comunidades de plantas desérticas. No Vale de Tehuacán destacam-se os cactos conhecidos como tetechales (*Opuntia heliabravoana*). Estas comunidades são uma extensão do deserto *chihuahuense* que ficou marginalizada por efeitos geológicos. No norte do país distinguem-se dois grandes desertos: o *chihuahuense*, o deserto mais seco e mais frio do país e o Sonora, de clima tropical seco e geograficamente ligado com o deserto de Mojave (de clima mais frio). A maior parte dos desertos mexicanos são dinâmicos e vastos, neles os solos são teoricamente "pouco desenvolvidos, devido à baixa umidade", mas são na realidade, muito diversos. Mais da metade dos 32 tipos de solos existentes no mundo de acordo com a WRB, podem ser encontrados nos desertos mexicanos. Particularmente abundam os solos alcalinos ricos em carbonatos, rasos e de textura grossa.

#### A Caatinga

O nome Caatinga é de origem indígena e significa "floresta clara e aberta". Localizada no Brasil, cobre aproximadamente 11% de sua superfície. A Caatinga é o bioma principal da Região Nordeste. Se caracteriza por ser rico em habitats e em espécies (em grande parte, endêmicas deste bioma). A seca, a luminosidade e o calor característicos das áreas tropicais dão como resultado, uma vegetação de savana tipo estepe, espinhosa e decídua (ou seja, as folhas caem em determinada época do ano).

Também comporta áreas serranas, zonas úmidas e outros tipos de nichos climáticos mais amenos. Este bioma está sujeito a dois períodos secos anuais: um longo período de estiagem, seguido de chuvas intermitentes e outro de seca, seguido de chuvas torrenciais (que podem faltar durante anos). También hay áreas serranas, terrenos pantanosos y otros tipos de nichos climáticos más amenos. Éste bioma está sujeto a dos periodos secos anuales: un largo periodo de estiaje, seguido de lluvias intermitentes, y otro de sequía, seguido de lluvias torrenciales (que pueden faltar durante años).

As duas estações acentuam os contrastes da Caatinga: numa época, o bioma encontra-se exposto, cinzento e espinhoso; enquanto em outra, torna-se mais verde e coberto com uma quantidade significativa de folhas pequenas. Cerca de 80% dos ecossistemas originais da Caatinga foram alterados, especialmente devido ao desmatamento e às queimadas.

#### Atacama

O deserto de Atacama localiza-se ao sul do Peru e ao norte do Chile, estendendo-se dos 17° até 30° de latitude sul, limite meridional do bioma do deserto da Costa Pacífica da América do Sul. O regime de umidade predominante corresponde a um deserto hiper-árido, com uma precipitação anual abaixo dos 100 mm e uma altíssima evapotranspiração, que provoca um déficit hídrico de 1.200 mm. É considerado o deserto mais árido do mundo, já que existem áreas onde não se registram precipitações durante décadas.

As características climáticas que hoje caracterizam o deserto do Atacama, foram começaram a se definir no início do nosso período, o Holoceno (cerca de 11.600 anos), quando uma drástica redução das precipitações,

juntamente com um aumento da temperatura produziram uma brusca diminuição no caudal dos cursos d'água.

Por causa desse fenômeno de aridez, as bacias endorréicas (aquelas sem saída superficial das águas, seja para o mar, seja para outros rios) da área das planícies altoandinas começaram a secar, transformando as lagoas existentes em salinas, que atualmente são encontradas nessas latitudes. Essa diminuição nas precipitações permitiu a preservação nas planícies costeiras no oeste dos contrafortes da Cordilheira da Costa, de uma reserva valiosa de fósseis marinhos, ricos em cálcio. Por outro lado, no deserto pode-se identificar uma grande área coberta por areias de origem fluvial, que foram mobilizadas a partir de planícies marinhas pelo efeito das mudanças na intensidade dos ventos.

Quatro sub-regiões são identificadas: deserto absoluto, deserto andino, deserto costeiro e deserto florido. O primeiro é a parte do deserto onde as precipitações são insignificantes ou quase nulas. Aqui dominam os solos dos grupos Solonchak, Leptosol, Arenosol, Calcisol e Regosol. A vida vegetal é praticamente ausente, no entanto, existem espécies que desenvolveram sistemas radiculares para absorver água do lençol freático, em grandes profundidades. O deserto andino apresenta um nível de vegetação superior ao do deserto absoluto e está localizado nas encostas ocidentais da Cordilheira dos Andes, em altitudes de 1.800 a 3.500 m, apresentando solos dos grupos Regosol, Leptosol e Fluvisol. A sub-região do deserto costeiro, estende-se entre as encostas ocidentais da Cordilheira da Costa, principalmente sobre solos dos grupos Arenosol, Solonchack e Calcisol. Finalmente, a sub-região do deserto florido, localizada entre 27° e 30° de latitude sul, caracteriza-se pela presença de uma grande diversidade de espécies que florescem de setembro a novembro sobre solos dos grupos Arenosol e Calcisol.

## 6. Pastagens, savanas tropicais e subtropicais



**Esquerda:** Savanas neotropicais nos Llanos Orientales (Orinoquia, Colômbia). A Orinoquia é uma região geográfica da Colômbia, definida pela bacia do rio Orinoco, onde existe uma intensa atividade pecuária. (DA) **Direita:** Distribuição do bioma de pradarias e savanas tropicais e subtropicais na ALC. (WWF/JRC)

As savanas são planícies localizadas em climas tropicais e subtropicais nas quais se desenvolvem uma cobertura de plantas herbáceas (gramíneas perenes), formando um estrato contínuo, juntamente com um dossel superior, descontínuo, de arbustos e/ou árvores. Encontram-se em zonas de transição entre florestas tropicais e semi-desertos. Apresentam características de floresta e pradarias. Os grupos de solos dominantes nas pradarias, savanas e matorrales tropicais e subtropicais são Ferralsols, Plinthosols, Lixisols, Acrisols e Arenosols, enquanto que nas áreas subtropicais ocorrem os Phaeozems, Luvisols, Vertisols, Planosols e Solonetz.

As savanas tropicais, também denominadas cerrados, no Brasil, são grandes planícies onde predominam uma vegetação herbácea, sobre as quais crescem várias espécies arbóreas, com uma cobertura variável: algumas áreas podem encontrar-se praticamente sem árvores, enquanto que outras apresentam uma alta proporção de árvores, semelhantes a uma floresta rala ou pouco densa. As palmeiras, especialmente a Carandaí (*Copernicia alba*) - são típicas das pradarias próximas aos rios Paraná e Paraguai. Em âmbito mundial, é o bioma com maior extensão nos trópicos da África, Ásia, Austrália e América. Na ALC, a área coberta por este tipo de paisagem é de cerca de 4.000.000 km<sup>2</sup>, o que representa 19,3% da superfície da América Latina, distribuindo-se principalmente pela zona central e oriental do Brasil, Argentina, Paraguai, Bolívia, Venezuela e Colômbia.

Do ponto de vista geológico e geomorfológico, localizam-se principalmente sobre sedimentos aluviais do Pleistoceno, os quais tem sua origem na erosão dos Andes e dos escudos Pré-Cambrianos do Brasil e da Venezuela.

Sua topografia é composta em geral de grandes planícies. Estas podem ser desde altiplanícies planas ou suavemente onduladas, bem drenadas, estáveis e antigas, como as do Brasil e dos *Llanos Orientales* da Colômbia e da Venezuela, até planícies mais depressionais. Também existem savanas mais jovens, como as planícies ocidentais e centrais da Venezuela e as de Casanare e Arauca na Colômbia. Suas altitudes variam entre 100 e 600 m. O clima predominante é o dos trópicos baixos, com temperaturas elevadas e constantes e precipitações anuais de 600 e 2000 mm, porém geralmente, com um ciclo de chuva de 5 a 7 meses e um longo período de seca.

Os solos, geomorfologicamente relativamente estáveis, foram submetidos durante milhares de anos a períodos de sobressaturação ou lavagem durante a época de chuvas e a secas intensas no resto do ano. Caracterizam-se por serem solos muito lavados, ácidos, pobres em nutrientes e ricos em ferro e alumínio, como são os Acrisols, os Ferralsols e os Plinthosols. Nesse ambiente predominam os gêneros de gramíneas como o *Trachypogon* e *Axonopus*, leguminosas do gênero *Stylosantes* e árvores resistentes à seca e ao fogo como as do gênero *Curatella* e *Byrsonima*. Por outro lado, nas savanas mais jovens sujeitas a variados graus de inundação, os solos (Stagnosols, Gleysols ou Vertisols) são menos pobres em bases, mas estão submetidos a processos de inundação. Aí predominam gramíneas dos gêneros *Paspalum* e *Leersia*, enquanto que as árvores surgem apenas nas áreas melhor drenadas da paisagem.

### Biodiversidade do solo nas savanas da Colômbia

A macrofauna do solo das savanas colombianas apresenta uma grande riqueza de táxons. Os cupins (ordem *Isoptera*) são o grupo mais abundante (47%), seguidos pelas minhocas (*Oligochaeta*, 31%). Também podemos encontrar formigas e vespas (*Hymenoptera*), besouros (*Coleoptera*), aranhas (*Arachnida*), centopéias (*Myriapoda*), vermes (*Nematoda*), moscas ou mosquitos (*Diptera*). A intensificação da agricultura e suas práticas associadas, como a remoção da vegetação nativa, mecanização e o uso de pesticidas, causam alterações que levam a uma redução significativa da biodiversidade dessas comunidades de organismos do solo, as quais costumam ser muito sensíveis às variações climáticas sazonais e às intervenções humanas. As mudanças nas comunidades de invertebrados podem levar a perturbações das funções do solo e, assim, causar impactos na prestação de serviços do ecossistema.

### O Cerrado

A savana tropical mais extensa da América do Sul conhecida como o Cerrado, está localizada na região central do Brasil e em parte da Bolívia e do Paraguai. O Cerrado é a savana com a maior biodiversidade do mundo. Encontra-se rodeada por outros biomas: a Amazônia ao norte, o Chaco e o Pantanal a oeste, a Caatinga a nordeste e a Mata Atlântica para a leste e o sul. O relevo do Cerrado consta de rochas cristalinas ou sedimentares e de uma rede de depressões periféricas com diferentes tipos de floresta, distribuídas em forma de mosaico. O clima é tropical com uma estação seca e outra chuvosa. Os solos do Cerrado podem ter até 25 m ou mais de profundidade e são os mais antigos e os menos férteis do mundo.

O Cerrado se caracteriza por uma enorme biodiversidade de plantas e animais, embora esta riqueza esteja sendo ameaçada pela expansão agressiva das monoculturas, de pastagens para a produção pecuária e queima para produzir carvão vegetal. Cerca de 67% do Cerrado já foi modificado com relação ao seu estado natural, e apenas 1% encontra-se sob proteção. Nos últimos 50 anos, o Cerrado sofreu a maior transformação de sua história, devido à construção da nova capital do Brasil, Brasília. Uma rede de transportes foi construída, abrindo a região a um grande processo de desenvolvimento, que juntamente com uma revolução verde, tornando essa área na nova fronteira agrícola do país.

Os principais cultivos que se desenvolvem em grande escala são: as plantações de soja, milho e arroz. Para o estabelecimento desses cultivos, milhares de quilômetros quadrados do Cerrado foram eliminados sem qualquer tipo de estudo ambiental prévio. As atividades agrícolas continuam sendo uma ameaça para a biodiversidade do Cerrado. Em vários estados existem conflitos de terra e novas ondas de colonização, o que torna muito difícil a conservação do que ainda resta da flora e fauna originais.



**Esquerda:** Paisagem de savana em Monagas, Venezuela e o seu correspondente perfil de solo. (JC)

## 7. Savanas e campos inundado



Esquerda: Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. (JZ) Direita: Distribuição do bioma pradarias e savanas inundadas na ALC. (WWF/JRC)

As zonas úmidas incluem um amplo espectro de ecossistemas na América Latina, muito variáveis espacial e temporalmente. Em termos gerais, existe uma forte relação entre as características de drenagem superficial e subsuperficial e a heterogeneidade ambiental interna de cada unidade. Deste modo, cada zona úmida proporciona habitats, recursos e funções alternativas para a região e para as diferentes espécies biológicas presentes, incluindo o ser humano. Ao serem inundadas regularmente, o solo torna-se saturado, desprovido de oxigênio, resultando num ecossistema híbrido entre os puramente aquáticos e os terrestres [105].

As zonas úmidas classificam-se geralmente, em função da sua morfologia e vegetação e, em menor grau, por sua hidrologia. A Convenção sobre as Zonas Úmidas (RAMSAR, 1971 - ver quadro), classifica as zonas úmidas em diversos tipos, agrupados em três categorias: marinhos e costeiros, continentais e artificiais. O aporte de água pode ser de origem marinha, fluvial, pluvial ou do lençol freático. As condições de alagamento ou inundação, ou ao menos a saturação de água do solo, podem acontecer de forma permanente e/ou semi permanente.

As zonas úmidas são ecossistemas muito dinâmicos e expostos à influência de fatores tanto naturais como humanos. Os solos das zonas úmidas atuam como sumidouros de carbono, mas também de sulfatos, nitratos e substâncias tóxicas. Muitas espécies vegetais das zonas úmidas são capazes de agir como "biofiltros", retendo substâncias tóxicas provenientes de pesticidas, de atividades de mineração ou de resíduos industriais. Algumas espécies de plantas flutuantes como o aguapé (*Eichhornia crassipes*) são capazes de absorver e armazenar metais pesados, como o ferro e o cobre, contidos nas águas residuais.

Os solos refletem a dinâmica hidrológica local com condições alternadas de excesso e falta de água. Os solos mais comuns nas zonas úmidas são os Histosols e Gleysols. Os Histosols formam-se nas áreas mais úmidas e possuem a maior produtividade biológica. Este tipo de solos, tropicais em sua maioria, são muito humificados, barrentos e apresentam poucas fibras vegetais. A espessura da camada orgânica varia desde media até alguns metros de profundidade.

Os Gleysols são solos mais minerais (a camada orgânica é menor que 50 cm), com uma evidente redução de ferro e manganês, pela falta de oxigênio causada pela inundação prolongada. Nas zonas úmidas também podem ser dos os Fluvisols ao longo dos rios e outros tipos de solos, nas áreas elevadas do terreno.

Devido à sua alta produtividade forrageira, algumas vezes as zonas úmidas são submetidas a pastoreio intenso, resultando na sobre-exploração de seus recursos vegetais e na compactação do solo, seguido pela invasão de espécies exóticas. Nas zonas úmidas de regiões secas, os processos de degradação são iniciados muitas vezes pela substituição das espécies próprias da zona úmida por espécies mais xeromórficas (como consequência de perturbações naturais e/ou antrópicas que causam o rebaixamento do lençol freático, um excesso de saiz e aridez). A sua integridade também está ameaçada pela contaminação com

hidrocarbonetos nas áreas de exploração de petróleo. No caso das marismas e das zonas úmidas costeiras, deve-se levar em conta o risco de inundação previsto para os próximos 50 anos, devido ao aumento médio do nível do mar em alguns lugares, devido às mudanças climáticas.

### A convenção de RAMSAR

RAMSAR é a Convenção sobre as Zonas Úmidas, assinada no Ramsar, Iran (1971). É um tratado intergovernamental que fornece o marco para a ação nacional e a cooperação internacional para a conservação e uso racional das zonas úmidas e de seus recursos.

### O Pantanal

O Pantanal é uma planície aluvial localizada a oeste do Brasil, abrangendo também parte da Bolívia e do Paraguai. Devido ao seu solo pouco permeável, este ecossistema é caracterizado pela ocorrência anual de inundações por períodos longos que provocam mudanças no ambiente, na vida silvestre e no dia a dia das populações locais. O clima é tropical, com temperaturas elevadas durante todo o ano. A região apresenta duas estações bem definidas: o verão chuvoso, de outubro a março, com aproximadamente 32°C de temperatura média e o inverno seco, de abril a setembro, quando a temperatura média é de 21°C. As chuvas intensas são um fator determinante na paisagem da região. As inundações ocorrem na época das chuvas pelo aumento do volume dos cursos d'água. Os rios mais importantes da

região são: o Cuiabá, o São Lourenço, o Itiquira, o *Corrientes*, o Aquidauana e o Paraguai. Todos eles formam parte da bacia hidrográfica do Rio de la Plata, que engloba grande parte do sudoeste brasileiro. Quando as chuvas cessam e os terrenos secam, permanece sobre a superfície uma mistura de areia, restos animais e vegetais, sementes e húmus, o que tornam o solo mais fértil.

Nos terrenos mais elevados e mais secos o solo é arenoso e ácido. Nestas áreas a água absorvida é retida no subsolo, nas camadas freáticas. Estes solos são menos férteis do que os anteriormente mencionados.

A planície é o tipo de relevo predominante no Pantanal. Uma vez inundado, no meio das águas podem observar-se elevações arenosas

de até seis metros de altura (conhecidas como cordilheiras). Circundando a planície existem alguns terrenos mais elevados, como mesas, serras e maciços. O maciço mais conhecido é o de Urucum, no Mato Grosso.

Quase toda a fauna brasileira está representada no Pantanal. Durante o período de inundação, algumas espécies de aves e mamíferos deslocam-se para as áreas altas mais próximas. Nesta vasta planície aluvial, a água é o elemento que regula a vida. É a maior planície alagada do mundo: calcula-se que cerca de 180 milhões de litros de água diários entram na planície do Pantanal. A cobertura vegetal originária das áreas que cercam o Pantanal, foi substituída em grande parte, por campos e pastagens.



Rio Pantanal, Mato Grosso, Brasil. (MB)

## 8. Pastagens, savanas e matagais temperados



**Esquerda:** Evidência de erosão eólica no pampa, na província de Tucumán, Argentina. (La) **Direita:** Distribuição do bioma pradarias, savanas e campos temperados na ALC. (WWF/JRC)

Este bioma está representado apenas pela grande extensão do Pampa (ou dos Pampas), localizados predominantemente na Argentina, mas também no Uruguai e numa pequena porção do sul do Brasil. A região do Pampa argentino encontra-se numa planície de acumulação de dimensões continentais, constituída por sedimentos recentes não consolidados, que separa os antigos escudos geológicos da Guiana-Brasil do sistema andino. Os solos desta área variam de acordo com o gradiente climático. Os mais abundantes são os Phaeozems. No sul do Pampa estes solos apresentam um horizonte muito característico nomeado "tosca" - uma camada fina endurecida de carbonato de cálcio. Acredita-se que a tosca foi formada durante o período hidromórfico de formação desses Phaeozems pampeanos. Na parte sul do continente, devido a um clima mais árido e fresco, predominam os Cambisols, alguns com uma baixa acumulação de carbonato de cálcio [106,107].

### Campos pampeanos ou Pampas

Constituem uma das ecorregiões mais extensas da área temperada da América do Sul. Cobre a região do centro-leste da Argentina: o centro-norte da província do Pampa, seguindo pelo centro de *San Luis*, o sul de *Córdoba* e de *Santa Fé*, *Buenos Aires* (exceto o extremo sul), parte de *Entre Ríos* e o leste e nordeste de *Corrientes* até o sul de *Misiones*, também o sul do Brasil e todo o Uruguai. O relevo é plano em geral e ocasionalmente, ligeiramente ondulado. O clima é temperado, com chuvas anuais decrescentes do nordeste (1.500 mm) a sudoeste (400 mm). A vegetação dominante é a estepe ou pseudoestepe de gramíneas. Os solos são siltosos, arenosos (no oeste) ou pedregosos (nas serras). Atualmente, apenas uma pequena área apresenta pastagens naturais em bom estado de conservação, as quais encontram-se fragmentadas em pequenas porções. Nesta região é possível distinguir, segundo propriedades geológicas, geomorfológicas, edáficas e de vegetação: (i) o Pampa Austral, com afloramentos rochosos abundantes, pedregosidade e solos rasos (alguns profundos, nos cones aluviais); (ii) o Pampa Mesopotâmico, de relevo ondulado e colinas suaves, com cursos d'água bem definidos, delimitados por florestas de galeria; os sedimentos variam de loess no oeste aos do tipo argiloso, a leste; (iii) o Pampa Arenoso ou Pampa Interior, onde se alternam outeiros arenosos, planícies e zonas baixas, tanto inundáveis como não inundáveis.

### Espinal

O Espinal rodeia pelo norte, oeste e pelo sul, as pradarias pampeanas. O clima varia de subtropical úmido no norte a subúmido seco e semi-árido no sul. Caracteriza-se pela presença de florestas baixas dominadas por árvores do gênero *Prosopis*. Trata-se de um ambiente intensamente alterado pela atividade antrópica de extração de lenha, produção de carvão, agricultura e pecuária. Se distinguem três sub-regiões: (i) Distrito *Nandubay*, onde a espécie predominante é o "ñandubay" (*Prosopis affinis*); (ii) Distrito do Algarrobo, onde as espécies dominantes são a *Prosopis alba* e *Prosopis nigra* (algaroba branca e algaroba negra, respectivamente), (iii) Distrito de *Caldén*, integrado por florestas xeromórficas caducifólias sobre relevos suavemente ondulados e serras baixas com solos arenosos.

### Monte de planícies e mesetas

Trata-se de uma superfície extensa desde o oeste do país até o norte da Patagônia, sobre relevos variados: planícies, bolsões, encostas de montanhas e mesetas. As mesetas são distribuídas de forma descontínua entre os morros, os afloramentos rochosos, as depressões (ocasionalmente com lagoas ou salinas), as planícies aluviais e os terraços fluviais. O clima é seco, com precipitações escassas (80 - 200 mm/ano) e sazonais: ameno, com chuvas estivais na metade norte e fresco com chuvas no inverno e primavera, na metade sul.

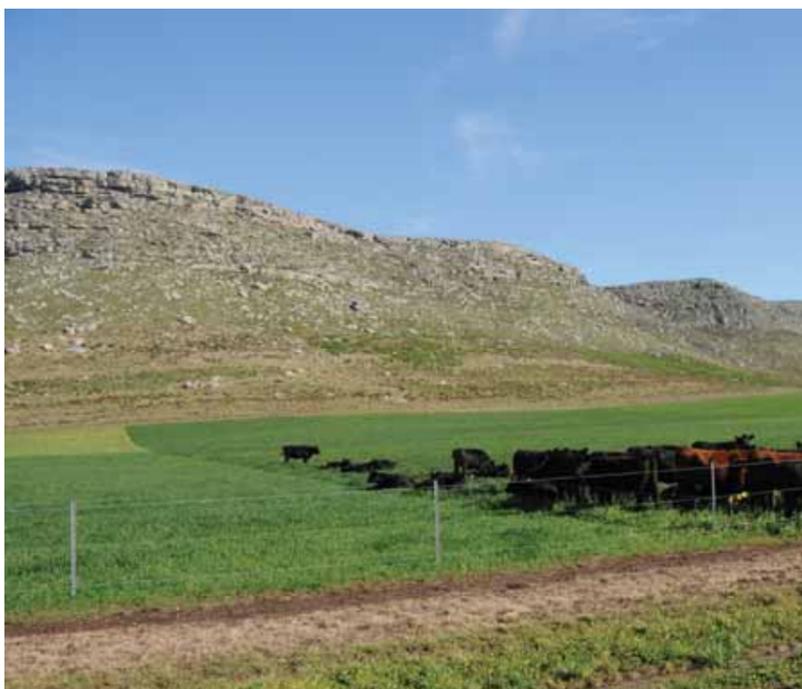
A comunidade vegetal característica é a estepe arbustiva xeromórfica (com predomínio de arbustos da família zigofiláceas) e com presença de solo nu. As florestas estão agrupadas no entorno dos poucos rios existentes.

A composição vegetal é a estepe arbustiva, com predominância de *jarillas* (gênero *Larrea*), breu, pichana, retamo, tintitaco e outras espécies. Nas florestas são encontradas espécies como algarobeira (*Prosopis spp.*), salgueiro (*Salix spp.*) ou Coração-de-bugre (*Maytenus boaria*). Do ponto de vista ecológico, distinguem-se duas sub-regiões já mencionadas acima: (i) Monte Setentrional, com precipitação predominantemente estivo-primaveril. Abarca desde o norte, todo o Monte até o centro da província de Mendoza; (ii) Monte Austral, com chuvas predominantemente inverniais. Este distrito estende-se desde os 24,40° de latitude sul em Salta, até os 27,15° de latitude Sul, em Hualfín, Catamarca. O Monte Setentrional apresenta, proporcionalmente à sua superfície, uma área arborizada muito maior que o Monte Austral, onde encontram-se apenas árvores isoladas.

### Estepe patagônica

A Estepe ou Província Patagônica é uma das regiões fitogeográficas continentais mais austrais da América do Sul. Sendo quase exclusiva da Argentina, abrange o centro-oeste de Mendoza, o oeste de Neuquén e Rio Negro, Chubut, Santa Cruz e nordeste da *Tierra del Fuego*. O relevo é representado principalmente por mesetas, elevações de baixa altitude, vales, grandes canchadas e planícies. O clima é temperado - frio e seco, com precipitações anuais inferiores a 250 mm em quase toda a região, aumentando perto da Cordilheira, em direção ao sul de Santa Cruz e da *Tierra del Fuego* e com a entrada de fortes ventos do oeste, queda de neve no inverno e geladas durante quase todo o ano. Os solos geralmente são pouco desenvolvidos, de textura variável, embora predominem as texturas grossas. São solos rasos, pedregosos, ricos em carbonato de cálcio e pobres em matéria orgânica. Podem-se distinguir as seguintes sub-regiões: A Payunia, Estepa Central, Estepa Ocidental, das pradarias sub-andinas e do golfo de San Jorge.

A vegetação da Estepe Patagônica se caracteriza por apresentar-se em forma de arbustos baixos, adaptados às condições de déficit hídrico, baixas temperaturas, geadas e fortes ventos. Em menor proporção aparecem as estepes herbáceas, de campos xeromórficos e comunidades adaptadas a determinadas características edáficas particulares, como planícies aluviais e terraços fluviais. Na faixa de contato da estepe com as florestas de montanha, predominam os campos xeromórficos, com maior valor forrageiro do que os matorrales. Nas áreas de acumulação de maior umidade, como nos fundos de vales, cursos d'água e vertentes, encontram-se os campos pantanosos localmente conhecidos como *mallines*.



**Esquerda:** Gado no Pampa Argentino. (CG) **Direita:** perfil de um Phaeozem correspondente à paisagem da foto da esquerda. Trata-se de um solo rico em matéria orgânica, o qual se desenvolveu sobre as cinzas dos vulcões andinos cobertos por loess. Embora após a conversão destas terras para o uso agrícola o teor de matéria orgânica tenha sido reduzido, a sua presença pode ainda ser observada no horizonte superior (coloração marrom-escuro). (CG)

## 9. Pastagens e matagais de montanha



Esquerda: Altiplano chileno. (RB) Direita: Distribuição do bioma pastagens, savanas e arbustos de montanha na ALC. (WWF/JRC)

Este bioma inclui as pradarias e vegetação arbustiva de altitude. As pradarias de montanha muitas vezes surgem como "ilhas" biogeográficas, separadas de outras regiões montanhosas por regiões mais temperadas e menos elevadas, e costumam abrigar muitas plantas endêmicas, as quais evoluíram em resposta ao clima de montanha, frio e ensolarado. A área mais representativa na América Latina, é a região de Puna.

A região de Puna é uma região formada por uma meseta de alta montanha, própria da Cordilheira dos Andes. Se distribui pelas partes mais altas dos Andes centrais e a sua parte central, é mais extensa e conformada pela meseta do Altiplano. Este conjunto orográfico encontra-se entre as latitudes 8°S e 30°S, aproximadamente, cobrindo territórios do centro e do sul do Peru, nordeste do Chile, Bolívia ocidental e noroeste da Argentina.

Os parâmetros altitudinais variam de acordo com cada país e com a latitude; No Peru, se considerada como Puna, a partir dos 3.800 ou 4.000 m de altitude (onde se iniciam as altiplanícies), e sua vegetação característica é a pradaria de alta montanha. No Chile, considera-se como Puna, a partir dos 4.000 m, apresentando uma flora de gramíneas ao norte e uma paisagem desértica em direção ao sul (Puna de Atacama).

Na Bolívia, considera-se que o Altiplano ou Puna, inicia-se a partir de uma altitude de 3.660 m, limite definido pelo ponto mais baixo do altiplano que corresponde ao Salar de Uyuni. Na Argentina, Puna é uma continuação das altiplanícies, que vai se fraturando em cordões de montanhas e depressões e diminuindo sua altitude a 3.700 m na Puna de Jujuy e 3.200 m ao sul, na Puna de Catamarca.

A Puna é uma região de baixa pressão atmosférica, com menor difusão de oxigênio no ar e clima frio, com escassas precipitações e temperatura média anual que oscila entre 6° e -7°C, de acordo com a região. Todos estes fatores geográficos juntamente com o relevo, tem originado vários endemismos na região, na qual também se desenvolveram várias culturas pré-colombianas.

O clima de Puna é geralmente de montanha, frio e seco, embora de acordo com a sua posição geográfica e altura pode-se observar variações distintas. A puna apresenta uma alta sequeidão atmosférica, é quente durante o dia e muito fria durante a noite. Só ocorrem precipitações estivais de chuvas, granizo e neve, de dezembro a abril, principalmente em janeiro e fevereiro (também chamado de inverno andino), que determinam um clima úmido nessa época. Nas áreas mais baixas, o clima é temperado enquanto que nas zonas mais elevadas o clima é polar.

A vegetação dominante é a estepe arbustiva, representada por espécies cujos indivíduos se apresentam como arbustos dispersos. Os microclimas edáficos locais determinam a existência de pequenos setores com fisionomias diferentes. Na zona setentrional e oriental, onde a precipitação anual supera os 400 mm, predomina a estepe de *tolas* (*Parastrephia lepidophylla*), arbustos baixos da família das margaridas. Em direção ao sul e oeste, a estepe altoandina apresenta uma dominância de chijua, tolilla, anágua, rica-rica e suriyanta, entre outras espécies. São típicos os arbustos "queñoa" que crescem nas encostas e ravinas entre os 3.800-4.300 m de altitude.

Os solos nesta zona são pouco desenvolvidos (Regosols e Arenosols). Existem muitos solos rasos (Leptosols). Próximo da costa surgem os Durisols. As áreas desérticas possuem solos ricos em sais solúveis (Solonchaks).

### Solos crioturbados

São característicos desta zona, os solos crioturbados, aqueles submetidos a uma sequência de gelo e degelo. Este fenômeno ocorre diariamente na parte alta dos Andes tropicais e provoca o deslocamento das partículas, modificando sua distribuição nas camadas do solo. Esta condição, somada a baixas temperaturas, radiação solar intensa e outros fatores edáficos e climáticos, fazem que a vegetação que coloniza esses solos seja diferente da encontrada nos habitats circundantes, principalmente em relação à sua diversidade, estrutura, fisiologia e ecologia.

O aquecimento global está atualmente afetando a camada congelada do solo (permafrost), o que repercute na distribuição do carbono do solo e nas suas propriedades físicas e químicas. Estes processos estão muito relacionados com as populações vegetais que habitam nestes ambientes, assim, espera-se mudanças em sua composição, adaptações e estratégias biogeográficas.

As recentes mudanças climáticas poderiam ocasionar a perda do ciclo de gelo-degelo, o que afetaria a ciclagem de nutrientes. Alguns estudos revelam que esse tipo de mudança no ciclo de nutrientes favorece a presença de algumas espécies, trazendo consequências sobre a estrutura das comunidades nestas áreas.

É por isso que as dinâmicas dessas comunidades podem ser usadas como indicador potencial das mudanças ambientais, constituindo um fator a considerar nos futuros estudos das áreas altoandinas.



Agricultor trabalhando a terra na Puna boliviana. (RV)



Lhamas no altiplano boliviano. (RV)

## 10. Floresta mediterrânea de bosques e arbustos



**Esquerda:** Vista da floresta do Parque San Carlos de Apoquindo perto de Santiago do Chile. (BR) **Direita:** Distribuição do bioma Floresta e vegetação arbustiva (matorrales) mediterrâneos na ALC. (WWF/JRC)

O clima Mediterrâneo é um clima temperado-quente, com chuvas sazonais, em que os invernos são úmidos e os verões são quentes e secos. As chuvas se distribuem desde o outono até a primavera e variam de escassas a moderadas, dependendo de se tratar de mediterrâneo seco ou mediterrâneo úmido, embora exista sempre uma seca de verão, que dura mais de dois meses, com uma radiação solar intensa. No verão as chuvas significativas são escassas, e são relativamente frequentes nas épocas com fortes secas (podem durar vários anos).

Neste bioma, a principal limitação é a longa seca estival (que pode durar por vezes, mais de 4 meses), quando as temperaturas são mais elevadas. A estação de crescimento limita-se aos meses com umidade suficiente no solo, temperaturas adequadamente temperadas e suficientes horas de luz, principalmente na primavera. Também ocorre a estação de outono, embora nesta época do ano, quando as reservas de água são recuperadas, as temperaturas começam a cair e as horas do dia a encurtar. A estação de crescimento também pode ser estendida para o inverno, sobretudo nas áreas mais próximas aos trópicos onde as temperaturas são mais suaves e os dias mais longos.

Apesar da sua extensão relativamente pequena, este bioma apresenta uma grande biodiversidade, tanto de plantas como de animais, além de uma grande variedade de formas de relevo e tipos de solos. Algumas das razões que explicariam a grande diversidade dos ecossistemas mediterrâneos são: a sua localização na zona de transição entre os climas úmidos e secos, e entre as regiões temperadas e tropicais; a heterogeneidade de relevos e microclimas dos solos; a pluralidade das origens biogeográficas e a intensa influência humana. Além disso, tal como ocorre com as regiões desérticas do mundo, cada uma das áreas de clima mediterrâneo encontra-se isolada das outras, permitindo o desenvolvimento de comunidades de plantas e animais característicos em cada uma das zonas. No entanto, devido à convergência ecológica, muitos desses arbustos revelam uma aparência semelhante (é o caso, por exemplo, dos maquis da bacia do Mar Mediterrâneo, o chaparral da Califórnia, nos EUA, e o matorral do Chile), embora muitas de suas espécies vegetais não sejam aparentadas.

Os solos deste bioma são muito diversos, devido tanto à diversidade de sub-climas (de semi-árido a úmido) como dos substratos geológicos entendem a ser pouco profundos, por estarem muito sujeitos aos processos erosivos. Estes processos são muito favorecidos pelo relevo abrupto e pela abundância de rochas sedimentares brandas, pelas chuvas torrenciais após as épocas de seca, quando a cobertura vegetal é menor, devido à grande extensão de terra degradada pela ação humana, em muitos casos pelos frequentes incêndios florestais.

De acordo com WRB, os solos dominantes nesta área são os Leptosols, seguidos dos Regosols e Arenosols. No entanto, ocorrem também os Cambisols e Luvisols nos relevos mais estáveis.

### Floresta Mediterrânea do Chile

Na zona central do Chile a vegetação mediterrânea recebe o nome genérico de *matorral* ou bosque esclerófilo e tende a mostrar uma maior estratificação (árvores, arbustos, ervas) e a ser mais aberto do que o chaparral norte-americano. Nessa região, são escassas as massas de vegetação naturais bem preservadas, uma vez que, como a maioria das zonas mediterrâneas, está altamente povoada e transformada pelo homem. Das antigas florestas restam apenas algumas manchas, principalmente nas áreas úmidas.

O bosque esclerófilo compartilha a sua distribuição com a região administrativa mais povoada do Chile, a Região Metropolitana. Esta região abriga 40% da população total (6 milhões de habitantes) numa superfície de 2% do território chileno.

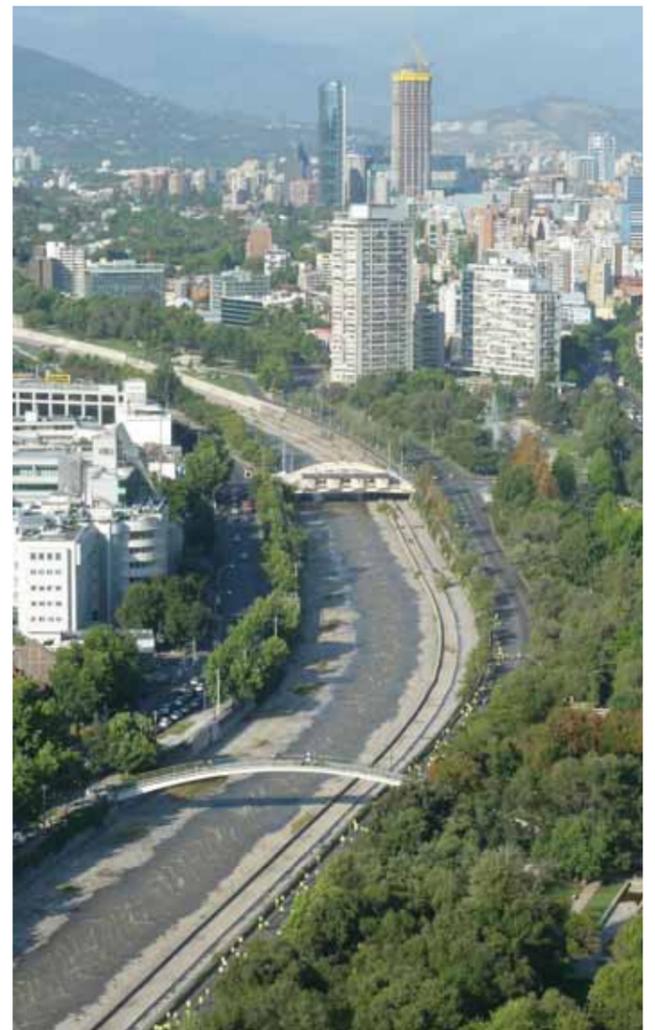
As regiões florestais e os matorrales mediterrâneos sofrem uma pressão constante da mudança de uso para fins de expansão urbana e agrícola. Isto tem levado a uma degradação rápida dos solos, o que por sua vez tem gerado um processo de desertificação, agravado pela utilização de águas subterrâneas para o consumo humano, os incêndios florestais e a drenagem de pântanos, entre outros fatores.

O Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas do Estado (SNAPE) é a instituição governamental responsável pela gestão e proteção das áreas protegidas do país. No Chile, 19% do território encontra-se protegido pelo SNAPE. A maior parte deste território concentra-se em latitudes altas, em áreas de baixa produtividade e em áreas remotas ou com pouco acesso. Apenas 2% da floresta esclerófila encontra-se sob proteção, apesar de ser um ecossistema único no mundo.

Dentro desta grande diversidade de solos, pode-se considerar como solos mais característicos (embora não sejam os mais extensos em área) os conhecidos como "Solos Vermelhos Mediterrâneos". Os processos de ferralitização ocorrem nos climas temperados-quentes, com estações contrastantes, em que se alterna precipitações abundantes com longos períodos de seca. O horizonte apresenta acumulação de argilas e uma cor característica vermelha ou marrom avermelhado. Esta cor característica é o resultado da acumulação de óxidos de ferro desidratados durante os períodos secos.



O Parque Nacional La Campana é uma das áreas naturais mais representativas da Região Central do Chile. Caracteriza-se por ter uma das últimas florestas de palma-chilena. (BR)



Río Mapocho, Santiago do Chile. (CH)

## 11. Manguezais



Esquerda: Manguezal na Ciénaga de Ocumare, Venezuela. (D) Direita: Distribuição do bioma Manguezais na ALC. (WWF/JRC)

O termo *mangle* é originário do guaraní e significa "árvore retorcida". No continente americano, os manguezais são distribuídos a partir da Baja Califórnia (Baixa Califórnia) e Flórida no norte, até o Peru e o Brasil, no sul. Os manguezais são um bioma com árvores muito tolerantes ao sal, que ocupam zonas influenciadas pelas marés e encontram-se próximos das desembocaduras de água doce nas latitudes tropicais da Terra.

É possível encontrar grandes extensões de manguezais compostas por uma única espécie ou mistos. A maioria são mistas e existe uma sucessão entre as três espécies de mangues mais abundantes. O mais exposto à água é o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), que cresce nas margens dos manguezais, seguido do mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e do mangue-preto (*Avicennia germinans*), que ocupa as planícies lodosas inundáveis. Este zoneamento natural, é uma estratégia de reprodução, à sua capacidade de resposta à salinidade e inundação, ou então, à concorrência.

Os grupos de solos dominantes neste bioma são os Fluvisols, seguidos dos Histosols, Leptosols e Gleysols. Nas zonas inundáveis encontram-se os Solonchaks, Fluvisols e os Histosols com características salinas.

De acordo com a WRB, a característica mais importante dos manguezais é o seu caráter tidálico (td): que se inunda durante a maré-alta, mas não é coberto por água na maré baixa a média. Para a realização de mensurações do solo, é necessário drená-lo e durante esse processo, suas características sulfato-sódicas são drasticamente modificadas.

Estima-se que, nas últimas duas décadas tenha se perdido cerca de 35% dos manguezais do mundo. Os mangues são uma fonte de produtos madeireiros, especialmente para as populações locais. No entanto, a exploração para vários usos (urbanos, turístico, agrícolas ou cultivos de camarão), são as principais causas prejudiciais de mudança nesse bioma.

A recuperação de um manguezal degradado é muito difícil ou quase impossível e vai depender do seu grau de degradação, já que requer a restauração de condições físico-químicas muito particulares, por estarem interligados com outras espécies de plantas nas zonas de inundação. São requeridos cerca de 50 anos para que um manguezal atinja sua maturidade estrutural, e sobre a restauração biogeoquímica, não se tem conhecimento suficiente para garantir o sucesso de um reflorestamento de mangue.

### Serviços ambientais

Os manguezais fornecem uma grande variedade de serviços ambientais, como por exemplo:

- Atuam como um refúgio e fonte de alimentação para um grande número de organismos aquáticos, muitos deles de importância para a pesca.
- Possuem uma alta produtividade.
- Os taninos produzidos nas suas cascas são empregados em cortumes e tinturaria.
- São fontes de madeiras pesadas, de grande comprimento, de fibra longa e resistentes à umidade.
- Proporcionam uma proteção natural contra catástrofes naturais.
- Fornecem proteção nas costas contra a erosão eólica e da arrebatadação das ondas.
- Funcionam como um filtro biológico.
- Formam solos.
- Abastecem de água e regulam a sua disponibilidade.
- Fornecem serviços recreativos e culturais.



Manguezal de Tamasopo, Veracruz, México. (CCG)



Expansão industrial da criação de camarão em Honduras, durante o período de 1987 a 1999. (NASA)

# Os solos da ALC: uma perspectiva nacional



## Argentina

Área: 2.780.400 km<sup>2</sup>  
População: 40.764.561 habitantes



### Os solos da Argentina

Argentina é um país localizado no extremo sudeste da América do Sul. Limita-se ao norte com a Bolívia e o Paraguai, a nordeste com o Brasil, a leste com o Uruguai e o Oceano Atlântico e ao sul e oeste, com o Chile. O clima predominante é o temperado, mas também podemos encontrar um clima subtropical ao norte e subpolar no extremo sul. As características gerais da orografia da Argentina são a presença de montanhas no oeste e de planícies ao leste, configurando uma planimetria que diminui em altitude de oeste para leste.

Os principais usos da terra são: pastos (40%), terra arável (12%) e áreas florestais (11%).

A Argentina é um país de contrastes geológicos, geomorfológicos e climáticos e, portanto, apresenta uma grande variedade de solos. O país é geralmente conhecido pelas suas vastas planícies de solos férteis e clima úmido. Entretanto, estas condições apenas apresentam-se em menos de um terço da sua superfície, sendo a área restante dominada por condições áridas e semiáridas. Devido a esta marcante heterogeneidade, torna-se necessário dividir o país em ambientes gerais para a sua descrição.

A Planície Chaco-Pampeana é uma vasta planície, com encostas muito suaves, onde predominam solos bem desenvolvidos, com bons teores de matéria orgânica e alta fertilidade natural. A unidade geográfica conhecida como Mesopotâmia Argentina caracteriza-se pelos seus solos vermelhos profundos evoluídos sobre rocha basáltica, onde se desenvolve principalmente a produção florestal.

A cordilheira dos Andes caracteriza-se no setor norte-central por encostas acentuadas, clima seco e solos de textura grossa ou arenosa, fraco desenvolvimento, que ocorrem entre os amplos afloramentos rochosos; no setor sul, devido ao clima frio e úmido, com vegetação de floresta densa, aparecem solos mais desenvolvidos, alguns deles evoluídos sobre materiais vulcânicos e com alta fertilidade.

Localizadas no setor central do país, as Serras Pampeanas apresentam solos com algum grau de desenvolvimento, de textura média a grossa e de uso pecuário. A parte sul do país é composta por planícies e terraços antigos, onde se encontra a Patagônia extra-andina, caracterizada pela presença de solos desenvolvidos sobre sedimentos de granulometria média a grossa, destinados principalmente para a pecuária.

### A degradação dos solos argentinos

Na Argentina 20% do território (cerca de 60 milhões de hectares) está afetado por processos de erosão hídrica e eólica. Por sua vez, as regiões áridas e semiáridas do país, que cobrem cerca de 75% da área total, abrigam ecossistemas frágeis e vulneráveis à desertificação. Estas regiões que ocupam o oeste e o sul do território nacional, apresentam 10% da sua superfície afetada por desertificação, categorizada como muito grave, enquanto que 60% desta apresenta desertificação considerada moderada a grave, devido ao pastoreio excessivo e ao uso desordenado dos recursos naturais.

A difusão do sistema de plantio direto na planície pampeana, cujos solos estão entre os mais produtivos do mundo, ocorreu de forma exponencial desde o início da década de 1990. Isto permitiu melhorar a qualidade dos solos por meio de um controle efetivo da erosão, aumentando a matéria orgânica do solo e possibilitando um melhor aproveitamento da água pluvial.

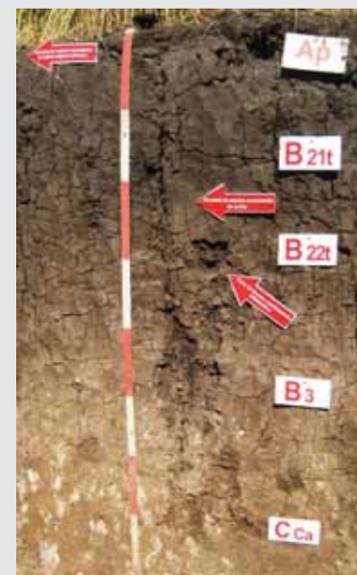
Nos últimos anos tem ocorrido uma simplificação dos sistemas de produção pampeanos e extrapampeanos, através de uma substituição gradual das rotações tradicionais pela monocultura da soja, a qual gera preocupação devido ao seu impacto negativo nas funções do solo e na sustentabilidade dos agroecossistemas.

Nas regiões áridas e semi-áridas da Argentina a desertificação é um problema ambiental e sócio-econômico que se desenvolve sob climas com uma falta severa de água, afetando de forma negativa as regiões com recursos naturais muito limitados de solo, água e cobertura vegetal, como é o caso da Patagônia. Também destaca-se a degradação dos recursos naturais da Região Centro-Oeste do país, que afeta as províncias de La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis e oeste da região do Pampa. O desmatamento das florestas secas, o sobrepastoreio extensivo de bovinos, ovinos e caprinos e o uso do fogo sobre as formações montanhosas e a ecorregião conhecida como espinal, tem levado à remoção da cobertura vegetal e ao aumento dos processos de erosão e desertificação. A expansão da fronteira agropecuária em direção a áreas marginais de fragilidade ecológica, tem causado a degradação dos recursos naturais, com perdas substanciais da biodiversidade.

O manejo integrado dos recursos naturais é considerado hoje como o sistema mais adequado e seguro para a empresa agropecuária, tanto do ponto de vista produtivo quanto do impacto sobre os ecossistemas da região.



Campos de trigo em solos férteis da região do Pampa. (MA)



Perfil de solo do tipo Phaeozem. Estes solos têm uma ampla distribuição na Região do Pampa e são considerados como os mais férteis da América Latina. (MA)



## Belize

Área: 22.965 km<sup>2</sup>  
População: 317.928 habitantes



### Os Solos do Belize

O Belize é um país da América Central com costa no Mar Caribe. Limita-se ao norte com o México e a leste e sul com a Guatemala. O clima é tropical e a temperatura geralmente oscila entre os 24 e 27°C, dependendo da altitude e da proximidade da costa. Durante a estação chuvosa, de maio a novembro, são comuns as inundações e a chegada de furacões.

Os usos mais importantes dos solos são: florestal (62%), agrícola (10%) e pastagens (2%).

A geologia do Belize consiste em sua maioria de variedades de pedra calcária, com exceção dos Montes Mayas, os quais formam um grande bloco de granito que atravessa o país de nordeste a sudoeste a parte central do país. Neste conjunto de cadeias montanhosas localiza-se o pico Victoria, o mais alto do país, com 1.160 m de altitude. O Belize encontra-se fora da área tectonicamente ativa da América Central e grande parte da área norte situa-se na plataforma do Yucatán.

O relevo de Belize revela claras diferenças regionais entre o norte, com terras baixas e predomínio de solos arenosos e o sul, mais acidentado, devido à presença dos Montes Mayas. As regiões montanhosas que cercam os Montes Mayas são formadas por pedras calcárias do Cretáceo, onde predomina uma topografia cárstica, caracterizada por inúmeras dolinas, cavernas e córregos subterrâneos.

As planícies costeiras estão cobertas por depósitos aluviais, alguns deles muito férteis. O Belize conta com a segunda barreira de corais mais longa do mundo (depois da Grande Barreira de Coral australiana) e a mais longa do hemisfério ocidental. Três dos quatro únicos atóis existentes no hemisfério ocidental estão localizados na costa do Belize.

Os solos do Belize apresentam moderadas a fortes limitações para a agricultura devido à má drenagem, à baixa fertilidade e à falta de umidade durante a época seca. Os solos com maior potencial para a agricultura, estão ocupados por cultivos de exportação, como cítricos e bananas, localizados nas planícies costeiras do norte. Existem áreas com capacidade agrícola limitada e áreas marginais, onde se pode realizar atividades de silvicultura e agricultura de baixo impacto.

### Agricultura e erosão nos solos do Belize

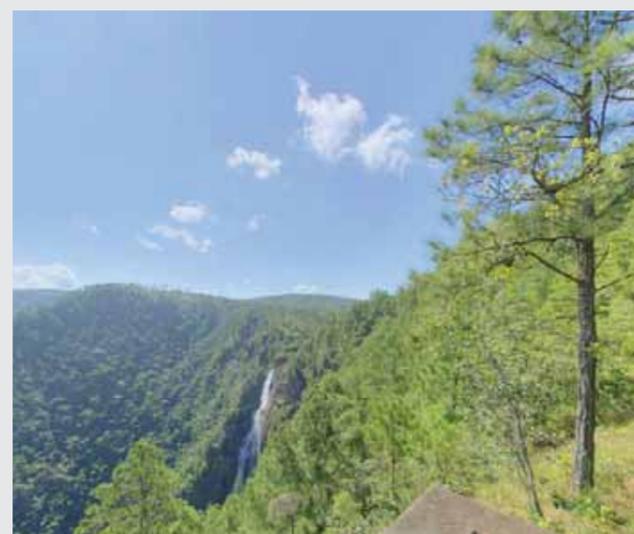
Em Belize, 38% das áreas que deveriam ser destinadas à proteção das florestas, devido à sua topografia, são cultivadas. A maioria está localizada no sul do país, em áreas com encostas íngremes e em condições de alta pluviosidade. A ausência de uma gestão agrícola estruturada e o uso de sistemas tradicionais, como corte e queima a erosão do solo. O processo de corte e queima consiste em remover as árvores da floresta para semear cultivos, deixando pouca vegetação para proteger a camada superficial do solo, rica em nutrientes, a qual é removida pela chuva.

A camada superficial do solo degrada-se rapidamente, forçando os agricultores a ocuparem outras áreas, onde repetem-se as mesmas práticas com resultados semelhantes. Exemplos destas práticas ocorrem nos distritos de Stann Creek e Toledo. Nessa região do país as florestas foram eliminadas, incluindo a queima dos resíduos, para plantar milho. Este tipo de remoção de resíduos após o corte das árvores expõe ao solo ao impacto direto das gotas de chuva, o que poderia ser evitado se os resíduos do corte permanecessem sobre o solo sem serem queimados. Os efeitos da erosão laminar podem ser observado pela presença de rochas na superfície da parte superior das encostas.

O uso do solo recomendado para 64% do território é de exploração florestal limitada e áreas de proteção. No entanto, a maior parte desta área é utilizada para a agricultura. De fato, aproximadamente 38% das áreas não recomendadas para o uso agrícola encontram-se cultivadas, por vezes em áreas com encostas íngremes e de alta pluviosidade, o que aumenta fortemente o risco de erosão hídrica. Nestas áreas torna-se necessário implementar práticas adequadas para a conservação do solo.

### O setor florestal

No Belize o recurso florestal foi considerado inesgotável. Na atualidade, com uma cobertura florestal de 62% e uma taxa de desmatamento anual de aproximadamente 36.000 hectares durante a última década, passou-se a considerá-lo mesmo, como um recurso finito. No final dos anos oitenta, realizou-se um estudo de ordenamento do território de âmbito nacional, segundo o qual, apenas 14% das florestas apresentara condições adequadas para uma extração florestal sustentável.



Montes Mayas em Carozal, Belize. (P)



Pescadores em Belmopan. (PC)



## Bolívia

Área: 1.098.581 km<sup>2</sup>  
População: 10.088.108 habitantes



### O solos da Bolívia

Bolívia localiza-se no centro da América do Sul. Delimita-se ao norte e a leste com o Brasil, a sudeste com o Paraguai, ao sul com a Argentina, a sudoeste com o Chile e a oeste com o Peru e o Chile. Ocorre uma grande diversidade de climas, devido principalmente ao relevo e à sua posição geográfica latitudinal

Os usos mais importantes dos solos são: florestal (53%), pastagens (30%) e agricultura (4%).

Do ponto de vista fisiográfico o país se diferencia em seis províncias. Por um lado encontramos as duas cadeias montanhosas que compõem a cordilheira dos Andes: (i) a Ocidental, constituída por rochas vulcânicas e ígneas, e (ii) a Oriental, formada por rochas sedimentares e metamórficas. Entre ambas cadeias montanhosas, situa-se o (iii) Altiplano. Por sua vez, as províncias (iv) do altiplano Sub-Andino, (v) das planícies e (vi) do escudo pré-cambriano, em sua maioria apresentam depósitos de materiais soltos, como argilas, areias e cascalhos.

A Cordilheira Ocidental é formada por uma cadeia montanhosa de cones vulcânicos com atividade reduzida ou nula. No entanto, é possível observar sequelas pós-vulcânicas como a presença de sulfatos e fumaças, especialmente na zona sul. O pico mais alto do país é o Sajama com 6.542 m de altitude. A Cordilheira Ocidental caracteriza-se pela presença de solos que variam de moderadamente profundos a rasos. O altiplano boliviano constitui a interface entre a Cordilheira Ocidental e a Oriental, e subdivide-se pela influência do regime climático em três partes: Norte, Centro e Sul. Os solos variam de rasos e arenosos a profundos e argilosos.

A Cordilheira Oriental apresenta um conjunto de montanhas, serras, colinas e vales interandinos no centro do país, com solos muito superficiais. Na faixa subandina os solos variam de muito superficiais nas serras a moderadamente profundos no sopé do monte. Na planície Chaco Beniana encontram-se solos com uma camada superficial de textura argilosa. No Pampa, os melhores solos estão submetidos à agricultura intensiva de exportação, nas planícies de Santa Cruz. Os solos no Gran Chaco Sul-americano sofrem limitações de fertilidade e déficit hídrico.

Segundo a classificação WRB, os solos mais comuns na Bolívia são Gleysols, Acrisols, Luvisols, Cambisols e Regosols.

### A degradação dos solos na Bolívia

Uma das razões que impede atingir o máximo potencial produtivo na Bolívia é a degradação dos solos, causada fundamentalmente pela erosão do terreno. Entre 1954 e 1996, a erosão e o arrastamento ou a lavagem do solo por efeitos do vento e/ou da chuva aumentaram em 86% nas regiões áridas, semiáridas e subúmida seca.

De acordo com vários estudos, 41% dos solos do território sofre processos de degradação. Ditos processos abrangem uma superfície de mais de 45 milhões de hectares, que compõem a maioria dos departamentos de Oruro, Potosí, Chuquisaca e Tarija, 32% do Departamento de La Paz 46% de Cochabamba e 33% de Santa Cruz. Cerca de 22 % do território sofre de degradação que pode ser classificada como severa. Por degradação entende-se como a perda progressiva da capacidade produtiva dos solos devido à erosão, perda de fertilidade, contaminação, salinização e/ou compactação.

Os solos agropecuários e florestais da Bolívia costumam ser frágeis e com cobertura vegetal escassa (sobretudo nas zonas áridas e secas), devido às condições climáticas e ao fato de serem solos "jovens". Sua fragilidade aumenta de forma notável com a perda da cobertura vegetal, causada pela adoção de práticas inadequadas de produção agropecuária e florestal.

No Altiplano e nos vales, o sobrepastoreio e o uso excessivo de florestas para extração de lenha, fazem com que o solo fique descoberto, tornando-se vulnerável a serem lavados ou arrastados pelo vento e pela água da chuva.

Por outro lado, segundo a Fundação Amigos da Natureza (FAN), nas terras baixas foram perdidos 1,8 milhões de hectares de florestas entre os anos 2000 e 2010. Isto deve-se à expansão da agricultura mecanizada, seguida pela pecuária e a agricultura de pequena escala. A expansão da agricultura mecanizada responde ao bom acesso aos mercados de exportação, ao solo fértil e às condições de chuva; enquanto que a agricultura de pequena escala e a pecuária estariam relacionadas principalmente com a proximidade dos mercados locais.



Vale aluvial com cultivos em Tapacari, Bolívia. (RV)



Desmatamento no Departamento do Beni. (RV)



## Brasil

Área: 8.502.728 km<sup>2</sup>  
População: 192.379.287 habitantes



### O solos do Brasil

O Brasil localiza-se na América do Sul. Ao norte limita-se com a Venezuela, Guiana, Suriname e o departamento ultramarino francês da Guiana Francesa; a noroeste, com a Colômbia; a oeste, com a Bolívia e o Peru; a sudeste com Argentina e Paraguai; a leste, com o Oceano Atlântico e ao sul, com o Uruguai. Conta com cinco subtipos climáticos principais: equatorial, tropical, semiárido, tropical de altitude e subtropical. O país está incluído na Plataforma Sul-Americana, cujo embasamento é de uma evolução geológica muito complexa. Os principais usos do solo são florestal (62%), pastagens (23%) e agrícola (8%).

Os solos dos grupos Ferralsols e Acrisols estão amplamente distribuídos nas ecorregiões brasileiras, desde a Amazônia até o Pampa Gaúcho, do norte até o extremo sul do país, através do Cerrado e da Mata Atlântica. Estes solos foram formados a partir de uma diversidade de materiais, como sedimentos argilosos, siltosos e arenosos do Terciário, arenitos, rochas básicas e intermediárias, calcárias, granitos, gnaisses e migmatitos.

Na Amazônia, os Ferralsols e os Acrisols vermelho-amarelados são os solos mais representativos. Estes são derivados de sedimentos argilosos, siltosos e arenosos do Terciário e apresentam características comuns, como baixa fertilidade natural e saturação elevada de alumínio trocável. Apesar dessas limitações, os solos da Amazônia, pela sua topografia, têm sido convertidos em pastagens e plantações, com a consequente perda da biodiversidade, bem como da rentabilidade. Existem também solos férteis, além dos Gleysols (30 milhões de ha), áreas importantes com Podzols no norte e Plinthosols no sul.

A região Nordeste apresenta como característica peculiar uma grande variabilidade de solos e de condições ambientais, com potencialidades diferentes para a produção agrícola. Na ecorregião da Caatinga, os solos são pouco profundos mas de boa fertilidade. Os Regosols e os Luvisols são solos importante nesta região, embora existam vastas áreas com Ferralsols e Acrisols. O sul é a região das montanhas e planícies, com solos de média a alta fertilidade. Ali são comuns os Ferralsols, Leptosols e Nitisols. Estes solos são suscetíveis à erosão hídrica. No sudeste, embora os Ferralsols e Acrisols cubram 78% da região, os cultivos são de alta produtividade, devido à implementação de formas de manejo altamente tecnificadas.

### As terras degradadas do Brasil

No Brasil, o desmatamento e o manejo inadequado das atividades agropecuárias são considerados como os principais fatores de degradação do solo. Estes fatores aceleram os processos de erosão, principalmente a erosão hídrica e a salinização, o que leva em muitos casos à desertificação. Em 2012, a área desmatada na Amazônia atingiu 15%, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); a conversão no cultivo do Cerrado tinha atingido em 2010 49%; dados de 2009 indicam que a Caatinga perdeu 46% da cobertura vegetal original e o Pantanal, 15% da sua área total.

A exploração dos recursos florestais sem precaução e o uso frequente do fogo, podem gerar perdas rápidas e a degradação do meio ambiente. O manejo dos sistemas de produção de pastagem tem aumentado a degradação do solo pela erosão e, principalmente, pela perda de biodiversidade.

Aproximadamente 48% do total das terras agrícolas brasileiras em 2006, eram pastagens (28% plantados e 17% naturais). Cerca de 78% das áreas de pastagem plantadas (manejo pouco mecanizada) são geralmente adequadas para esse mesmo uso e nível de manejo e ocorrem principalmente no centro-oeste do país. Das terras com pastagens localizadas em diferentes biomas do país, 77% estão destinadas exclusivamente a este uso. De acordo com o IBGE, 98.400 km<sup>2</sup> de áreas de pastagens, 3% do uso total das terras no Brasil, estavam degradadas em 2006. Acredita-se que cerca de 60% da área atual ocupada por pastagens apresenta algum tipo de degradação do solo, o que afeta a produtividade e a qualidade da água.

De acordo com os dados de 2006, cerca de 7.890 km<sup>2</sup> das terras em uso no Brasil, encontrava-se em estado avançado de degradação e cerca de 60.900 km<sup>2</sup> não poderiam mais ser utilizadas para a exploração agrícola ou pecuária. Estima-se que as perdas anuais por erosão em áreas de cultivos e pastagens são atualmente de 970 milhões de toneladas, o que representa 5.800 milhões de dólares por ano. Estes resultados não consideram as perdas por erosão nas áreas urbanas e peri-urbanas.

A conclusão que emerge a partir destes resultados é que a degradação do solo tem um custo significativo e de grande influência sobre a eficiência e sustentabilidade da agricultura no Brasil.



Arriba: paisagem sobre Ferralsols. (Embrapa)

Abajo: perfil correspondente à imagem de acima. Este grupo de solos é amplamente distribuído nas principais ecorregiões do Brasil. (Embrapa)





## Chile

Área: 756.102 km<sup>2</sup>  
População: 17.248.450 habitantes



### Os solos do Chile

O Chile é um país localizado no extremo sudoeste da América do Sul. Limita-se ao norte com o Peru e a leste com a Bolívia e a Argentina. Está localizado ao longo de uma área altamente sísmica e vulcânica. A amplitude latitudinal do Chile, o seu relevo e a influência do oceano dão origem ao clima seco do norte, ao clima temperado do centro e ao clima mais frios e chuvosos do centro-sul.

O Chile caracteriza-se pela ampla gama de tipos de solos, devido à sua diversidade de materiais de origem, à variação das condições climáticas e à sucessão de inúmeros eventos geológicos e geomorfológicos.

Os usos mais importantes do solo são florestal (22%), pastagens (19%) e os cultivos (2%).

Os principais tipos de solo no Chile são: Andosols, Nitosols, Phaeozems e Plinthosols. Os solos da cordilheira dos Andes variam ao longo do gradiente latitudinal: ao norte são de textura grossa e muito rasos, com conteúdo elevado de matéria orgânica e alta salinidade; em direção ao centro do país, encontram-se os solos derivados de materiais grossos; enquanto que ao sul aparecem os solos de origem vulcânica, que caracterizam-se pelo alto teor de matéria orgânica. A Cordilheira da Costa, embora tenha uma altura menor do que a dos Andes, apresenta áreas de relevo acidentado que desencadeiam processos erosivos de grande extensão e intensidade.

No centro-norte dessa cordilheira, predominam os solos derivados de rocha granítica, enquanto que, em direção ao sul os solos são derivados de rochas metamórficas. Na depressão intermediária entre ambas cadeias montanhosas, encontram-se solos derivados da deposição de sedimentos finos e também solos calcários. As planícies costeiras, localizadas entre a cordilheira da Costa e a linha litoral, podem ocupar desde dezenas de quilômetros até desaparecer completamente, onde a Cordillera de la Costa cai abruptamente sobre o Oceano Pacífico.

A maior parte dos solos das planícies costeiras são de origem sedimentar, derivados do intemperismo de materiais da adjacente Cordillera da Costa, de modo que sua origem é granítica no setor centro-norte e metamórfica no centro-sul.

### Os solos da Zona Central do Chile

Os solos da Zona Central são os que tem maior valor produtivo para o país. Pelas suas características permitem uma grande variedade de usos sem o requerimento de medidas de conservação. Estão localizadas desde o Valle de Aconcagua até o norte da IX Região, surgindo como ilhas ao longo da planície central (regiões V, VI e VIII, além da Metropolitana de Santiago). Os solos com aptidão moderada para o uso agrícola com medidas intensivas de conservação, estão localizados na depressão intermediária, atingindo a sua maior extensão na província de Talca. No entanto, devido ao uso intensivo, apesar da sua capacidade de resiliência, os solos na Zona Central são os mais afetados do país pelos processos de degradação. A seguir, enumeram-se os problemas principais associados com a degradação do solo no Chile.

### A degradação do solo no Chile

A principais causas de degradação do solo no Chile são:

- **Contaminação por agrotóxicos:** a produção agrícola nacional requer menores taxas de adição de pesticidas em relação a outros países, devido à existência de barreiras naturais que impedem a propagação de pragas e doenças. Apesar disso, em menos de 15 anos, o uso de agrotóxicos triplicou. Destacam-se pelo seu elevado risco ambiental ao serem pouco específicos e altamente persistentes, os pesticidas organoclorados que deixam resíduos no horizonte Ap (na fração orgânica do solo).
- **A Salinização:** nos climas áridos ou semi-áridos, como é o caso do norte do Chile, não existe a possibilidade de uma lavagem natural do solo. A escassa percolação para as camadas mais profundas do solo, juntamente com a alta evapotranspiração, produz um acúmulo de sais no perfil do solo que afeta o crescimento normal e o desenvolvimento de muitas espécies cultivadas. A origem da salinização do solo encontrasse dá frequentemente pelo aumento das áreas irrigadas e pela utilização de tecnologias inadequadas.
- **A selagem do solo e perda do solo fértil** devido à expansão urbana.



Cordilheira da Costa, VII Región del Maule e parte da VIII do Bio-Bío. (WL)



Perfil excavado pela Asociación Constitución. Corresponde a um solo da Cordillera de la Costa, na VII Región del Maule. (WL)



## Colômbia

Área: 1.141.748 km<sup>2</sup>  
População: 46.581.823 habitantes



### O solos da Colômbia

A Colômbia é um país localizado na região noroeste da América do Sul. Limita-se com Venezuela e com o Brasil a leste, ao sul com o Peru e o Equador e a oeste com o Panamá. O clima é tropical e varia de frio extremo em Los Nevados a temperaturas mais quentes ao nível do mar. Existem duas estações secas e duas chuvosas. Geologicamente, o território colombiano faz parte do anel de fogo do Pacífico.

Os principais usos do sol são: florestal (53%), pastagens (30%) e cultivos (5%).

De acordo com as características do relevo e do clima, podem-se distinguir seis regiões: Caribe, Insular, Pacífico, Orinoquia, Amazônia e Andina. Na região do Caribe são encontrados solos que normalmente desenvolvem-se sob clima seco: superficiais e afetados pela presença de sais. Os tipos de solos dominantes são os Acrisols, Cambisols, Ferralsols e Fluvisols.

Nos vales dos rios surgem os solos afetados por inundações permanentes, enquanto que, um pouco mais distante da zona de inundação dos rios, os solos são férteis e bem drenados. Este é também o caso dos solos da região Insular, com exceção das praias e dos solos inundáveis na orla do mar (ocupados por manguezais). Na região do Pacífico, predominam os solos ácidos e pouco desenvolvidos, devido principalmente às altas precipitações da área (podem atingir os 10.000 milímetros anuais); existem duas áreas menos chuvosas, mais férteis e aptas para cultivos. São os vales dos rios Mira e Patía e no Darién Chocoano.

Na Orinoquia, desenvolvem-se os solos mais antigos do país. Predomina o ecossistema de savana tropical, o qual apresenta duas estações muito diferenciadas. Os solos da região da Amazonia são antigos, embora em menor grau que os da Orinoquia. Caracterizam-se por serem de baixa fertilidade na maior parte do território.

Finalmente, os solos da região andina podem ser definidos como jovens, com boa fertilidade e ligeiramente ácidos. Predominam os solos derivados de materiais vulcânicos.

### A ameaça da urbanização

A expansão urbana e o crescimento industrial são processos muito dinâmicos que ocasionam mudanças drásticas no uso do solo, muitas vezes com consequências irreversíveis para a cobertura arbórea e em detrimento da produção de alimentos de origem vegetal e animal. Essa expansão urbana inclui também as áreas que se transformam em zonas de recreação, com urbanização campestre, mansões de luxo e campos de golfe.

Na Colômbia, na atualidade, está se implementando a melhoria do nível de detalhe de levantamentos de solos nas áreas potencialmente aptas para as atividades agrícolas (escala 1:10.000) ameaçadas pela expansão urbana. Ao mesmo tempo, o governo nacional tem estabelecido uma norma pela qual não se pode autorizar as atividades urbanísticas de subdivisão, parcelamento ou edificação de imóveis que impliquem na alteração ou transformação do uso atual dos terrenos. Os solos que estão incluídos nesta normativa, de acordo com a Classificação das terras por sua capacidade de uso do Instituto Geográfico Agustín Codazzi, são os que pertencem às classes I, II e III, assim como aqueles dedicados à preservação dos recursos hídricos, controle de processos de erosão e áreas de proteção florestal (classe VIII).

### As zonas úmidas da Colômbia

As zonas úmidas são todos os ecossistemas cujo componente fundamental é a água, em torno dos quais são formados ambientes intermediários que variam entre permanentemente inundados e normalmente secos, incluindo todos os níveis de diversidade biológica que ali se possa sustentar. Na Colômbia, os fatores como o regime climático, a complexidade orogênica e a localização biogeográfica foram combinados excepcionalmente para permitir que o recurso hídrico seja abundante e modele a paisagem tropical formando rios, estuários, pântanos, lamaçais e lagoas, distribuídos por todas as paisagens e climas, destacando-se as zonas úmidas dos departamentos de Arauca e Casanare. O bom estado de conservação das zonas úmidas permite controlar, em grande parte, as inundações das áreas planas suscetíveis a estes processos, uma vez que funcionam como sistemas amortecedores nas épocas de inverno para as correntes de águas permanentes de grande caudal. No entanto, a pressão exercida pelas atividades humanas, como a pecuária, a agricultura e a mineração tem causado a secagem destas áreas úmidas em várias partes do país.



Área rural onde são desenvolvidas atividades agrícolas. Estas podem propiciar a expansão urbanística. (CC)



Deslizamentos de terra causado pelo desmatamento nas encostas e manejo inadequado da terra. (CC)



## Costa Rica

Área: 51.100 km<sup>2</sup>  
População: 4.301.712 habitantes



### O solos da Costa Rica

A Costa Rica está localizada no istmo da América Central. Limita-se ao norte com a Nicarágua e com Panamá a sudeste. Seu território limita-se com o Mar do Caribe ao leste e a oeste, com o Oceano Pacífico. O clima dominante é tropical úmido com duas estações (chuvosa e seca) com condições térmicas semelhantes ao longo do ano.

A origem geológica da Costa Rica remonta aproximadamente ao período Jurássico, dada às intensas atividades vulcânicas e aos processos de erosão. A topografia caracteriza-se pela presença de dois eixos montanhosos centrais: a cordilheira Vulcânica do Norte e a cordilheira de Talamanca. Estes dois eixos cobrem a pequena extensão do país de montanhas e vales e determinam, com fortes características, a divisão do país em três regiões fisiográficas e climáticas.

Os usos mais importantes do solo são: florestal (51%), pastagem (25%) e agricultura (10%).

Na Costa Rica, existe uma grande diversidade de solos, devido principalmente às variadas formas de relevo e à abundância de microclimas. Nas cordilheiras vulcânicas de Guanacaste, Central e em grande parte do Valle Central predominam os Andossolos derivados de cinzas vulcânicas. Nestas áreas, a transformação do vidro vulcânico e dos silicatos de ferro e alumínio levaram à formação de solos de textura média, ricos em matéria orgânica, pretos, estruturados, profundos, bem drenados e com baixa saturação de bases.

Em todo o território, especialmente nas planícies do Atlântico e do Pacífico, aparecem os Cambisols, com pouco desenvolvimento e ricos em bases, onde são cultivados produtos de exportação, como banana, dendê e arroz. Na bacia do rio Tempisque podemos encontrar os Vertisols, com altas concentrações de bases e baixo teor de enxofre, onde o arroz é cultivado. Nas planícies recentes encontramos os Fluvisols. Com caráter local, podem-se encontrar solos altamente produtivos (como os Phaeozems). Outro grupo, também presente, embora menos representativo, é o dos Histossolos. Estes surgem em algumas áreas costeiras e áreas altas da cordilheira de Talamanca. Nestes solos, a matéria orgânica acumula-se devido à falta de oxigênio no solo e por uma combinação de baixas temperaturas e acumulação de água nos pântanos em grandes altitudes. Finalmente, na floresta nublada de altitude podemos encontrar os Podzóis, enquanto nas zonas costeiras aparecem os Arenossolos.

### O uso do solo e políticas nacionais

O território nacional é algo mais que o solo e as comunidades animais e vegetais que se desenvolvem sobre ele. Toda a atividade humana estabelecida envolve aspectos econômicos que tem repercussão sociais e ambientais. O uso do território da Costa Rica nas últimas décadas foi determinado principalmente por alguns conflitos políticos que visaram aumentar a produtividade agropecuária, por vezes sem um planejamento adequado e sem levar em conta o uso sustentável do solo. Desde os primeiros relatos do Estado da Nação, foi documentada a expansão da fronteira agrícola que foi produzida em resposta aos modelos produtivistas sem planejamento, tal como o incentivo de crédito para a criação de gado entre 1960 e 1990, o que levou à conversão massiva de terras de cobertura florestal em áreas de pastagem. Outras consequências adversas de políticas deste tipo são a degradação das áreas de recarga dos aquíferos, a erosão dos solos em algumas áreas, o assoreamento dos reservatórios e os danos aos ecossistemas costeiros. Além disso, a falta de planejamento também tem causado, especialmente no Valle Central, a perda dos solos mais produtivos, por conta da expansão urbana.

### A produção orgânica da Costa Rica

A produção orgânica na Costa Rica tem aumentado em todo o território nacional, principalmente pela iniciativa dos pequenos produtores. Muitos deles têm identificado a agricultura orgânica como uma alternativa para enfrentar os custos elevados de produção que foi trazido pelo processo da globalização, enquanto que outros produtores aplicaram esta prática para proteger a biodiversidade, preservar o meio ambiente e manter as suas próprias terras livres de contaminação. A agricultura orgânica surge como um processo sustentável e econômico que trabalha em harmonia com a natureza. Baseia-se no uso de materiais orgânicos e minerais naturais para melhorar a estrutura e o teor de nutrientes no solo. De tal forma, são mantidos em equilíbrio os níveis de oxigênio e água para as plantas, além de recuperar os solos. Na Costa Rica, a agricultura orgânica técnica foi introduzida em 1984 como processo simultâneo ao cultivo de amora, café e hortaliças. Atualmente tem sido disseminada por todo o país e alguns produtos orgânicos são de exportação. Em 1997 entrou em vigor um regulamento que certifica e regula a produção e a comercialização desses produtos.



Desmatamento em áreas elevadas de Cotón, fronteira com Panamá, próximo ao Parque Internacional La Amistad. (GD)



Feira verde de Aranjuez, venda de produtos orgânicos em San José. (FG)



## Cuba

Área: 109.884 km<sup>2</sup>  
População: 11.247.925 habitantes



### O solos de Cuba

A Cuba é um país assentado num arquipélago do Mar das Antilhas, também conhecido como Mar do Caribe. O clima de Cuba é tropical, moderado pelos ventos alísios, com estação seca (novembro a abril) e estação chuvosa (maio a outubro). Geologicamente a ilha é composta de rochas carbonáticas em mais de 60% de seu território, onde as formações cársticas dominam grandes áreas do relevo e o subsolo. O país é predominantemente plano, com quatro cadeias de montanhas localizadas a oeste, centro e leste (duas delas) da ilha.

Os usos principais da terra são: agrícola (38%), florestal (28%) e pastagem (25%).

A formação dos solos de Cuba ocorreu durante duas fases distintas: a dos arcos insulares e a da plataforma. A formação dos arcos insulares corresponde atualmente aos quatro maciços de montanhas. Nestas regiões, sob clima chuvoso e altas temperaturas, formaram-se solos muito evoluídos, profundos e dessaturados (Acrisols, Alisols e Ferralsols).

Os processos de tectogênese fizeram com que as rochas sedimentares aflorassem na superfície, sobresaindo o material calcário do período Neógeno que esteve exposto durante o Quaternário a processos de peniplanação e pediplanação.

Nas planícies formaram-se os solos vermelhos profundos sobre as rochas calcárias duras (Nitissols, Ferralsols e Lixissols), enquanto que nos pediplanos surgem solos em relevos jovens, sobre rochas mais antigas que as do período Neógeno, com a formação de Cambisols e Phaeozems. Os Alisols e Cambisols são abundantes nas áreas montanhosas de Guaniguanico, Guamuhaia, na Serra Maestra e no conjunto Nipe-Sagua-Baracoa. Os Nitissols e Ferralsols encontram-se distribuídos na planície da Havana-Matanzas, Ciego de Ávila, assim como nos sistemas montanhosos da Sierra Maestra. Os Vertisols e os Gleysols são típicos do norte das províncias centrais e do Valle del Cauto na região oriental do país.

De tal forma que num território relativamente pequeno como este, encontra-se uma ampla variedade de tipos de solo. O país conta com Levantamentos de Solos em escalas 1:250.000; 1:50.000 e 1:25.000.

### A salinização dos solos cubanos

Em Cuba, o uso das práticas agrícolas inadequadas tem causado a salinização de parte dos solos, na sua maioria devido a causas humanas. A exploração contínua dos solos com problemas de drenagem e o uso de água com certos níveis de sais para a irrigação das áreas de arroz na província de Granma, tem aumentado o teor de sais no solo causando a diminuição das áreas férteis e dos rendimentos dos cultivos de arroz. Em solos com problemas de drenagem e com lençol freático elevado, a adição de alguns fertilizantes tem causado a salinização secundária do solo. A redução do crescimento dos cultivos, o baixo rendimento e a má qualidade da produção agrícola são consequências comuns nos solos fortemente afetados pela salinização. Os produtos mais afetados por esta problemática são: a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), as pastagens e o arroz (*Oriza sativa*), apesar de que a salinização se estende a outros cultivos. Em relação ao solo, o fenômeno não apenas acontece nos Solonchaks; existe salinidade potencial também nos Gleysols, Vertisols e Fluvisols e inclusive em alguns Cambisols e Ferralsols. Existe um Programa Nacional de ação contra este fenômeno.

### A agricultura urbana em Cuba

Em Cuba existe um exitoso movimento de agricultura urbana que contempla a produção de alimentos frescos em qualquer espaço livre do perímetro urbano. Esta forma de produção baseia-se em três princípios: no uso de fertilizantes orgânicos e meios biológicos de proteção dos cultivos; no uso racional dos recursos locais e na comercialização direta dos produtos aos consumidores. Existem diferentes programas, incluindo floricultura, frutas e criação de aves e animais domésticos, entre outros. Sua prioridade principal é o fornecimento de hortaliças e condimentos frescos durante todo o ano para a população, por meio de técnicas agroecológicas. Destacam-se entre as técnicas o uso dos chamados organopônicos, que são canteiros elevados com terra fértil (em muitas ocasiões, transportada) e uma fonte de adubo orgânico em partes iguais. Em 2010 foram produzidos deste modo, 1,5 milhões de toneladas de produtos hortícolas e condimentos frescos. Recentemente o país iniciou a denominada agricultura peri-urbana com o objetivo, desta vez, de aproximar a produção de alimentos à população por meio da aplicação de muitos dos princípios da agricultura urbana e sempre em função das demandas e interesses locais.



Solo salino-sódico, na província de Guantánamo, Cuba. (OMU)



Culturas organopônicas: canteiros com terra fértil e adubo orgânico numa área urbana de Cuba. (OMU)



## Equador

Área: 256.370 km<sup>2</sup>  
População: 14.666.055 habitantes



### O solos do Equador

O Equador é um país localizado na região noroeste da América do Sul. Limita-se ao sul e a leste, com Peru, ao norte com a Colômbia, e a oeste com o Oceano Pacífico. Devido à presença da cordilheira dos Andes, à sua localização equatorial e à influência do mar, apresenta duas estações definidas: a úmida e a seca. O território do Equador situa-se em torno de uma seção vulcânica da cordilheira dos Andes, com mais de oitenta vulcões e topos superiores a 6.000 m de altitude, divididos em duas cadeias, uma ocidental e outra oriental; ao oeste dos Andes encontra-se o golfo de Guayaquil junto a uma planície aluvial e a leste tem a região amazônica. O país também inclui o arquipélago de Galápagos.

Os usos mais importantes do solo são o florestal (41%), pastagem (20%) e agricultura (10%).

A distribuição e as características de seus solos estão fortemente correlacionadas com a diversidade fisiográfica, climática e paisagística do país. São diferenciadas quatro zonas: a litoral, que compreende os territórios localizados a menos de 1.300 m de altitude nos contrafortes ocidentais dos Andes até a superfície relativamente plana das terras baixas, assim como a Cordilheira Costeira. Os solos principais desta região são de origem aluvial e são a base, entre outros, dos cultivos principais de exportação produzidos no país (banana, cacau e café). A região da Serra inclui as áreas localizadas acima dos 1.300 m de altitude, tanto da cordilheira oriental quanto da ocidental dos Andes. A grande maioria dos solos da região são de origem vulcânica, procedentes de cinzas, principalmente e cobrem praticamente todas as paisagens montanhosas dominantes. São aptos para cultivos de altitude, como os cereais cevada, aveia e trigo, bem como o milho e os tubérculos andinos, como as batatas. Também compreende numerosos espaços protegidos e remanescentes da vegetação nativa. A região Amazônica ou transandina compreende os territórios localizados abaixo dos 1.300 m nos contrafortes orientais dos Andes. Desenvolvidos de rochas antigas, são solos lavados, com liberação de óxidos de ferro e alumínio e portanto, tóxicos e não aptos para o uso agropecuário. No arquipélago de Galápagos, os solos são marginais e de não favorece as atividades agrícolas ou pecuárias. Os Acrisols, Ferralsols, Cambisols, Litosols, Nitossols e Andossols são os tipos de solos mais comuns no Equador.

### Os solos do páramo equatoriano

Entre o limite superior de altura das florestas andinas (entre 3.000 e 3.500 m de altitude) e o limite inferior das neves perpétuas (entre 4.800 e 5.000 m de altitude), surge nos Andes setentrionais e equatoriais um ambiente particular: o páramo. Estes pastos de altitude, dominados por gramíneas de penachos, enfrentam um clima frio e úmido. Os páramos cobrem uma área de 12.560 km<sup>2</sup>, que corresponde a 5% da superfície do país.

Os solos dos páramos desenvolveram-se principalmente sobre depósitos piroclásticos resultantes das erupções de numerosos edifícios vulcânicos da denominada "avenida dos vulcões" dos Andes setentrionais, com mais de cem vulcões (cinco deles em atividade). Geralmente, trata-se de Andossols, embora sua morfologia e propriedades variem consideravelmente de acordo com os principais fatores da pedogênese, como a idade (diferenciando-se claramente os solos desenvolvidos sobre depósitos recentes daqueles mais antigos), a natureza e a composição química dos materiais e as condições climáticas. Devido à sua composição, com abundância de vidros, a alteração dos depósitos vulcânicos é muito rápida e leva à formação de complexos alumínio-orgânicos e/ou de minerais pouco cristalizados como alofanos e imogolitas. Os solos do páramo apresentam globalmente altas capacidades de retenção de água (de 60 a 200%) e, muitas vezes, acumulações significativas de matéria orgânica.

Devido à importante retenção de água dos seus solos, o páramo funciona como um meio de regulação dos fluxos hídricos: armazenamento durante o período úmido e liberação progressiva no período seco. O alto poder de infiltração desses solos controla também a intensidade das enchentes. No entanto, a função dos páramos é igualmente importante no que diz respeito à disponibilidade de água para a população dos vales andinos. Pode-se considerar que uma grande parte dos habitantes do Equador depende da água armazenada nos páramos para o seu abastecimento doméstico. Além do mais, o funcionamento hídrico dos páramos desempenha papel importante no abastecimento das centrais hidrelétricas.



Vulcão e recentes fluxos de lava da Ilha Isabela (Galápagos). (DR)



Vegetação típica dos solos da Serra. (AGA)



## El Salvador

Área: 21.041 km<sup>2</sup>  
População: 6.216.143 habitantes



### O solos de El Salvador

El Salvador é um país localizado na América Central. Devido à sua pequena extensão territorial, é o país mais populoso da América continental. Limita-se ao norte com Honduras, ao sul com o Oceano Pacífico e a oeste com a Guatemala. El Salvador está localizado na zona climática tropical com condições térmicas pouco variáveis ao longo do ano. As principais rochas que deram origem aos solos de El Salvador são as lavas basálticas, além das cinzas vulcânicas ácidas, e outros tipos de materiais não consolidados.

Os usos principais do solo são agrícola (44%), pastagem (31%) e silvicultura (14%).

A maioria dos solos que formam o território de El Salvador são de origem vulcânica e aluvial. Podem-se distinguir vários grupos de solos em função do seu desenvolvimento. Os solos jovens pouco desenvolvidos são formados por materiais arenosos de origem marinha, localizados nos cordões litorais (Regossols halomórficos); materiais de origem aluvial recente (nas planícies de rios e lagoas) e vulcânicos (Andossols). Estes últimos ocupam desde áreas planas até encostas íngremes das saias dos vulcões.

Também encontramos solos que evoluíram pelo efeito dos processos erosivos (Leptosols). Os Vertissols salvadoreños são muito argilosos e pretos, pegajosos e plásticos quando umedecidos, enquanto que quando secos, são muito duros e apresentam fendilhamento. Aparecem nas áreas cobertas por vegetação arbustiva.

Dentre o grupo de solos com um nível mais elevado de desenvolvimento, podemos encontrar os Luvisols, coloridos pela presença de minerais de ferro de diferentes tipos e graus de oxidação, ao longo das encostas médias a íngremes, com textura superficial franco-argilosa e subsolo argiloso. São muito pedregosos e sua origem é a lava ou lodo vulcânicos. Também podemos encontrar Acrisols e Nitossols, semelhantes aos anteriores embora mais profundos, antigos, mais ácidos e consequentemente mais pobres em nutrientes. Estes últimos estão distribuídos nos enclaves da região norte e das terras mais altas, nas montanhas. Embora possam ser aptos para cultivar pequenas áreas com flores, hortaliças e frutas, o seu uso mais adequado é o florestal.

### A degradação dos solos salvadoreños e o ordenamento do território

Em El Salvador a erosão do solo é causada por diversos agentes: pela chuva (erosão hídrica) e pelas condições de uso e manejo do solo pelo homem (erosão acelerada pelo homem). Muitas áreas que anteriormente eram ocupadas por florestas nativas foram desmatadas e convertidas em culturas anuais, o que resultou em perda do solo.

Aproximadamente 65% da superfície nacional apresenta solos degradados por efeito da combinação de erosão, práticas inadequadas de manejo do solo e desmatamento. A degradação do solo produz ao mesmo tempo a piora das condições sócio-econômicas e ambientais. Apenas um terço das terras são adequadas para a agricultura intensiva mecanizada. Nelas principalmente cultivam-se: cana-de-açúcar, arroz, frutas, café, milho e feijão. A produção de café e a cana-de-açúcar é destinada principalmente à exportação.

No entanto, dadas às características dos solos, outro terço das terras aptas para a agricultura poderiam ser destinadas a uma agricultura muito produtiva e sustentável, implementando sempre boas práticas agrícolas, evitando, por exemplo, o cultivo nas encostas íngremes. Nas áreas não adequadas para o cultivo, como as urbanas ou as de preservação dos corpos d'água (rios, lagos e lagoas), os solos requerem vegetação permanente para proteção, como as florestas nebulosas (que se nutrem da água que forma a neblina) ou as florestas de galeria (nos rios).

Uma ordenação territorial adequada que desse prioridade à utilização de levantamentos de solos em diferentes escalas de intervenção, permitiria melhorar os rendimentos produtivos da agricultura e, ao mesmo tempo, otimizar o uso do recurso solo. Neste contexto, considera-se necessário concentrar esforços para enfrentar os graves problemas de deterioração dos recursos naturais, a baixa rentabilidade agrícola e a pobreza rural.



Imagem da Cidade de San Salvador obtida por meio de satélite. (NASA)



Vista do vulcão Usulután a partir das planícies litorais do Pacífico em El Salvador. (LS)



## Guatemala

Área: 108.900 km<sup>2</sup>  
População: 15.073.375 habitantes



### O solos da Guatemala

A Guatemala é um país localizado na América Central. Limita-se a oeste e ao norte com o México, a leste com o Belize e com o golfo de Honduras, a sudeste com Honduras e El Salvador e ao sul, com o Oceano Pacífico. O Clima na meseta central é subtropical enquanto que nas regiões costeiras é tropical. A estação chuvosa ocorre entre maio e novembro. O território da Guatemala está localizado sobre três placas tectônicas, numa faixa terrestre geologicamente muito ativa, como revela a sua atividade vulcânica atual.

Os usos mais importantes do solo são o florestal (35%), agricultura (23%) e pastagem (18%).

A seguir são descritos os grupos de solos mais representativos na Guatemala. Os Acrisols estão localizados principalmente na parte central e norte do altiplano ocidental, ao norte dos departamentos de El Quiché e Huehuetenango, dentro da denominada *Franja Transversal del Norte*, ao leste do departamento de Izabal e ao sul do lago com o mesmo nome. Os Andosols localizam-se nas áreas de maior altitude dentro do altiplano ocidental, em parte das planícies do litoral sul e em uma pequena parte do planalto central. Os Cambisols encontram-se ao sul da falha do Rio Motagua, no departamento de El Progreso Zacapa, ao leste do Departamento de Petén, na Sierra de las Minas, ao norte do Rio Motagua, no centro-leste do país e nas montanhas cársticas de Alta Verapaz.

Por outro lado, encontram-se os Gleysols nas proximidades do *Río de la Pasión*, no Departamento de Petén e no vale do Polochic, na Costa do Pacífico, nos departamentos de Escuintla, Suchitepéquez e Retalhuleu. Em direção ao Sul e Sudeste, nos departamentos de Santa Rosa Jalapa e Jutiapa, encontram-se os Nitisols, os quais surgem nas superfícies tanto planas ou suavemente onduladas quanto nos relevos acidentados.

Por ultimo, os Regosols estão localizados principalmente na costa do Atlântico, no departamento de Izaba, no litoral sul do país e nas proximidades de alguns vulcões. Os Vertisols encontram-se no norte e centro-sul de Petén, no *Valle de Monjas* (Jalapa), o no vale de Ipala (Chiquimula), na parte central do vale de *La Fragua* (Zacapa), *Agua Blanca* e Asunción Mita (Jutiapa).

### Os recursos minerais da Guatemala

O solo, muito fértil, é o recurso mais importante do país. Alguns dos recursos minerais disponíveis na Guatemala, se bem que nem todos são suficientemente explorados, são: ferro, petróleo, níquel, chumbo, zinco e cromo; também foram descobertos depósitos de urânio e mercúrio. No altiplano do departamento de San Marcos, desde o ano 2006 o ouro é explorado. As planícies de Petén representam uma área de floresta tropical úmida, com uma altitude média de 100 m, onde existem depósitos de gesso, carbonatos e petróleo. A Cordilheira Central, com vocação predominantemente florestal, cobre um terço do território. Faz parte do sistema que se desenvolve desde Chiapas (México) até as ilhas do Golfo de Honduras. Os minerais não metálicos mais frequentes nesta área são: barita, mármore serpentina e calcário, xistos, jade, talco e rochas industriais. Esta região também conta com a maior concentração de minerais metálicos do país, incluindo entre eles: chumbo, cobre, antimônio, zinco, prata, ouro e níquel. A Província Vulcânica cobre uma área aproximada de 25.000 km<sup>2</sup>. Nela encontram-se os 40 vulcões que fazem parte dos 324 focos eruptivos identificados em todo o país. A elevação varia entre 50 e 300 m de altitude. Nesta região encontram-se extensos depósitos de pedra-pomes, tufo e lavas, (minerais não-metálicos). Entre os minerais metálicos ocorrem o chumbo, zinco, prata e ouro. Finalmente, a Planície costeira do Pacífico compreende uma faixa de cerca de 50 km de largura, que se estende ao longo da costa e é composta de produtos de material derivado das terras altas vulcânicas. Aqui encontram-se areias, cascalhos e pedra-pomes e, também, sedimentos arenosos com alto teor de ferro e titânio (como as areias pretas titaníferas das praias do oceano Pacífico). O potencial mineiro do país coincide em grande parte com as regiões com maior índice de pobreza, caracterizadas pelos solos rochosos com cobertura vegetal escassa ou inexistente, tal como as áreas remotas com pouco desenvolvimento econômico e alta taxa de desemprego.

### O solos vulcânicos da Guatemala

Os solos de origem vulcânica encontram-se no altiplano da cordilheira central do país, onde vive cerca de 40% da população. Nestes territórios habita a maioria da população indígena. Do ponto de vista econômico, sobre os solos vulcânicos desenvolvem-se grande parte da produção agrícola de subsistência, porém também coexiste uma grande parte da produção agrícola (horticultura) de exportação.



Paisagem no altiplano ocidental de Guatemala a 2.740 m de altitude num Andosol. (HTV)



Perfil de um Andosol no planalto ocidental de Guatemala. A camada branca no centro do perfil é cinza vulcânica que foi sido enterrada durante o desenvolvimento do solo após da erupção. (HTV)



## Haiti

Área: 27.700 km<sup>2</sup>  
População: 10.123.787 habitantes



### Os solos do Haiti

O Haiti está situado na parte ocidental da ilha A Espanhola. O terreno pode ser qualificado como montanhoso e íngreme, com vales profundos e planícies costeiras. O clima varia de tropical a semi-árido. Ocorrem duas estações chuvosas: uma de abril a junho e a outra de outubro a novembro. A geologia geral é composta de rochas calcárias e outras rochas ígneas intermediárias, nas montanhas e colinas. O Haiti sofre de secas e inundações periodicamente, devido às tempestades tropicais e furacões.

As terras aráveis correspondem a 49% da área do país. Os cultivos permanentes ocupam menos de 15% da terra arável. As principais culturas agrícolas são café, manga, cana-de-açúcar, arroz, bananas, milho, sorgo, feijão e cacau. Também são cultivadas raízes ou inhames, frutas e verduras. As florestas encontram-se principalmente em dois parques e uma reserva florestal e ocupam menos de 4% do território (quando estima-se que originalmente cobriam 85% do território). A maioria da área florestal foi explorada (para madeira e carvão). As pastagens ocupam 18% do território.

O Haiti apresenta quatro grupos de solos principais que são, em ordem de extensão decrescente, Cambisols, Lixisols, Vertisols e Luvisols. Os Cambisols e Lixisols são encontrados principalmente nas montanhas e colinas. Os Luvisols e Vertisols estão localizados nos vales e nas planícies. Em geral, o regime de temperaturas dos solos podem ser qualificados de arídico, isotérmico ou isohipertérmico. O regime de umidade do solo é ústico ou údico. A mineralogia é mista ou esmectítica.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o Haiti é um dos países mais degradados do mundo. Estima-se que mais de 98% da floresta nativa foi eliminada. O desmatamento intenso devido às causas históricas levou a aceleração dos processos erosivos. A água proveniente das chuvas não é retida pelo solo, e consequentemente, as bacias hidrográficas sofrem tanto de inundações destrutivas quanto de caudais baixos. As principais limitações dos solos da região são a baixa fertilidade, a acidez, a erodibilidade, a pouca profundidade e encostas íngremes.

### A degradação dos solos haitianos

Desde 1492, quando Colombo desembarcou na Ilha A Espanhola, o Haiti tem sofrido uma perda constante do solo, primeiro sob o domínio espanhol, quando parte da cobertura florestal foi removida para a plantação de cana-de-açúcar, e, depois, sob a colonização francesa, que eliminou a floresta para o cultivo de café, anís e tabaco.

Após a independência, os especuladores e fazendeiros das classes altas expulsaram aos camponeses dos vales férteis, os quais foram forçados a assentarem-se nas áreas rurais mais arborizadas, onde cultivaram de forma intensiva o milho, o feijão e a mandioca. Este uso agrícola, aliado com a intensa exploração dos recursos florestais (principalmente madeira para o combustível) acelerou o desmatamento, levando à perda de solo. A pobreza e a instabilidade social histórica têm agravado o problema, que tem se intensificado nas últimas décadas. De fato, até hoje, 75 % das necessidades energéticas domésticas do país são supridas pela biomassa (lenha), fazendo com que a área florestal limitada remanescente continue a diminuir, sem tempo de regenerar-se. Também se mantém o predomínio de uma agricultura de subsistência e tradicional, onde os solos não têm um período de recuperação; uma vez esgotados, os agricultores migram para terras novas.

Da predisposição natural do país à erosão, devido à sua acidentada topografia e à presença de chuvas intensas, soma-se o fator antropogênico, levando à degradação do solo (isto é, à perda de suas propriedades químicas e físicas, bem como sua capacidade produtiva). Estima-se que cerca de 4.200 ha de solo são arrastados a cada ano.

No total, 75% dos solos anteriormente férteis perderam sua capacidade produtiva.

O Haiti tem diminuído sua biodiversidade, degradado suas fontes de água e aumentado sua vulnerabilidade a desastres naturais; no entanto, a degradação dos solos e a perda do solo fértil são considerados como os problemas ambientais mais graves que enfrenta o país.



Imagem de satélite mostrando o desmatamento no Haiti (esquerda), na fronteira com a República Dominicana (direita). (NASA)



Erosão na zona de Bas-Ravine, parte norte do Cabo Haitiano. (RK)



## Honduras

Área: 112.492 km<sup>2</sup>  
População: 8.215.300 habitantes



### O solos de Honduras

Honduras localiza-se ao centro da América Central e limita-se a norte e a leste com o Mar do Caribe, a sudeste com a Nicarágua, ao sul com o Golfo de Fonseca e El Salvador, e a oeste com a Guatemala. Situado numa posição tropical, conta com uma estação seca (dezembro - abril) e uma estação chuvosa (maio - julho). O território hondurenho é montanhoso, com encostas acentuadas e altitudes inferiores a 1.800 m. Considerando as formas de relevo, o território hondurenho pode ser dividido em três zonas: Planície Costeira do Norte, Planície Costeira do Sul e Região Montanhosa (composta pelas cordilheiras do norte, centro e sul).

Os principais usos do solo são: florestal (47%), pastagens (16%) e agricultura (13%).

A maioria dos solos são formados a partir de rochas sedimentares, estão pouco desenvolvidos e localizados em encostas íngremes e apresentam baixo conteúdo de matéria orgânica. Estes solos correspondem principalmente à região montanhosa do país, onde habita a maioria da população rural. Os solos em Honduras são classificados de acordo com o seu regime de umidade, em úmidos, secos, zonas pantanosas e rochas (sem solo). A fertilidade é variável, sendo os mais aptos para a agricultura os aluviais pouco profundos de origem vulcânica, localizados nos vales entre montanhas ou nas extensas planícies costeiras, onde concentram-se as principais plantações de café e dendê. De acordo com o WRB os solos hondurenhos podem ser classificados em Gleysols, Cambisols, Fluvisols, Nitisols, Arenosols e Kastanozems.

Em Honduras as encostas representam mais de 80% do território; o grau elevado de inclinação influencia nas características físicas e químicas dos solos. São nestas encostas que habita 60% da população total e onde é produzido mais de 75% dos grãos básicos (milho e feijão) e 67% das culturas perenes (especialmente o café). Devido ao relevo montanhoso, ao desmatamento, ao uso inadequado de agrotóxicos e uma rede de estradas mal planejadas os processos de degradação do solo foram acelerados. Uma das consequências da degradação é a sedimentação dos corpos de água, que, além de piorar a qualidade da água, diminui sua capacidade de amortecimento (em relação às inundações, por exemplo) e de armazenamento.

### O efeito do gado bovino nas encostas hondurenhas

Honduras é um dos países mais pobres da América Latina, onde os problemas ambientais relacionados com a desertificação e a seca favorecem situações de pobreza, migrações, insegurança alimentar e instabilidade política.

A maioria da população rural subsiste graças ao cultivo de grãos básicos (milho e feijão) e portanto dependem da manutenção da produtividade da terra. O uso do solo sem técnicas adequadas de manejo, a falta de recursos econômicos e falta de conhecimento fazem que este se torne muito vulnerável às ameaças de caráter tanto natural quanto antrópico.

O agricultor hondurenho tende a diversificar a produção de cultivos em seus pequenos sítios, incluindo o gado bovino, na maioria dos casos sem contar com a infra-estrutura e as fontes de alimento necessárias. O pastoreio do gado bovino pode gerar alterações significativas nas propriedades físicas do solo, como a compactação devido ao pisoteio, a qual reduz a infiltração de água e o desenvolvimento radicular das plantas. A cobertura arbórea também se vê afetada quanto a sua capacidade de regeneração, uma vez que o gado consome os brotos das plantas, diminuindo assim o aporte da matéria orgânica (biomassa) ao solo e favorecendo os processos de erosão.

Durante a estação seca (dezembro a maio), o pasto verde do qual se alimenta o gado, torna-se escasso. Como estratégia, os agricultores pastoreiam o gado nas áreas com resíduos de cultivos.

As instituições governamentais, os centros de investigação e as agências de desenvolvimento, responsáveis pela elaboração de critérios técnicos e de assessoramento sobre sistemas atuais do manejo pecuário, recomendam a implementação de sistemas de parcelas, assim como a introdução de espécies forrageiras anuais e perenes de alto potencial produtivo em áreas pequenas. Estas espécies poderiam ser plantadas em parte da parcela, em combinação com os pastos permanentes. É necessário determinar a capacidade de carga do solo antes de semear as pastagens permanentes. Também deve ser considerado o declive (geralmente podem ser cultivadas as áreas com declives inferiores a 45%).



Floresta tropical hondurenha. (DG)



Gado em San Ramón, Choluteca. (ZC)



## Jamaica

Área: 10.991 km<sup>2</sup>  
População: 2.709.291 habitantes



### O solos de Jamaica

A Jamaica é uma ilha no Mar do Caribe e faz parte das Grandes Antilhas. Está localizada ao sul de Cuba e a oeste do Haiti e da República Dominicana. O clima na Jamaica é tropical, quente e úmido, sendo mais ameno nas áreas montanhosas. Pela sua localização geográfica e topografia não sofre com tanta frequência, a presença de furacões como as ilhas vizinhas.

Os principais usos do solo são: agrícola (41%), florestal (37%), terras aráveis (12%) e cultivos permanentes (10%).

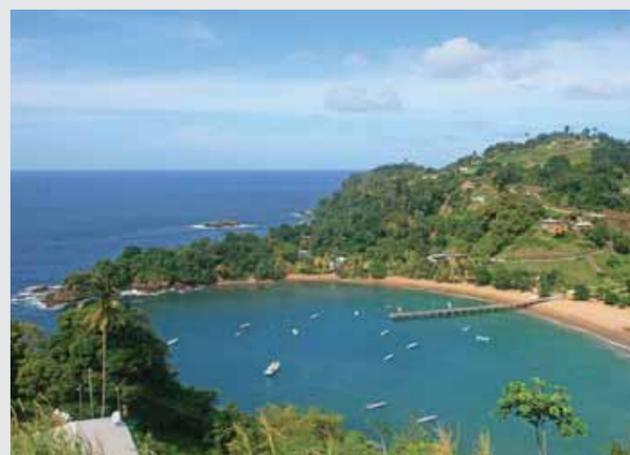
A ilha está principalmente composta por terreno montanhoso rodeado por uma pequena faixa de costa. As cidades situam-se na planície costeira. Montanhas e mesetas cobrem a maior parte do comprimento da ilha. Os picos mais altos estão situados nas Montanhas Azuis. A ilha é dividida em três principais regiões fisiográficas: a planície central, que ocupa metade da ilha, com rochas calcárias sobre um substrato de origem metamórfico e ígneo; as elevações orientais, com um relevo muito escarpado dominado por arenitos e conglomerados; e as planícies costeiras da região meridional. Os solos superficiais de muitas áreas de montanha são particularmente suscetíveis à erosão. Os solos aluviais das planícies costeiras, compostas principalmente por argilas, sustentam as culturas principais: citros, cana-de-açúcar e banana. Segundo a classificação WRB os tipos de solos mais comuns na Jamaica são os Acrisols, seguido dos Vertisols nas áreas costeiras.

### O desmatamento vinculado à mineração, agricultura e turismo

A Jamaica tem um triste recorde de taxa de desmatamento devido principalmente ao rápido crescimento da indústria turística e da expansão da agricultura, principalmente das plantações de café. As práticas agrícolas inadequadas sobre as terras onde antes cresciam as florestas, desencadeiam processos erosivos que enchem de sedimentos as reservas de água e produzem inundações. A sinergia destes acontecimentos leva à degradação dos recifes de coral que rodeiam a ilha. A exploração das minas de bauxita é a principal causa do desmatamento na Jamaica. Esta atividade destrói grandes áreas de floresta porque a extração de bauxita nas minas acontece a céu aberto, o que exige a remoção total da vegetação e do horizonte superficial do solo.



Paisagem das Montanhas Azuis, Jamaica. (W)



Bahia de Parlatuvier, Trinidad e Tobago. (Ch)

O vulcão Soufrière Hills (Montserrat), em plena erupção, em 1995. Geologicamente as Antilhas Menores são em sua maioria, ilhas jovens de origem vulcânica ou coralina. (NSF)

## Antilhas Menores

Área: 13.012 km<sup>2</sup>  
População: 3.735.636 habitantes



### Os solos das Antilhas Menores

As Antilhas Menores representam um agrupamento de pequenas ilhas localizadas no Mar do Caribe formando um arco que se estende do leste de Porto Rico até a costa ocidental da Venezuela. O clima é tropical, com presença de ventos alísios ao longo do ano. Existem duas estações: a seca, de dezembro a junho e a úmida, de junho a novembro, com presença de furacões.

As Antilhas Menores coincidem com a borda exterior da Placa do Caribe, e muitas das ilhas formaram-se como o resultado da subdução de uma ou várias placas do Atlântico por debaixo da placa do Caribe. As ilhas são divididas em dois arcos insulares: as do arco exterior com relevo pouco acidentado, são formadas principalmente por rochas calcárias sobre rochas vulcânicas, enquanto que as do arco interno são montanhosas e de origem vulcânica. A geografia física das Antilhas Menores é muito variada. Algumas ilhas como Anguila e Aruba são planas, enquanto que outras, como Dominica e Granada apresentam relevos mais irregulares.

A zona apresenta uma grande diversidade ambiental que se reflete na grande variedade de solos existentes. Existem 11 grupos de solos de acordo com a classificação WRB. Por ordem decrescente de extensão, encontram-se Cambisols, Ferralsols, Luvisols, Gleysols, Planosols, Lixisols, Phaeozems, Alisols, Kastanozems (exclusivos das Ilhas Virgens), Andosols e Regosols. Em geral, os solos têm um regime de temperatura de solo térmico ou isohipertérmico, um regime de umidade ústico ou údico e são de mineralogia mista.

As principais limitações dos solos da região são a pouca profundidade e o declive acentuado de suas encostas.





## México

Área: 1.964.375 km<sup>2</sup>  
População: 114.793.341 habitantes



### Solos do México

O México é um país localizado na região meridional da América do Norte. Limita-se ao norte com os EUA, a sudeste com Belize e Guatemala, a leste com o Golfo do México e o mar Caribe e a oeste com o Oceano Pacífico. No México, encontra-se uma ampla diversidade edáfica, resultante da diversidade climática (de árido a quente e úmido), fisiográfica e geológica-litológica. Por situar-se em uma área com alta atividade tectônica, o México possui numerosas falhas, zonas sísmicas e vulcões.

Os principais usos do solo são: pastos (39%), florestal (33%) e terras aráveis (14%).

No México, são representados 25 dos 30 grupos de solos de acordo com a WRB. Os solos dominantes por sua extensão são os Leptosols, os Regosols, os Phaeozems e os Calcisols. Os Leptosols encontram-se em todo o país, cobrem 27% da superfície e predominam nas zonas montanhosas e nas planícies e colinas cársticas da península de Yucatán. Os Regosols representam 14% da área do país, sendo mais comuns nas regiões montanhosas e nas colinas das zonas áridas e semi-áridas.

Os Phaeozems ocupam 12% do território e se desenvolvem nas planícies subhorizontais e onduladas. Os Calcisols ocupam 10% da superfície, estão localizados em climas áridos, semiáridos e em menor proporção nos climas quentes subúmidos; são de grande importância para a agricultura e o seu potencial nesta atividade é condicionado pela disponibilidade da água. Os Luvisols ocupam 9% das áreas semiáridas ao norte e ao centro do território, ao centro-sul da Sierra Madre Occidental e nas áreas de clima quente subúmido da Península de Yucatán. Os Vertisols cobrem 9% e podem ser de origem aluvial ou residual, localizados nas planícies e nos sopés das montanhas, como as grandes planícies costeiras do Golfo do México e do Oceano Pacífico, ao sudoeste da Península de Yucatán, o baixio guanajuatense e o Graben de Chapala.

Os Cambisols representam 5%; encontram-se associados aos Leptosols, principalmente na região noroeste, a oeste e sudoeste das planícies costeiras do Oceano Pacífico.

### As ameaças para os solos mexicanos

Em 2002, a Secretaria de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SEMARNAT) estimou que 64% do país apresentava algum tipo de degradação do solo, causada principalmente pelo sobrepastoreio, desmatamento e práticas agrícolas inadequadas. Dentre as causas de degradação, a erosão hídrica representa 37% dos problemas de degradação mais graves, enquanto que a erosão eólica representa 15% destes. A degradação química, com 7% gerada pelo uso excessivo de fertilizantes e a irrigação de cultivos com água de má qualidade, provoca vários graus de salinidade no solo. A degradação biológica representa 4% das causas da degradação, causada pela perda de matéria orgânica e dos processos que mantêm a fertilidade do solo. A degradação física (2%) inclui a compactação do solo e a formação de camadas fortemente cimentadas.

Entre os problemas que afetam severamente os solos do México, destacam-se a salinização e a erosão dos mesmos. O primeiro fenômeno é produzido, além da presença de água subterrânea salobra, como resultado das altas taxas de evaporação em áreas com lençol freático elevado, dissolução de minerais evaporíticos e presença de água de alta salinidade. Outra das causas que contribuem para este fenômeno é a ascensão da interface salina causada por uma superexploração dos aquíferos costeiros utilizados para a irrigação das áreas agrícolas.

As mudanças no uso do solo, são determinadas pela dinâmica das atividades humanas, refletindo diretamente na manifestação de fenômenos erosivos, tanto hídricos quanto eólicos.

### O impacto das mudanças climáticas no solo

Os efeitos previstos das mudanças climáticas para a América Latina são sintetizadas em vários relatórios nacionais e caracterizados pela presença de chuvas mais intensas, secas cada vez mais prolongadas, diminuição no volume do gelo polar e extensão da neve sobre a superfície terrestre, variação histórica de temperaturas diurnas-noturnas e, inclusive, alteração do modelo de regeneração vegetal ou modificação dos padrões de migração, nascimentos e fragilidade da saúde para várias espécies incluindo o ser humano. As mudanças climáticas afetarão diretamente o solo pelas modificações no padrão de chuvas e uma crescente evapotranspiração que dará origem a um clima mais extremo e condições mais propícias para ampliar a degradação do solo e sua desertificação.



Erosão hídrica em voçorocas. (CCG)



Uma paisagem de Lixisol em Tequila. (CCG)



## Nicarágua

Área: 130.373 km<sup>2</sup>  
População: 6.071.045 habitantes



### O solos de Nicarágua

A Nicarágua é um país da América Central com costas tanto no Oceano Atlântico como no Pacífico. Limita-se ao norte com Honduras e ao sul com a Costa Rica. A estação chuvosa ocorre de maio a outubro e o verão, de novembro a abril. A Nicarágua limita-se nas suas costas com unidades tectônicas importantes: no Pacífico, pela plataforma Continental, a fossa da Mesomericana, a placa de Coco e a placa de Nazca, enquanto que a costa Atlântica limita-se pela placa do Caribe e o banco da Nicarágua.

Os principais usos do solo são: florestal (38%), pastagens (22%) e agricultura (40%).

Entre os solos encontrados na Nicarágua destacam-se os solos de "tufo muito comuns na região central do país, formados a partir de antigos materiais de origem vulcânica depositados ou arrastados para o fundo dos vales e planícies, onde suas partículas aglutinaram-se e consolidaram-se para formar torrões; sua fertilidade é de média a baixa. Também encontramos solos argilosos (denominados "sonscuite"), que resultam da decomposição lenta da rocha matriz alterada pela ação prolongada do intemperismo.

Estes solos formam um lamaçal na estação chuvosa, enquanto no verão ficam secos e fendilhados. São solos comuns nas áreas planas, utilizados para o cultivo de arroz, junto ao mar e ao redor dos lagos. Os solos arenosos ácidos são formados a partir da desagregação de certas rochas com alto teor de sílica. Por último, os solos do tipo aluvial são formados pelo arraste de materiais das partes altas para as baixas e sua fertilidade depende de sua composição e qualidade dos materiais que o compõem. Junto aos rios e costas depositam-se lodos e siltes bons para a agricultura. Os solos pedregosos são o resultado da erosão profunda dos mantos superficiais.

Os principais grupos de solo que podem ser encontrados na Nicarágua de acordo com a WRB são: Cambisols, Nitosols, Vertisols e Andosols. Estes últimos, são os solos mais férteis e produtivos, localizados na zona oeste do país.

### O solos vulcânicos da Nicarágua

Os solos de origem vulcânica cobrem vastas planícies a oeste do país. São de formação recente, a partir de materiais lançados durante as erupções, são permeáveis e ricos em minerais básicos e são considerados ótimos para as atividades agrícolas. Em algumas áreas existem solos de origem vulcânica que caracterizam-se por apresentar um horizonte endurecido conhecido na Nicarágua como "talpetate". O talpetate forma uma camada relativamente impermeável cuja profundidade pode variar numa área muito pequena, desde muito próxima da superfície até dois metros. Esta camada pode impedir o crescimento das raízes, limitando a capacidade dos cultivos e árvores para aguentar os períodos de seca.

Os solos da macrorregião do Oceano Pacífico são de origem vulcânica recente, e localmente foram afetados por erupções durante os últimos 10.000 anos. Como os vulcões ativos estão situados mais próximo da costa do Pacífico, para onde as cinzas são transportadas pelos ventos predominantes, a renovação da fertilidade dos solos por esta ação foi menor na costa caribenha. Há uma crença de que todos os solos vulcânicos são férteis. Na realidade, são muito variáveis quanto à sua qualidade. Sua fertilidade depende tanto da natureza do material vulcânico original quanto de sua suscetibilidade aos processos principais de formação do solo: clima (temperatura, umidade, ventos), relevo, fatores biológicos, tempo e fator humano. Sua porosidade permite o cultivo nas encostas íngremes, mesmo que muitos revelam deficiências de fósforo, enxofre e do micronutriente Boro (B). Na Nicarágua, alguns solos profundos derivados de cinzas têm a desvantagem de drenar e secar rapidamente, enquanto que os solos das margens dos lagos Nicarágua e Manágua, com maior teor de argila, mantêm melhor a umidade, sendo portanto, mais favoráveis para o cultivo.

### Sequestro de carbono nos solos das áreas cafezeiras

Uma forma de reduzir os efeitos das mudanças climáticas é através do armazenamento de carbono na biomassa (através da fotossíntese) e no solo, através da acumulação de matéria orgânica. Nos sistemas agroflorestais de café, o componente solo tem a maior capacidade de sequestro de carbono, com 60%, seguido pelo dossel arbóreo (21%), os cafezais (15%) e a serrapilheira (4%). Os solos Phaeozems, localizados no departamento de Jinotega (centro norte de Nicarágua), são capazes de capturar até 83 mg de carbono/ha nos primeiros 30 cm.



Além da capacidade de fornecer alimentos, o solo é utilizado em outros serviços como, por exemplo, material de construção ou para artesanato. (JM)



Partículas de carbono em solos orgânicos utilizados para a lavoura cafeeira. (JM)



## Panamá

Área: 74.177 km<sup>2</sup>  
População: 3.571.185 habitantes



### O solos do Panamá

O Panamá localiza-se no extremo sudeste da América Central, limita-se ao norte pelo mar do Caribe, ao sul pelo Oceano Pacífico, a leste pela Colômbia e a oeste pela Costa Rica. No litoral e nas terras baixas apresenta clima tropical e muito quente ao longo do ano modificando-se em direção ao interior, à medida que aumenta a altitude, com temperaturas frias acima dos 2.000 m de altitude. A maior parte do território panamenho é formado por terras baixas (89%). A área restante é constituída por terras altas dominadas pelo Vulcão Barú e pela Cordilheira Central.

Os principais usos do solo são: florestal (44%), pastagens (21%) e terra arável (9%).

O Panamá caracteriza-se por apresentar uma grande variedade de solos. Os solos dominantes são: Acrisols, Cambisols, Litosols, Nitosols e Ferralsols. As terras altas da província de Chiriqui são caracterizadas por clima temperado úmido de altitude, com solos profundos e férteis, derivados das cinzas vulcânicas. São adequadas para o desenvolvimento da agricultura e o cultivo de boas pastagens para o gado. No entanto, estes usos devem manter um equilíbrio constante com a conservação dos recursos naturais, uma vez que a área forma parte da zona tampão de importantes espaços protegidos. Os solos aluviais, adequados para a agricultura estão localizados nas terras baixas próximas aos rios.

Os solos argilosos ou vermelhos são pobres para a produção agrícola, mais podem ser destinados para o uso pecuário (pastagens). Estes solos são utilizados como material básico para a fabricação de blocos, tijolos e telhas de barro, muito solicitados para a construção de casas e edifícios. Na zona que inclui a montanha, a cordilheira Central e a comarca Ngäbe Buglé, os solos não são adequados para a agricultura porque são solos com vocação florestal ou destinados à proteção das reservas hídricas; no entanto, são os únicos solos que as comunidades indígenas dispõem para a sua subsistência. Dentro desta zona, no setor do Pacífico, predomina o uso agropecuário de subsistência agrícola, as florestas estão altamente alteradas e ainda persistem algumas florestas secundárias estabelecidas.

A erosão e a degradação dos solos é notável e requer atenção imediata nestas terras, que sustentam uma das populações mais pobres do país.

### Zonas de terras baixas do Arco Seco

Correspondente às províncias de Cocé, Herrera e Los Santos, a zona de terras baixas do Arco Seco localiza-se entre 0 e 700 m de altitude. A maioria destes solos, com um grau de fertilidade média a alta são de uso agropecuário intensivo.

Nas áreas costeiras encontramos manguezais e florestas secas conhecidas como albinas. Os solos, em sua maioria, são de textura franco-argilosa, argilosa e franco-arenosa. Trata-se de solos pouco profundos, com baixo conteúdo de matéria orgânica, mas que apresentam uma saturação por alumínio de níveis tolerantes para a maioria dos cultivos. De acordo com o mapa de classificação da FAO, predominam as seguintes ordens de solos: Luvisols, Cambisols, Vertisols, Gleysols e, em alguns casos, os Fluvisols.

A região apresenta um clima tropical de savana com precipitações médias anuais perto dos 1.000 mm, irregularmente distribuídas e caracterizadas por aguaceiros curtos e intensos. Apesar de ser considerada a melhor zona para a agricultura de todas as terras baixas do país, suporta fortes ventos e uma alta evapotranspiração, o que aumenta a demanda dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Durante muitos anos, as práticas agrícolas inadequadas (desmatamento, queimadas descontroladas ou pastoreio excessivo) contribuíram para a degradação dos recursos naturais, provocando a alteração do regime hidrológico de seus principais rios e a diminuição da recarga dos aquíferos subterrâneos da região. Esses desequilíbrios manifestam-se mais severamente na época da seca e durante a ocorrência do fenômeno do El Niño. O Arco Seco é representado pelas seguintes "zonas de vida" (no Panamá, se distingue 12 ecorregiões sob esta denominação): floresta seca tropical, floresta seca premontana, floresta úmida tropical e floresta úmida premontana.



Vista panorâmica da península de Azuero, Panamá. (GD)



Desmatamento e pecuária nas encostas com declives acentuados em Azuero, Panamá. (GD)



## Paraguai

Área: 406.752 km<sup>2</sup>  
População: 6.568.290 habitantes



### O solos do Paraguai

O Paraguai é um país localizado na parte centro-sul oriental da América do Sul. Limita-se ao sul, sudeste e sudoeste com a Argentina, a leste com o Brasil e a noroeste com a Bolívia. A geografia do Paraguai contém três tipos climáticos: semitropical continental a oeste do Chaco, semitropical semiestépico na área central com eixo no rio Paraguai e semitropical úmido na região oriental. Os principais elementos geotectônicos do Paraguai são constituídos por bacias sedimentares e altos regionais que as separam.

Os principais usos do solo são: florestal (45%), pastagem (43%) e terra arável (10%).

O Paraguai dispõe de duas regiões geográficas com características edáficas muito diferentes: a região oriental e a região ocidental ou Chaco paraguaio (ver texto à direita), que forma parte do Gran Chaco sul-americano. A região oriental é a zona econômica mais ativa do país. Possui uma superfície de 159.827 km<sup>2</sup> (39% do total do território) e concentra mais de 98% de sua população. É a zona mais desenvolvida do país e suas terras são em grande parte aptas para a agricultura. A geomorfologia da região oriental caracteriza-se pela predominância de relevos planos a levemente ondulados.

Com relação ao material de origem dos solos, o arenito ocupa a zona do centro e do oeste, o basalto principalmente em direção a leste e sedimentos aluviais em direção ao sudoeste e extremo oeste. Os solos originados a partir de arenitos são de textura grossa, com baixa fertilidade e baixa capacidade de retenção de umidade. Os solos originados a partir do basalto, no entanto, apresentam uma textura fina, são plásticos e pegajosos, com boa fertilidade, alta capacidade de retenção de umidade e, geralmente, correspondem aos solos agrícolas mais produtivos do país.

Os departamentos de Ñeembucú e Misiones apresentam solos originados a partir de sedimentos aluviais que durante a maior parte do ano encontram-se saturados com água, o que requer drenagem artificial para o seu aproveitamento. Na região leste pode-se identificar solos pertencentes aos grupos dos Planosols, Luvisols, Nitosols, Arenosols, Regosols, Fluvisols, Cambisols, Phaeozems, Ferrasols, Vertisols, Acrisols e Gleysols.

### O Chaco paraguaio

O Chaco Paraguai cobre 61% do território paraguaio e abriga cerca de 2% da população total do país. Possui uma superfície de 246.925 km<sup>2</sup> e uma densidade populacional de 0,4 habitantes por km<sup>2</sup>. É parte do Grande Chaco Americano e constitui-se de uma planície aluvial, a qual inclina-se levemente desde os contrafortes andinos. O Chaco paraguaio pode ser dividido em três zonas: Baixo Chaco, Chaco Central e Alto Chaco. A sua temperatura média anual é de 37,8°C.

Uma das características geográficas do Chaco é a presença do litoral do Paraguai, uma faixa de até 100 km de largura, a qual abrange parte do departamento Alto Paraguai. Esta zona litoral é plana e florestada. Essas florestas abrigam madeiras duras, como quebracho e Pau Santo, além de palmeiras. A subzona seca engloba também parte do departamento Alto Paraguai, bem como os departamentos de Boquerón e Presidente Hayes. Esta área caracteriza-se por ser uma planície seca, com vegetação de arbustos espinhosos e cactos. Também surgem dunas de areia e terrenos abertos com alguns pântanos.

A área denominada Bajo Chaco, é a sub-região situada na confluência dos rios Paraguai e Pilcomayo, composta por zonas inundáveis nas épocas chuvosas, com grandes pântanos, palmeiras e vegetação arbustiva. Nesta zona encontra-se o pântano mais extenso do Paraguai: o pântano Patiño. O Chaco conta com uma divisão política em três departamentos: Presidente Hayes, Boquerón e Alto Paraguai.

Os solos do departamento Presidente Hayes que ocupam grande parte do Bajo Chaco (72.910 km<sup>2</sup>), pertencem aos grupos dos Cambisols, Gleysols, Luvisols, Planosols, Regosols e Solonetz.

Os solos do departamento de Boquerón, localizado no Chaco central alto, com uma superfície aproximada de 86.000 km<sup>2</sup>, pertencem aos grupos dos Arenosols, Cambisols, Fluvisols e Gleysols.

Por último, no departamento Alto Paraguay, o qual ocupa uma grande parte do Chaco central e alto, com uma superfície de aproximadamente 86.010 km<sup>2</sup>, surgem os grupos dos Cambisols, Gleysols, Luvisols, Regosols, Solonetz, Solonchaks e Vertisols.



Proteção do solo com adubo verde. (AER)



Lago Ypacanai, Paraguai. (AER)



## Peru

Área: 1.285.216 km<sup>2</sup>  
População: 29.797.694 habitantes



### O solos do Peru

O Peru é um país localizado na parte ocidental intertropical da América do Sul. Limita-se ao norte com o Equador e Colômbia, a leste com o Brasil, a sudeste com a Bolívia, ao sul com o Chile e a oeste com o Oceano Pacífico. Nas costas central e sul do país o clima é árido subtropical ou desértico, enquanto que na costa norte o clima é árido tropical; na serra o clima é temperado subúmido enquanto que na floresta tropical o clima é semitropical muito úmido. O território peruano localiza-se sobre a zona de interação de duas placas tectônicas: a leste a sul-americana, que tem todo seu território continental e a placa de Nazca, debaixo do Oceano Pacífico.

Os usos mais importantes do solo são: florestal (53%), pastagem (13%) e terra arável (4%).

O Peru apresenta uma grande variedade de solos, como resultado de sua diversidade de climas, materiais de origem e vegetação. Os principais grupos são: Leptosols, Regosols, Cambisols, Luvisols, Acrisols, Gleysols e Solonchaks. A costa apresenta a região mais árida do país, delimitada pelo oceano Pacífico a oeste, e os contrafortes da Cordilheira dos Andes, a leste.

A costa apresenta os solos menos desenvolvidos, com baixos teores de matéria orgânica e nitrogênio. A serra constitui a região localizada a partir dos 500m de altitude, desde o flanco ocidental dos Andes, passando por terras mais elevadas com mais de 4.000 m. Os níveis mais altos de matéria orgânica encontram-se nos solos das zonas mais altas, devido à sua baixa taxa de decomposição. A floresta tropical representa a região amazônica mais chuvosa e quente, com precipitações entre 2.000 e 5.000 mm anuais. Aqui encontram-se os solos mais desenvolvidos do país, exibindo valores ácidos de pH, texturas argilosas e baixos conteúdos de nutrientes.

Os principais problemas dos solos do Peru são: na costa, a salinização pelo manejo inadequado da água de irrigação e pela erosão eólica devido aos fortes ventos; na serra, a erosão hídrica superficial e os deslizamentos de terra; na área de floresta tropical, o desmatamento devido à extração descontrolada de árvores para a produção madeireira e a agricultura itinerante, a qual consiste no corte e queima da floresta para semear cultivos, para depois, quando o solo perde a fertilidade, deslocarem-se para outra parte da floresta para reiniciar o mesmo processo.

### O solos dos Bofedais

Os bofedais são um tipo de zona úmida que estendem-se ao longo das terras altoandinas do Peru, principalmente acima dos 4000 m de altitude. São constituídos por vegetação herbácea principalmente dos gêneros Distichia, Calamagrostis e Poa e representam uma importante reserva de água para os animais das terras altas, especialmente os camelídeos sul-americanos. Devido às condições de baixas temperaturas e de hidromorfismo em que se desenvolvem, a matéria orgânica acumula-se no perfil, sem se decompor facilmente.

Estes ecossistemas das áreas úmidas altoandinas são extremamente frágeis, os quais cumprem uma relevante função ecológica devido à sua capacidade de armazenamento de água em grandes quantidades. São encontrados na cabeceira das bacias onde nascem vários rios como o Amazonas, que se origina num bofedal do departamento de Arequipa, acima dos 5.000 m de altitude e a quase 7.000 km da sua foz no Atlântico. No entanto, sofrem diversas ameaças, desde a mudança climática até efeitos antrópicos de caráter local, como o sobrepastoreio, a mineração e a construção de caminhos que causam mudanças no fluxo normal das águas e da drenagem.

Por seus altos níveis de matéria orgânica, acredita-se que os solos dos bofedais são orgânicos no sentido estrito, ou seja, Histosols; Entretanto, não é certo, uma vez que os conteúdos do carbono orgânico de muitos deles não são suficientemente elevados para incluí-los nesse grupo. Além disso, a espessura desse material orgânico pode ser não significativa, encontrando-se camadas de origem mineral nos estratos inferiores. Desta maneira, podem-se encontrar solos de bofedais que pertencem aos grupos dos Andosols, Cambisols, Chernozems, Kastanozems e Gleysols.

Por outro lado, nem todos são ácidos, já que isto depende da natureza da rocha matriz do lugar. Na serra altoandina peruana, por exemplo, a presença das rochas calcárias é comum. Quando existem bofedais nos lugares onde predomina este material, os solos são desde ligeiramente ácidos a básicos.



Bofedal na zona da serra. (JNR)



Perfil do solo com alta acumulação de matéria orgânica e fósforo. (BT)



## Porto Rico

Área: 9.104 km<sup>2</sup>  
População: 3.706.690 habitantes



### O solos de Porto Rico

Porto Rico, a ilha mais oriental das Grandes Antilhas, está localizado na porção nordeste do mar do Caribe, a leste da República Dominicana e a oeste das Ilhas Virgens. O clima é tropical com temperaturas médias mínimas de 19,4°C e máximas de 29,7°C. A precipitação média anual é de 1.700 mm.

Quanto à geologia da ilha, Porto Rico é composto por rochas vulcânicas e plutônicas dos períodos Cretáceo e Eoceno, cobertas por rochas sedimentares do Oligoceno e períodos recentes. Aproximadamente 40% do território está ocupado por montanhas como a Cordilheira Central, a Serra de Luquillo e a Serra Cayey. Outra parte do território é coberto por colinas e os restantes 25%, são ocupados por planícies, principalmente na região litoral norte. Compõem também o território de outras ilhas como Mona, Monito, Vieques, assim como cayos e ilhotas ao leste e sul da ilha.

Os usos principais do solo são: 61% de cobertura florestal, 12% de culturas e 10% de pastagens.

Porto Rico é muito diversificado em termos de ecossistemas e tipos de solos. Os oito grupos de solos de acordo com a WRB, são: Cambisols, Alisols, Phaeozems, Luvisols, Ferralsols, Gleysols, Vertisols e Kastanozems. Todos eles exigem adubos ou fertilizantes químicos para obter rendimentos agrícolas ótimos. Esta diversidade de tipos de solos deve-se à complexidade do material rochoso, aos padrões de precipitação, à exposição solar e à topografia do terreno. As características dos solos dos vales costeiros variam significativamente de norte a sul, devido aos diferentes regimes de precipitação.

As principais limitações dos solos da região são a pouca profundidade e as encostas íngremes. De fato, os deslizamentos de terra representam um perigo quando os solos nas encostas muito acentuadas se saturam de água, especialmente quando ocorrem furacões. No entanto, o principal fator responsável pela perda de terras agrícolas é o desenvolvimento urbano, concretamente, o que ocorre na periferia das áreas metropolitanas.

### Uso histórico da terra

Porto Rico tem experimentado muitas mudanças no uso da terra ao longo de sua história, tanto durante a colonização espanhola (1493-1898), quanto posteriormente, como território dos Estados Unidos. O desmatamento das terras baixas se iniciou quando a cana-de-açúcar foi introduzida em 1515. As florestas também foram eliminadas para estabelecer pastagens. A partir de 1736, as florestas montanhosas localizadas entre 300 e 1.200 m foram removidas para a produção de café.

As políticas que favoreciam a imigração incentivaram a expansão dos cultivos como cana-de-açúcar, café e tabaco, assim como as atividades pecuárias. Em 1896, como consequência dos comentários recebidos sobre a degradação do território causada pelo desmatamento para a extração de madeira e o cultivo ao longo do século XIX, o rei espanhol Alfonso XIII proclamou a área de Luquillo como reserva oficial. Na atualidade, esta reserva florestal faz parte do Bosque Nacional El Yunque.

A medida que a população cresceu, o desmatamento aumentou até que cerca de 90% das florestas fossem cortadas em 1950. Durante essa década, Porto Rico iniciou a transição de uma sociedade agrária para uma sociedade industrializada. O abandono da agricultura de subsistência e das plantações de café e de cana-de-açúcar permitiram o aumento da cobertura florestal até cobrir aproximadamente 30% da ilha. Esta mudança criou uma oportunidade para estudar o processo de conversão do uso do solo de terras agrícolas a áreas florestais.

Vários estudos têm demonstrado que os 500 anos de agricultura provocaram efeitos adversos sobre o recurso solo, produzindo erosão, compactação e sedimentação. Também alteraram suas condições nutricionais e o ciclo hidrológico. Por exemplo, a calagem e a adubação das plantações de café promovem a restauração de certas espécies com a capacidade de fazer melhor uso da fertilidade. Os solos utilizados para a cana-de-açúcar requeriam a alteração da hidrologia natural, pelo que se estabeleceram drenagens artificiais. Esta prática fez com que aqueles solos com um alto conteúdo de matéria orgânica a perdessem, devido à oxidação, impossibilitando deste modo a restauração da floresta.



Plantação de abacaxi no norte de Porto Rico. O abacaxi é uma cultura que adapta-se aos solos com poucos nutrientes e baixa umidade. (FB)



Experimentos com culturas anuais em solos pouco férteis em Isabela, Porto Rico. (FB)



## República Dominicana

Área: 48.671 km<sup>2</sup>  
População: 10.056.181 habitantes



### Os solos da República Dominicana

A República Dominicana ocupa cerca de dois terços da Espanhola. Limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, ao sul com o Mar do Caribe, a leste com o canal da Mona e a oeste com a República do Haiti. O país apresenta um clima subtropical modificado pelos ventos alísios do nordeste e pela topografia. As variações climáticas são marcantes, oscilando desde condições semi-áridas até muito úmidas. A origem da ilha remonta à segunda parte do período Cretáceo, quando pelo fenômeno de subdução das placas norteamericana e caribenha surgiram os sistemas montanhosos mais antigos da ilha. Os vales e planícies costeiras surgiram durante o período Quaternário. A geografia caracteriza-se pela presença de quatro cadeias paralelas de montanhas, separadas entre si por bacias sedimentares e planícies.

Os usos mais importantes dos solos são: florestal (41%), terra arável (26%) e pastagem (25%).

O país apresenta uma ampla diversidade de solos. Os principais solos encontrados pertencem aos grupos Cambisols, Litosols, Fluvisols, Luvisols, Nitisols e Vertisols.

O conhecimento dos solos do país inclui o estudo de sua origem, desenvolvimento e comportamento, enquadrando as seguintes grandes regiões geográficas: Divisão Norte, Divisão Leste, Divisão Central e Divisão Sudoeste. A Divisão Norte compreende os solos mais férteis do país, grandes áreas com características de savana, extensas áreas com solos áridos de capacidade produtiva variada e solos com escasso valor agrícola. Os terrenos da Divisão Leste são de importância relativa, apesar seus solos apresentarem fertilidade natural de média a baixa. São apropriados para pastagem e cultivos de cana-de-açúcar.

A Divisão Central é formada por planícies, com boas propriedades físicas e alta capacidade produtiva, constituídas por solos que se formaram principalmente pela deposição aluvial.

Na Divisão Sudoeste encontram-se os solos de alta produtividade, vastas áreas de solos áridos e solos de pouco valor agrícola. A República Dominicana dispõe de 55% ea sua superfície como zonas cultiváveis. Os principais cultivos são arroz, cacau, café, cana-de-açúcar, mandioca e banana.

### O Valle del Cibao

O Valle del Cibao está localizado entre as cordilheiras centrais e setentrionais, ao norte do país, e é o mais extenso e importante da República. Estende-se desde as baías de Montecristi e Manzanillo até a baía de Samaná, em direção noroeste-sudeste, com um comprimento de 225 km e largura entre 10 e 45 km. As precipitações variam entre 900 e 1500 mm anuais e a temperatura média é de 25°C.

Os solos do Valle Oriental del Cibao foram formados principalmente a partir de materiais depositados em ambientes lacustres e pela acumulação de sedimentos transportados pelas correntes fluviais. Os solos principais do Valle Oriental del Cibao são:

- aluviais recentes indiferenciados,
- solos de topografia plana, medianamente a mal drenados e textura argilosa (Asociación La Vega -Laguna Verde-El Jobo),
- solos formados pelo acúmulo de argilas ácidas em ambientes lacustres (Asociación Maguaca),
- solos férteis, argilosos, pretos, com excelente drenagem (Asociación Moca Guiza),
- solos planos, mal drenados e subsolo com argila plástica (Asociación Pimentel-Fantino-Cotui)

O tipo de solo dominante é o Vertisol. Nestes solos se cultiva arroz, mandioca, batatas, banana, vegetais, cacau e tabaco. Também sobre eles, desenvolve-se a produção pecuária em pastos produtivos com animais bovinos, caprinos, ovinos e equinos. A aplicação inadequada de fertilizantes, pesticidas e herbicidas na agricultura intensiva do Valle del Cibao, tal como resíduos de animais na avicultura e criação de gado, são fontes de contaminação das águas. As águas também apresentam altos conteúdos de sais e nutrientes, como o fósforo, nitrogênio e o ferro, associados com a drenagem das áreas agrícolas e a reutilização da água de irrigação.

A água contaminada chega à população ao ser tomada diretamente das fontes originais, como rios e poços, ao serem servidas pelos aquedutos sem tratamentos adequados, ou ao fazer um manejo inadequado nos domicílios, como armazenamento em embalagens contaminadas, e em cisternas sem oxigenação.



Fertilização do solo num cultivo de mandioca (Manihot esculenta) na República Dominicana. (PNR)



O efeito da erosão hídrica: perda de cobertura e da biodiversidade em solos de encostas ao sul da República Dominicana. (PNR)



## Suriname

Área: 163.820 km<sup>2</sup>  
População: 529.419 habitantes



### Os Solos do Suriname

O Suriname é um país da América do Sul que limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, a leste com a Guiana Francesa, a oeste com a Guiana e ao sul com Brasil. A geomorfologia do território é constituída por uma planície costeira extensa, um vasto altiplano central e por diversas cadeias de montanhas. Na região norte do país, na zona litoral, é onde habita a maior parte da população e onde se cultiva a terra. A parte sul consiste em uma floresta tropical úmida escassamente povoada. Situado muito próximo da linha do Equador, o clima do Suriname é tropical e as temperaturas não variam muito ao longo do ano. No ano ocorrem duas estações chuvosas, a primeira de dezembro a início de fevereiro e a segunda, do final de abril a meado de agosto.

O uso principal do solo é florestal (95%). Apenas 1% está dedicado a agricultura e pastagem.

No país distinguem-se quatro principais zonas geomorfológicas: (i) a planície costeira jovem, (ii) a planície costeira antiga, (iii) o cinturão de savana e (iv) as terras altas do interior. A planície costeira jovem caracteriza-se por solos de diferentes texturas, de arenosos a argilosos e turfeiras.

A planície costeira antiga compreende uma faixa de terra de cerca de 20 km de largura. A sua parte norte, denominada "paisagem Lelydorp" é formada por um conjunto de colinas arenosas erodidas, enquanto a parte sul ou "paisagem Para" é composta por solos de texturas siltosa e franco-argilosa. A terceira região, o cinturão de savana, ocupa uma faixa que recobre o Suriname de leste a oeste, de largura variável (de 5-10 km no leste a de 60-70 km no oeste) e elevação média de 30 m. Os solos apresentam textura arenosa, baixa fertilidade natural e capacidade de retenção de umidade muito limitada. Os solos que se denominados de "branqueados" (embranquecidos), são compostos por 90% de sílica (SiO<sub>2</sub>) e foram formados pelo processo de podzolização. Por último, os solos encontrados nas terras altas do interior do país (50-1.280 m de altitude), a região mais extensa (80% do país), são conhecidos como "solos residuais", em referência à sua formação como produtos (resíduos) do intemperismo profundo de materiais pré-cambrianos do escudo da Guayana (rochas ígneas e sedimentares). Estes solos podem ser classificados de acordo com a WRB, nos grupos dos Ferralsols e Acrisols.

### Pesticidas naturais

O Distrito de Saramacca, localizado ao norte do Suriname, depende principalmente da agricultura e da extração de petróleo. Esta zona tinha solos férteis. Hoje no entanto, a fertilidade dos solos tem sido reduzida devido ao uso excessivo de fertilizantes sintéticos. Os rendimentos dos cultivos têm diminuído cada vez mais, devido ao esgotamento do solo. A fim de restaurar a fertilidade do solo, o Instituto Caribenho do Suriname, desenvolveu um método biológico que controla os efeitos de pragas e doenças durante o período da colheita das culturas. O método utiliza um extrato das sementes da planta herbácea *Crotalaria striata* (popularmente conhecida no país como cascabelito). Esta substância é misturada com água e aplicada às culturas a cada dois meses. O método não elimina por completo as populações de nematóides, mas as reduz o suficiente para não afetar o rendimento dos cultivos.

Outro pesticida biológico é o que se extrai das folhas de tabaco para combater ospulgões. Quando esta técnica foi introduzida, os agricultores aplicavam as medidas com certa desconfiança. No entanto, depois de receberem capacitação sobre a técnica, se mostraram motivados e adotaram a nova prática. Esta transição não só tem ajudado os agricultores a adotar uma horticultura orgânica competitiva e a desenvolver uma cadeia de fornecimento agrícola sustentável, mas também resultou em melhores rendimentos.



Flores de *Crotalaria striata*.



## Guiana

Área: 214.970 km<sup>2</sup>  
População: 784.894 habitantes



## Guiana Francesa

Área: 83.534 km<sup>2</sup>  
População: 157.213 habitantes



Guiana, Guiana Francesa e Suriname compartilham uma mesma tectônica de placas e geologia. Possuem clima, relevo e vegetação semelhantes. As florestas tropicais exuberantes, bem como relíquias de savanas, enclaves de matagais xeromórficos e manguezais, cobrem o território. Estes países estão localizados sobre o Escudo da Guiana, muito antigo e caracterizado pela presença de solos profundos e evoluídos, mas também pobres em nutrientes e pouco adequados para a agricultura; é por essa razão, que as atividades agrícolas encontram-se ao longo da costa.

Os Acrisols e os Ferralsols são os solos dominantes nesta região, seguido pelos Nitisols. A Guiana apresenta solos rasos, enquanto que na Guiana Francesa encontram-se os Fluvisols. Esta diferença deve-se à presença de manguezais ao longo de sua costa. Na Guiana ocorre uma ampla extensão de solos hidromórficos, como é o caso dos Histosols presentes nas turfeiras. A distribuição destes solos não é muito clara e estudos mais técnicos são necessários para determinar se os solos encontram-se com mais frequência nas zonas pantanosas costeiras ou nas turfeiras das áreas frias nas planícies montanhosas.



Um trator em cultivo de arroz na Guiana. (TDS)



## Uruguai

Área: 176.215 km<sup>2</sup>  
População: 3.251.526 habitantes



### Os Solos do Uruguai

O Uruguai é um país da América do Sul, localizado na parte oriental do Cone Sul americano. Limita-se a nordeste com o Brasil, a oeste com a Argentina e tem costas no Oceano Atlântico a sudeste e sobre o Rio de la Plata, em direção ao sul. O clima no Uruguai é temperado e úmido (média de 17°C), com verões quentes e precipitação pluvial mais ou menos homogênea ao longo do ano.

A maior parte dos terrenos geológicos apresenta uma cobertura sedimentar de origem continental. Estas camadas da idade do Pleistoceno deram origem aos solos.

Os usos principais do solo são os pastos associados com criação de gado (60%), terras aráveis (25%) e o uso florestal (10%). A atividade agrícola concentra-se principalmente no sul, no sudoeste e no litoral do rio Uruguai. No centro e norte do país predomina a criação de gado. No leste, a pecuária e a agricultura, principalmente o cultivo de arroz.

Os principais solos do Uruguai são: Phaeozems, Leptosols, Vertisols, Acrisols e Luvisols. Os solos apresentam variações tanto regionais quanto locais.

No setor da costa basáltica do noroeste, a qual ocupa a quarta parte do território, predominam os solos superficiais. Também surgem solos mais profundos, de fertilidade média a alta. No centro-nordeste são encontrados diversos materiais de origem e formas de relevo onduladas. Embora predominem os solos superficiais a profundos com graus de fertilidade não muito elevados, existem solos com excelente aptidão agrícola. A sudeste e a leste, encontram-se os solos mais rasos, inclusive com afloramentos rochosos. Em geral, são de baixa fertilidade natural, com pouca resistência à seca e ao desenvolverem-se em formas de relevo quebrados, com encostas íngremes, estão submetidos a um alto risco de erosão. O litoral atlântico-lagunar, caracterizado pelas colinas e planícies, apresenta solos com alta resistência à seca e sem risco de erosão. Esta é a principal área de cultivo de arroz do país, com solos de boa retenção de água, mal drenados, terrenos com pequenos declives e água abundante para a irrigação das culturas. No centro-sul desenvolveram-se solos de alta fertilidade, ricos em silte e de resistência média à seca. A oeste e a sudoeste, os solos dominantes são desenvolvidos sobre arenitos do período Cretáceo, areias argilosas e loess.

### A erva-mate

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) é uma planta originária das bacias hidrográficas dos rios Paraná, Paraguai e do curso superior do Uruguai. O mate é o nome que se dá à infusão preparada a partir de suas folhas (secas, cortadas e moídas), de sabor amargo devido ao conteúdo de taninos.

Os índios guaranis usavam esta erva devido às suas propriedades nutritivas e curativas. Hoje é consumida como uma infusão, com forte tradição cultural e difundida em vários países da região, como na Argentina, Paraguai e Brasil. A área de distribuição da erva-mate é muito restrita. Encontram-se em estado silvestre ou cultivada na zona delimitada ao leste pelo Atlântico e a oeste pelo Rio Paraguai. Requer temperaturas elevadas, ambiente úmido e solos profundos e bem drenados, ricos em matéria orgânica, ácidos fosfóricos, potássio e ferro.

O governo do país tem promovido iniciativas para a conservação e o manejo desta planta nativa do Uruguai. Um exemplo disto é o projeto de biodiversidade realizado nas Sierras de Yerbál, zona de amortecimento da área protegida "Quebrada de los Cuervos", no departamento de Treinta y Tres.

A área conta com altos valores em termos de diversidade biológica, sendo a erva-mate uma espécie emblemática nesta zona. O projeto pretende estabelecer um processo de restauração do habitat da floresta nativa, promovendo ativamente a quantidade de exemplares de erva-mate, bem como um aprofundamento do conhecimento da espécie e de seu potencial de produção sustentável, uma vez que o Uruguai é o primeiro país no mundo em termos de consumo individual de mate (com uma média de quase 10 kg de consumo de erva per capita por ano) e, por sua vez, o maior importador. Não obstante, essa área não seria suficiente para realizar uma produção em escala industrial.

5% da erva importada pelo Uruguai vem da Argentina e do Paraguai, os outros dois países que juntamente com o Brasil, comercializam este produto. A Argentina é o maior produtor de erva-mate do mundo, com 206.000 hectares cultivados: 90% em Misiones e 10% em Corrientes, seguido do Brasil. No entanto, no Uruguai não existem florestas naturais de araucárias, como acontecem no Brasil, para proporcionar a sombra necessária e se deveria sacrificar alguma outra cultura.



Paisagem de vales e montanhas dedicados à criação de gado em pastagens nativas e cultivadas. (MP)



Vista de campos cultivados com trigo de acordo com as normas de conservação de solos com faixas de vegetação para proteger as fontes de água. (MH)



## Venezuela

Área: 916.445 km<sup>2</sup>  
População: 27.150.095 habitantes



### Os Solos da Venezuela

A Venezuela está localizada ao norte da América do Sul, entre a Colômbia e a Guiana. A zona costeira é banhada pelas águas do Mar do Caribe e do Oceano Atlântico. O clima é tropical, quente e úmido, mas moderado nas terras altas. A metade do território é montanhoso. O sul (escudo da Guiana) é muito antigo e estável, enquanto que ao norte do rio Orinoco, a geologia é mais jovem e instável. No sul do Orinoco predominam as rochas ácidas, ausentes nos Andes e na cordilheira central. Os materiais das planícies das regiões ocidentais e centrais do país são aluvionares, relativamente ricos em bases, enquanto que os do leste são ácidos, arenosos e pobres em bases. O Delta do rio Orinoco é muito peculiar e possui uma extensa cobertura de depósitos de matéria orgânica sobre argilas de origem marinha.

Os usos mais importantes do solo são: silvicultura (53%), pastagem (20%) e cultivos (4%). A maioria das florestas estão sob proteção de Parques Nacionais.

A grande variação dos fatores de formação deu origem a uma ampla variedade de solos. Ao sul do Orinoco, nas planícies orientais e do sul, dominam solos muito intemperizados e lixiviados, ácidos, pobres em nutrientes e com predomínio de textura arenosa na superfície. No centro do país, surgem solos argilosos de texturas média e argilosa. Os solos das planícies ocidentais e da planície do Lago de Maracaibo são predominantemente jovens, ricos em bases e em matéria orgânica, mas com problemas de drenagem superficial.

Os solos das montanhas são pouco profundos, com predomínio de solos ácidos, mas ricos em matéria orgânica, acima dos 1.000 m de altitude. No norte árido predominam os solos rasos, ricos em carbonatos e alguns salinos. As principais ameaças aos solos são a erosão nas montanhas e o desmatamento das encostas com declives acentuados, as quais ficam expostas ao impacto das chuvas, o que provoca a erosão laminar e os deslizamentos de terra.

As zonas centrais e sul das planícies, pela sua topografia plana, sofrem fortes inundações pelo transbordamento dos rios. Os principais tipos de solos encontrados na Venezuela são Acrisols, Ferralsols, Gleysols, Nitisols e Leptosols.

### Os solos do delta do rio Orinoco

O rio Orinoco forma um extenso delta ao desembocar no Oceano Atlântico, no nordeste da Venezuela. O tamanho do delta é de cerca de 27.000 km<sup>2</sup>, com mais de 300 afluentes e uma floresta exuberante, rica em madeiras preciosas e palmeiras de valor comercial. No delta deposita-se anualmente pelo Rio Orinoco, mais de 100 milhões de metros cúbicos de sedimentos, de modo que o limite entre a terra e o mar avança 45 m por ano. Isto significa que o território aumentou em 900 km<sup>2</sup> nos últimos 75 anos.

Como muitos outros deltas, está sujeito a aportes fluviais e marinhos e a fenômenos de assoreamento. Neste padrão complexo de rios, afluentes e ilhas, vivem indígenas da tribo dos Waraos há mais de 7000 anos, sobrevivendo da pesca e da produção sustentável de várias palmeiras locais (gêneros *Mauritia* e *Manikaria*). As condições de alagamento, as marés diárias e a predominância de turfas ácidas, limitam a expansão agrícola. Devido a isto, a maioria do Delta representa um ecossistema muito conservado e uma parte importante do mesmo foi declarada Reserva da Biosfera.

O Delta divide-se em superior, médio e inferior. No terço superior predominam os bancos fluviais bem drenados, com florestas de galeria e bacias argilosas inundadas, com gramíneas e aráceas (*Montrichardia arborescens*). Os cursos médios e inferiores são dominados por várzeas pantanosas, com pradarias, palmeiras e manguezais (*Rhizophora mangle*). Ali, especialmente, dominam as turfas ou solos orgânicos de diferentes graus de espessura, em muitos casos, sobre argilas de origem marinha que, por efeito dos manguezais, da carga de sais das marés (sulfatos) e do estado da anaerobiose ou redução, são enriquecidos em sulfeto de ferro (FeS<sub>2</sub>) ou pirita. Quando os solos são drenados, este minerais sofrem reações químicas e biológicas que produzem sais muito ácidos fazendo com que os valores de pH passem de 7 a 3. Essa acidificação resulta nos chamados solos ácidos sulfatados, os quais destroem a vegetação e quaisquer possibilidades de uso. Este processo já aconteceu em parte do Delta superior e intermediário, quando um grande afluente, o Máname, foi parcialmente fechado para drenar áreas para fins agrícolas e melhorar a navegação fluvial. Estes fatos, juntamente com a intrusão de até 45 km de águas acima das marés salinas, limitaram futuras ações de drenagem.



Paisagem no Estado de Carabobo, Venezuela. (JC)



Rio Orinoco. (JC)



Paisagem da Cordilheira Andina no Chile. As erosões naturais destas rochas vulcânicas liberam um material de origem rico em nutrientes, que ao ser transportado para elevações mais baixas, dá lugar a solos férteis. (MF)

O solo pode ser definido como a camada superficial da crosta terrestre. É um corpo natural composto por partículas de rochas alteradas (os minerais), matéria orgânica, água e ar. Geralmente, um solo é composto por cerca de 45 % de minerais, 25% de água, 25% de ar e 5% de matéria orgânica, embora tais proporções possam variar.

Este meio cumpre funções muito diversas: constitui uma reserva genética, serve como plataforma para as atividades humanas e forma parte da paisagem e do patrimônio cultural. Além disso, do solo também são extraídas matérias-primas. Um solo saudável e fértil constitui a pedra angular da segurança alimentar. Portanto, dada a sua importância sócio-econômica e ambiental, o solo deve ser protegido.

Os processos de formação do solo são geralmente lentos e requerem longos períodos de tempo: a taxa aproximada de formação do solo em pradarias de climas temperados é de apenas 1-2 cm a cada 100 anos.

A quantidade de solo que se perde devido aos processos de degradação, tais como a erosão ou a contaminação, pode ser recuperada de forma natural, embora seja preciso para tanto, centenas ou até mesmo milhares de anos. Portanto, o solo deve ser considerado um recurso natural não renovável porque, do ponto de vista da esperança de vida humana, quando este se perde não se recupera mais.

Além disso, é possível que as mudanças climáticas favoreçam alguns processos de degradação como a desertificação, com drásticas consequências para as funções do solo: estiagens mais frequentes e intensas farão com que os mecanismos de retenção de água dos solos colapsem, levando à erosão e às vezes, à desertificação.

Muitos dos solos da América Latina e do Caribe (ALC) são frágeis e/ou pobres em nutrientes.

Mais do 95% dos alimentos consumidos na ALC provêm, diretamente ou indiretamente, da terra, assim como a lenha utilizada para cozinhar ou aquecer-se. Apesar dos avanços tecnológicos, o solo será sempre necessário para o cultivo de alimentos e produção de forragem, combustíveis e fibras têxteis, entre outras funções.

Na ALC, a globalização manifesta-se através de dois processos opostos; a crescente demanda global de produção de alimentos e produtos da pecuária (tanto para o consumo interno como para a exportação) acelera o desmatamento em favor de áreas de agricultura intensiva, enquanto que o abandono de terras agrícolas marginais, promove a recuperação dos ecossistemas em algumas áreas de solos pobres. A mudança no uso do solo e a perda da cobertura vegetal associadas a muitos desses processos, afeta a troca de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera, o que produz efeitos microclimáticos e sobre a capacidade de retenção de carbono. Além disso, provoca a perda de biodiversidade em diferentes escalas, a degradação do solo, a deterioração e/ou a perda dos serviços ambientais, a perda de resiliência e um aumento da vulnerabilidade dos assentamentos humanos perante as perturbações naturais e os eventos climáticos extremos.

O uso e o manejo insustentável da terra levam ao aumento da degradação do solo e às vezes, à perda de um recurso fundamental para a vida no continente latinoamericano. Neste contexto, deve-se prestar atenção aos processos como a perda de nutrientes, a contaminação, a erosão, os deslizamentos de terra, a salinização, a perda de biodiversidade e a compactação e selagem do solo devido à urbanização e ao desenvolvimento de infra-estruturas.

A degradação dos recursos da terra tem um impacto negativo sobre os meios de vida rural e urbana. É o caso dos solos exauridos ou inférteis. Esta condição, juntamente com o aumento da aridez, provoca a desertificação e, conforme demonstrado por estudos, tem causado um aumento do nível de pobreza nas áreas rurais. Isto resulta na migração da população para as cidades.

É necessário que as autoridades responsáveis pela formulação de políticas ambientais e os usuários da terra estejam conscientes de que a produção agrícola dependa da produtividade dos solos e para mantê-la, deve-se usar de maneira adequada os recursos naturais. A terra não é um recurso infinito.

Nos últimos anos, o uso do mesmo espaço para diferentes usos (por exemplo, infra-estrutura, florestal e agricultura) tem sobrecarregado a capacidade de recuperação dos processos naturais, causando a degradação severa do solo e diminuição na sua produtividade. Portanto, as estratégias de intensificação da produção agrícola devem buscar atingir altos rendimentos por unidade de superfície, e, simultaneamente, melhorar a saúde do solo e conservar os recursos hídricos e a vitalidade do meio ambiente. Isto pode ser alcançado quando os usuários são informados sobre as possibilidades e necessidades de gestão de uma área determinada de terra identificada para um propósito específico.

A prevenção da degradação do solo é também limitada pela escassez de dados (ver página seguinte). Os países latino-americanos devem considerar o desenvolvimento de um enfoque de base de dados harmonizada, suscetível de ser utilizada tanto para o monitoramento dos solos como para a criação e/ou aplicação de programas de coleta de novos dados de solos.

Também é necessário apoiar o desenvolvimento de projetos de pesquisa dedicados em particular, a aprofundar o conhecimento dos benefícios econômicos, sociais e ambientais das funções exercidas pelo solo, assim como o impacto de médio a longo prazo nos processos de degradação do solo.

Finalmente, é importante desenvolver iniciativas para sensibilizar a sociedade como um todo do valor e da importância do solo e para protegê-lo, neste caso, a educação desempenha um papel fundamental.

## Um melhor conhecimento do solo

Com o objetivo de facilitar desenvolvimento de políticas ambientais e a tomada de decisões em relação ao uso sustentável dos solos, é essencial contar com informação atualizada. Esta informação é obtida através de levantamentos e inventários de solos.

Em combinação com os dados socioeconômicos, a informação pedológica e ecológica é utilizada para avaliar a os diferentes solos de acordo com os seus distintos usos. Estes dados também servem como uma base de referência para detectar alterações no estado dos recursos naturais. Nesse contexto, é essencial o desenvolvimento de um plano de monitoramento. Atualmente, a disponibilidade de dados atualizados, consistentes e comparáveis na ALC é muito variável. A falta de harmonização dos dados existentes, dificulta os esforços para desenvolver indicadores para medir a situação atual e sua a evolução dos solos, especialmente em função de suas principais ameaças, descritas nesta publicação.

A criação recente da Rede de Agências de Solos da América Latina e do Caribe ("Red de Sueleros") poderia constituir a base para a coleção, harmonização, uso e divulgação de dados de solo na região, como está sendo o caso para a elaboração deste Atlas e em outros projetos para a região

O desenvolvimento e manutenção de atividades de capacitação e conscientização do recurso solo, em todos os níveis de educação, também deve ser uma prioridade. Sem uma comunidade científica capacitada, a coleta de informações de qualidade não é viável.

Além de outras iniciativas globais, como o projeto *Globalsoilmap.net* ([www.globalsoilmap.net](http://www.globalsoilmap.net)) e a Aliança Mundial para o Solo (Global Soil Partnership – GSP - <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/en/>) e em particular atividades do "nodo" da ALC, devem desempenhar um papel fundamental na recopilación, harmonização, compartilhamento e difusão de dados sobre os solos.

### O enfoque político

Nos últimos anos tem havido um reconhecimento crescente do valor do solo para a sociedade e a consciência de que o solo necessita pelo menos, do mesmo nível de reconhecimento e proteção que o ar e a água, porque tal como esses elementos, faz parte do capital natural. De fato, muitas das crises sociais no mundo têm sua origem nas políticas inadequadas de gestão da água e do solo.

Em 1982, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) aprovou a Carta Mundial dos Solos, delineando alguns princípios básicos para a gestão e proteção sustentável dos solos, os quais deveriam ser seguidos pelos governos, organizações internacionais e outros usuários. No entanto, em muitas partes da América Latina, os princípios da Carta não foram implementados.

Para incentivar e/ou reforçar o compromisso com a conservação do solo, a FAO lançou em 2011 a Aliança Mundial para o Solo, AMS (ou GSP do inglês, Global Soil Partnership). Os objetivos dessa iniciativa se concentram em cinco pilares fundamentais para a ação:



Vale de Viñales: uma paisagem emblemática de Cuba e uma área famosa para o cultivo de fumo, devido às características dos solos e do clima. O manejo sustentável do recurso solo requer atividades de formação e conscientização em todos os níveis: desde a educação, a sociedade civil e os grupos de interesse. (OMU)

1. Promover o manejo sustentável do recurso solo para fomentar a sua proteção, conservação e produtividade sustentáveis;
2. Fomentar o investimento no tema solo, para propiciar a cooperação interdisciplinar, as políticas de proteção do solo e a conscientização através da educação e da formação técnica;
3. Promover a pesquisa e o desenvolvimento no tema solos, concentrando-se nas prioridades identificadas e que estejam em sinergia com ações relacionadas à produção e desenvolvimento ambiental e social;
4. Melhorar a quantidade e a qualidade dos dados e informação sobre o solo: recopilación e geração de dados, análise e validação dos mesmos, elaboração de relatórios, monitoramento e integração com outras disciplinas;
5. Harmonização de métodos, medidas e indicadores das características do solo para favorecer o manejo sustentável e a proteção do recurso solo.

A execução desses objetivos no âmbito regional da ALC por parte da Aliança Latino-Americana para o Solo, pode alcançar importantes avanços no campo da conservação e do uso sustentável do solo.

### O que é o desenvolvimento sustentável?

*"Satisfazer as necessidades das gerações presentes, sem comprometer as possibilidades das futuras gerações para atenderem às suas próprias necessidades".*

A definição do desenvolvimento sustentável foi pela primeira vez formalizada em 1987, como resultado do trabalho da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, criado em 1983.

Tal definição foi assumida no Princípio 3º da Declaração do Rio (1992). Foi a partir deste relatório, se adotou o termo em inglês, sustainable development. Esse termo se define como o processo pelo qual se preservam, conservam e protegem os recursos naturais para o benefício das gerações presentes e futuras, mas não considera as necessidades sociais, políticas e culturais do ser humano.



A agricultura urbana (foto de um exemplo em Cuba) é uma atividade sustentável, uma vez que promove a conservação de energia através da produção local de alimentos, ao mesmo tempo que contribui para a soberania alimentar. (OMU)



Cultivo de batata no Equador. O manejo sustentável dos solos é fundamental para a segurança alimentar. (JEM)

## Glossário

As páginas seguintes contém alguns termos técnicos utilizados neste Atlas. Os leitores que desejarem informações adicionais, podem consultar vários outros glossários disponíveis na internet. Por exemplo:

Definições técnicas de termos de solos da ASSS:

<https://www.soils.org/publications/soils-glossary>

Termos de solos dirigidos para crianças e o público em geral:

<http://www.soil-net.com>

## Definições

**Ácido:** substância com valor de pH<7 que reage com uma base. As substâncias com propriedades de um ácido denominam-se substâncias ácidas.

**Adsorção:** processo no qual os átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de substâncias sólidas por meio de ligações químicas ou físicas.

**Aeróbico:** ver anaeróbico

**Agregados:** partículas individuais do solo (areia, silte e argila) unidas pela água, filmes orgânicos ou atividade biológica. Classificam-se em função do seu tamanho, forma (por exemplo, granular) e grau (por exemplo, forte).

**Agricultura:** é o conjunto de técnicas e conhecimentos para cultivar a terra e produzir espécies vegetais para a alimentação, para a produção de fibras e/ou combustíveis.

**Agricultura conservacionista:** sistema de agricultura que busca minimizar a perda do solo e água e incrementar o nível da matéria orgânica no solo. Implica no uso de técnicas de cultivo zero ou plantio direto, cultivo reduzido e cobertura permanente do solo onde os resíduos da colheita permanecem na sua superfície.

**Agricultura de subsistência:** sistema de agricultura com produção de alimentos suficiente para sustentar uma família ou um grupo reduzido de pessoas.

**Águas subterrâneas:** todas as águas encontradas abaixo da superfície do solo na zona de saturação. Estas águas formam-se a partir da infiltração da água da chuva no solo e por aportes dos cursos superficiais. Com a força da gravidade a água penetra verticalmente pelo solo até atingir uma camada impermeável, onde escorre lateralmente até desaguar em coletores maiores.

**Alcalina:** substância que se comporta como uma base. Exemplo são os hidróxidos dos metais alcalinos e de amônio, os quais neutralizam os ácidos para formar sais.

**Aluvião:** depósitos de sedimentos transportados por um rio ou riacho; em geral são terras agrícolas muito produtivas.

**Anaeróbico:** é um termo técnico que significa vida sem ar (onde "ar" refere-se ao oxigênio); é o oposto ao termo aeróbico.

**Ânion:** um íon com carga negativa.

**Antrópica:** gerada pelo homem.

**Areia:** conjunto de partículas originadas da desagregação das rochas, cujo tamanho varia entre 0,063 a 2 mm.

**Argila:** partículas minerais presentes no solo com dimensão inferior a 0,002 milímetros.

**Argilas do tipo 1:1:** argilas, cuja estrutura é composta pelo empilhamento de uma camada T - tetraédrica - e uma O - octaédrica - e assim de modo sucessivo.

**Argilominerais:** silicatos de tamanho das argilas, capazes de reter, no espaço entre as camadas, quantidades significativas de água e outras substâncias.

**Base:** substância que aceita íons de hidrogênio; o oposto de ácido.

**Biocombustível:** combustível líquido produzido a partir de alcoóis presentes em determinadas espécies vegetais (por exemplo, o etanol obtido a partir da cana de açúcar).

**Bioma:** áreas da superfície terrestre com relações do clima-flora-fauna características (por exemplo, floresta úmida tropical).

**Biomassa:** a quantidade total de organismos vivos presentes na superfície e debaixo da terra numa área específica e num determinado momento.

**Bolsón:** em Argentina, Colômbia, Guatemala e México. Bacia entre montanhas, relativamente circular e às vezes atravessada por um rio que permite o deságue para o seu exterior.

**Camada ativa:** camada do solo sujeita a processos anuais de congelamento e degelo. Camada superior do permafrost.

**Camada arável:** zona superior do solo destinada ao cultivo. Geralmente oscila entre os 10 e 50 cm de espessura.

**Capacidade de Campo (CC):** é o conteúdo de água ou de umidade que o solo é capaz de reter após ter sido saturado ou encharcado e após deixá-lo drenar livremente (sem considerar as perdas por evapotranspiração) até que o seu potencial hídrico se estabilize (ao redor de 24 a 48 horas após a chuva ou irrigação).

**Capacidade de Retenção de Água Disponível (CRAD ou Água Útil - AU):** difere para cada tipo de solo de acordo com a sua textura. A CRAD (AU) define um valor de conteúdo de água no solo situado entre a Capacidade de Campo (limite superior) e o Ponto de Murcha Permanente (limite inferior).

**Capacidade de troca catiônica (CTC):** a capacidade do solo em manter os nutrientes disponíveis para as plantas.

**Capacidade tampão:** capacidade do solo em reduzir níveis elevados de alcalinidade ou acidez (por exemplo, os solos calcários são capazes de neutralizar os ácidos).

**Carbonatos:** sais de ácido carbônico. Os sais têm em comum o ânion CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e são derivados do ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). O carbonato mais abundante é o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>).

**Carbono:** elemento não metálico de símbolo C e número atômico 6. O carbono orgânico do solo (COS) relaciona-se com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, afetando as propriedades do solo relacionadas com o rendimento sustentável dos cultivos a longo prazo. O COS influencia na quantidade e disponibilidade dos nutrientes do solo.

**Cátion:** partícula com carga positiva.

**Ciclo do carbono:** refere-se a transformação do dióxido de carbono para formas orgânicas, através da fotossíntese, com posterior reciclagem através da biosfera (com incorporação parcial aos sedimentos) e, finalmente, o retorno ao seu estado original através da respiração ou combustão.

**Clima:** média do tempo atmosférico de um determinado lugar, durante um longo período de tempo, geralmente 30 anos.

**Clima temperado:** tipo de clima que se caracteriza por temperaturas médias anuais ao redor de 15°C e precipitações médias anuais variando entre 500 e 1.000 mm.

**Clima tropical:** tipo de clima típico dos trópicos, não árido. As temperaturas médias em todos os meses do ano são superiores a 18°C.

**Colheita:** refere-se à coleta ou recolhimento de frutos, sementes ou legumes no campo, em determinada época do ano quando estes atingiram seu período de maturação.

**Comissão Europeia:** órgão executivo da União Europeia encarregado de propor leis, verificar a implementação das decisões e de manter os seus tratados

**Compactação do solo:** processo resultante da compressão mecânica das partículas do solo e agregados (muitas partículas do solo juntas em uma única porção do mesmo). A compactação causa a quebra dos agregados maiores e a redução ou eliminação dos espaços (poros) entre as partículas do solo.

**Condutividade Elétrica (CE):** serve para medir a concentração total de sais no solo; à medida que o solo seca, a CE da solução do solo aumenta. A uma mesma quantidade de sais aplicada ao solo, a concentração de sais na solução do solo na capacidade de campo será menor em relação ao solo mais seco.

**Condutividade hidráulica:** velocidade de percolação da água no solo. É um fator de proporcionalidade da lei de Darcy que trata do fluxo viscoso de água no solo.

**Congelamento:** a redução da temperatura do ar em níveis inferiores ao ponto de congelamento da água (0 °C).

**Coníferas:** plantas lenhosas, em sua maioria árvores (às vezes arbustos). É o grupo mais importante das gimnospermas, tanto do ponto de vista ecológico quanto do econômico. As suas folhas têm forma de agulha.

**Contaminação:** a presença de concentrações nocivas de alguns elementos e compostos químicos (contaminantes). É um tipo específico de degradação do solo.

**Contaminante:** elemento de concentrações maiores que as habituais (anomalias), produzindo efeito adverso em alguns organismos. De acordo com a sua origem, podem ser geogênicos ou antropogênicos. Os primeiros podem ter sido derivados da mesma rocha matriz que se formou o solo, da atividade vulcânica ou da lixiviação dos próprios minérios. Ao contrário, os antropogênicos são originados de resíduos derivados de atividades industriais, agrícolas ou de mineração, bem como de resíduos sólidos urbanos.

**Cultivo zero\ Plantio Direto:** consiste em semear os cultivos diretamente no solo, sem remover os resíduos de cultura do cultivo anterior. É utilizado como técnica de conservação de solos e na agricultura sustentável.

**Deslizamento de terra:** o deslocamento de massas do solo causado pelo excesso de água no terreno e pelo efeito da força da gravidade.

**Desmatamento:** a remoção de árvores em uma área arborizada.

**Densidade do solo:** peso seco de uma unidade de volume de solo, geralmente expresso em unidades do Sistema Internacional (kg/m<sup>3</sup>).

**Depósitos coluvionares:** acumulações de materiais de tamanhos diversos, mas de litologia homogênea, englobados em uma matriz arenosa. Distribui-se irregularmente nas vertentes do território montanhoso. e é formado pela alteração e desintegração in situ das rochas localizadas nas encostas superiores adjacentes, com a ação da gravidade.

**Deslizamentos:** movimento lento de uma massa de solo e de fragmentos de rochas em uma vertente com mais de 15 ° de inclinação, sobre a qual tende a deslizar. Os deslizamentos são favorecidos pela infiltração da água e contato do solo e dos fragmentos de rochas com as rochas abaixo, inclinadas em direção ao declive da vertente.

**Dióxido de carbono:** composto químico natural formado por dois átomos de oxigênio ligados a um átomo de carbono (CO<sub>2</sub>). Em condições normais, encontra-se em estado gasoso. Durante o processo da fotossíntese, as plantas absorvem o dióxido de carbono para produzir energia na forma de carboidratos. O dióxido de carbono também é produzido através da combustão de hidrocarbonetos (por exemplo, petróleo), da fermentação de líquidos e por meio da respiração dos mamíferos. É reconhecido como um gás causador do efeito de estufa.

**Ecótono:** zona de transição entre dois ou mais ecossistemas diferentes.

**Eluvição:** processo de translocação (remoção) vertical de materiais de um horizonte do solo pelo movimento da água.

**Emissões GEE:** a industrialização e a conversão de áreas florestais para terras agrícolas tem levado a um incremento significativo da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera.

**Eólico:** relacionado ao vento.

**Erosão:** processo natural de movimento das partículas do solo de um lugar para outro, principalmente pela ação da água (erosão hídrica) ou do vento (erosão eólica).

**Escoamento:** termo hidrogeológico que faz referência à lâmina de água que circula sobre a superfície numa bacia de drenagem, ou seja, a altura em milímetros de água da chuva. Pode ser calculado da seguinte maneira: precipitação menos a evapotranspiração real, menos a infiltração da água para o solo.

**Esmectitas:** família de argilas que se expandem quando umedecidas em água ou em certos líquidos orgânicos.

**Estrutura do solo:** agregação das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) em unidades compostas, denominadas agregados. Estes são separados dos adjacentes por superfícies de fraca resistência. São classificadas quanto à forma, tamanho e grau de distinção.



**Evapotranspiração:** consultar p.18

**Evapotranspiração potencial (ETP):** a máxima quantidade de água que pode evaporar de um solo completamente coberto de vegetação, que se desenvolve em condições ótimas, supondo-se o caso de não existir limitações quanto à disponibilidade de água. A magnitude da ETP é regulada apenas pelas condições meteorológicas ou climáticas do momento ou do período no qual a estimativa for realizada.

**Exsudados das raízes:** além dos produtos liberados ao solo pelos microrganismos, as plantas também emitem uma multitude de substâncias pelas raízes, tanto de secreções como para fins concretos. Entre esses objetivos concretos existem exsudados que atraem as bactérias (por exemplo, bactérias simbiontes no caso das leguminosas) e fungos para a rizosfera.

**Feldspatos:** grupos de minerais que constituem cerca de 60% do volume da crosta terrestre. Os mais importantes são os ortoclásios (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), a albita (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) e a anortita (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>).

**Fertilidade do solo:** é a capacidade inerente de um solo fornecer nutrientes essenciais, em quantidades e proporções adequadas ao desenvolvimento das plantas.

**Fertilização:** Aplicação de nutrientes, em formas químicas saudáveis e assimiláveis pelas raízes das plantas, para manter e/ou aumentar o teor destes elementos nos solos.

**Fertilizante:** substância que é adicionada ao solo a fim de fornecer aqueles elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas. Os fertilizantes completos dispõem de três macronutrientes para as plantas: nitrogênio, fósforo e potássio.

**Floresta tropical ou floresta tropical úmida:** formação vegetal de clima tropical úmido que se caracteriza pelas elevadas pluviosidade (2.000 a 5.000 mm por ano) e temperatura média anual.

**Fluvial:** associado aos rios e córregos e aos depósitos e relevos formados por estes.

**Fosfatos:** sais originados do ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Os fosfatos são compostos essenciais na formulação dos adubos minerais. A sua disponibilidade é um fator limitante para a produtividade da maioria dos solos tropicais.

**Fósforo:** elemento químico de número atômico 15 e símbolo P. Encontra-se na natureza e nos organismos vivos na forma de fosfatos inorgânicos, mas nunca em sua forma elementar. Forma parte das moléculas de DNA e RNA.

**Fotossíntese:** processo pelo qual os organismos que tem clorofila, como as plantas verdes, as algas e algumas bactérias, capturam energia em forma de luz e a convertem em energia química.

**Gases de Efeito Estufa (GEE):** gases que capturam o calor da atmosfera, contribuindo, desta forma, para o aquecimento global.

**Geologia:** a ciência que estuda a composição e estrutura interna do planeta terra e seus processos de formação ao longo do tempo geológico.

**Geomorfologia:** é o ramo da Geografia que estuda as formas da superfície terrestre.

**Glaciar:** massa de gelo originada na superfície terrestre pela acumulação, compactação e recristalização da neve.

**ha:** ver hectare.

**Habitat:** é o espaço que reúne as condições adequadas para que uma espécie possa viver e reproduzir, perpetuando a sua presença.

**Halomórfico:** um solo é considerado halomórfico quando apresenta sais no perfil. São típicos de climas secos onde o balanço hídrico é negativo (evapotranspiração maior que a precipitação) e as chuvas são insuficientes para lixiviar estes sais.

**Hardpan:** termo em inglês para designar um horizonte endurecido; uma camada densa e impermeável, geralmente encontrada abaixo do topo do solo.

**Hectare:** a superfície que ocupa um quadrado de 100 m de lado, totalizando uma área de 100 m x 100 m =10.000 m². A sua abreviatura é “ha”.

**Hidrogênio:** elemento químico representado pelo símbolo H e de número atômico 1. Em condições normais de pressão e temperatura, é um gás diatômico incolor, inodoro, insípido, não metálico e altamente inflamável.

**Horizontes do solo:** camadas aproximadamente paralelas à superfície do solo, de constituição mineral ou orgânica dotadas de propriedades geradas por processos de formação do solo. Diferentes processos geram diferentes horizontes em um perfis de solo. .

**Horizontes diagnósticos:** são determinadas camadas do solo originadas por processos pedogenéticos naturais, cujas características morfológicas, físicas ou químicas são definidas com precisão, tanto qualitativa como quantitativamente, e serve para identificar e distinguir “taxa” (classes) de solos.

**Humificação:** é o processo de formação do húmus (ou seja, o conjunto dos processos responsáveis pela transformação da matéria orgânica). A transformação da matéria orgânica pode levar á destruição total dos compostos orgânicos, originando produtos inorgânicos simples, como CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O. Neste caso, denomina-se mineralização da matéria orgânica.

**Húmus:** é a substancia composta por certos produtos orgânicos de natureza coloidal, resultante da decomposição dos resíduos orgânicos por organismos e microrganismos (fungos e bactérias).

**Iluviação:** descida de materiais do horizonte A para o horizonte B. Os elementos migratórios consistem, sobretudo, de partículas de argila, de óxidos de ferro e alumínio e húmus.

**Intercâmbio de cátions:** a troca entre um cátion presente na solução do solo e outro cátion presente na superfície de uma partícula com carga negativa (por exemplo, argila ou matéria orgânica). Constitui o principal processo de absorção de nutrientes pelas plantas.

**Íon:** átomo ou agrupamento de átomos que, por perda ou ganho de um ou mais elétrons, ganha uma carga elétrica.

**Lençol freático:** a superfície da zona saturada da água subterrânea. Normalmente, a pressão nesta zona é igual à atmosférica.

**Lixiviação:** fenômeno de deslocamento de substâncias solúveis (argila, sais, ferro, húmus) causado pelo movimento vertical da água no solo. É um processo característico dos climas úmidos.

**Loess:** depósitos de silte originados pelo transporte e deposição eólicas de partículas com tamanhos predominantemente entre 0,01 a 0,05 mm.

**Manguezal:** ecossistema tropical dominado por árvores e arbustos de mangue situado na zona de contato entre o mar e a terra.

**Manto de Intemperismo:** a parte superior da pedosfera, correspondendo a camada de material intemperizado que recobre a superfície da terra.. Existem mantos de intemperismo jovens que se denominam sialíticos e fersialíticos (com predomínio de minerais de argila 2:1 ou 2:1 e 1:1, com ferro livre), bem como mais desenvolvidos, que são os ferralíticos. Nestes predominam a caulinita e os sesquióxidos de ferro e alumínio. Nas regiões tropicais são encontrados mantos de intemperismo mais antigos, que foram formados in situ ou redepositados.

**Mesoamérica:** região do continente americano que compreende a metade meridional de México, os territórios de Guatemala, El Salvador e Belize, bem como oeste de Honduras, Nicarágua e Costa Rica.

**Matéria orgânica do solo (MOS):** conjunto de compostos heterogêneos com base de carbono, formados pela acumulação de materiais de origem animal e vegetal, parcial ou completamente decompostos.

**Micas:** minerais compostos de lâminas brilhantes, elásticas, finas e que riscam-se com a unha. É um silicato múltiplo com cores muito diversas e que forma parte de várias rochas.

**Micorriza:** associação, geralmente simbiótica, entre certos fungos do solo e as raízes da planta.

**Mineral:** substância natural inorgânica e geralmente sólida, com uma estrutura cristalina e composição química, cor e dureza características. Costuma se formar através de processos geológicos.

**Monocultura:** cultivo em uma grande extensão de terra de uma única espécie, resultando, assim, em uma similaridade genética, e utilização dos mesmos métodos de cultivo para toda o plantio.

**Mulch ou cobertura morta:** qualquer cobertura superficial do solo, de natureza orgânica ou inorgânica (palha, serragem, folhas, solo solto, plástico, etc.), que tem efeito protetor das gotas de chuva e raios de sol e ajuda o estabelecimento da vegetação.

**Nitratos:** sais formados do ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Os nitratos formam uma parte essencial de muitas formulações de adubos (nitratos de potássio, de amônio e cálcio).

**Nitrogênio:** o nitrogênio é um dos elementos principais para a vida. É essencial para as plantas porque estimula o crescimento de sua parte aérea. O nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>) compõe 78% da atmosfera terrestre.

**Nutrientes:** para que um solo produza adequadamente, deve fornecer à planta os nutrientes em quantidades necessárias e em equilíbrio uns com os outros. As plantas requerem para seu crescimento, determinados elementos essenciais inorgânicos, a maioria dos quais são obtidos do solo. São eles: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, B e alguns outros elementos são necessários apenas para algumas plantas, como o Ni , Co e Si. Cada tipo de nutriente exerce uma função na planta e sua deficiência é detectável, às vezes, ao observá-la visualmente (p. ex., alteração da cor das folhas).

**Oxidação:** processo eletroquímico pelo qual um átomo ou íon aceita elétrons. É o processo oposto ao de redução (ver glossário).

**Óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio:** Os óxidos e hidróxidos de Fe<sup>3+</sup> (e habitualmente os de alumínio e manganês) tendem a acumular-se no solo como consequência dos processos de alteração de outros minerais, constituindo a fase estável de ferro na superfície ou condições próximas à superfície.

**Pântano:** depressão do terreno, geralmente de pouca profundidade, onde acumula e estagna água natural e cujo fundo é lodoso.

**Pastos permanentes:** áreas utilizadas para o cultivo de gramíneas ou outras plantas herbáceas, sejam naturais (espontâneas) ou cultivadas (semeadas), as quais não incluídas na rotação de culturas da exploração durante cinco anos ou mais.

**Pedogênese:** processo pelo qual o solo é formado. É o principal objeto de estudo da ciência do solo e da pedologia.

**Perfil de um solo:** seção ou corte vertical, com dimensão entre um e dois metros de profundidade (se não surgir a rocha matriz antes), que os pedólogos utilizam para analisar, descrever, coletar e classificar o solo.

**Permafrost:** é a camada de gelo permanentemente congelada nos níveis superficiais do solo das regiões muito frias ou periglaciares.

**Permeabilidade:** capacidade que tem um material, neste caso o solo, de permitir que um fluído (por exemplo, a água) o atravesse sem alterar a sua estrutura interna. Muitos fatores afetam a permeabilidade do solo, que geralmente está relacionada à sua textura e estrutura.

**Pirita:** mineral pertencente do grupo dos sulfetos com a formula química FeS<sub>2</sub>.

**Podzolização:** processo de formação de solos, que resulta na gênese dos Podzols.

**Ponto de Murcha Permanente:** representa-o teor de água no solo no qual uma planta sofre murcha e não mais recupera a turgescência normal das folhas quando novamente colocada em ambiente de atmosfera saturada de vapor d’água.

**Poro:** Espaço entre os agregados que formam o solo. É a parte do volume do solo não ocupado por partículas sólidas. Pode ser preenchido por ar ou água.

**Potássio:** um dos nutrientes minerais essenciais para as plantas, absorvido em grande quantidade, tal como o nitrogênio e o fósforo. As plantas absorvem o potássio que se encontra na solução do solo na forma de cátion (K<sup>+</sup>). A falta deste elemento influi negativamente no rendimento e na qualidade do cultivo.

**Pousio:** técnica em que o solo é mantido em repouso durante um ou vários ciclos vegetativos a fim de recuperar a sua fertilidade natural, além de evitar o ataque de doenças aos cultivos que sucederão o pousio (espera-se que o ciclo dos patógenos cheguem ao fim sem serem renovados devido à falta de hospedeiros).

**Precipitação:** a água que chega ao solo em forma de chuva, neve ou granizo.

**Produtividade do solo:** a capacidade do solo de produzir cultivos. Os principais fatores que influenciam na produtividade do solo são o teor de matéria orgânica (incluindo a biomassa microbiana), a textura, a estrutura, a profundidade, o teor de nutrientes, a capacidade de armazenamento da água e a presença de elementos tóxicos.

**Quartzo:** mineral muito comum nos solos devido à sua abundância natural na maior parte das rochas e sua resistência ao ataque químico. O quartzo confere ao solo boa parte de sua porosidade devido estar na forma de grânulos mais ou menos grossos O quartzo são mais abundantes nos solos de estrutura fraca e de textura arenosa.

**Quaternário, período:** período geológico que vai de cerca de 2 até 1,65 milhões de anos. O quaternário está dividido em duas épocas: Pleistoceno, o primeiro e mais longo que inclui períodos glaciares; e a época recente ou pós-glacial, também conhecida como Holoceno, na qual vivemos atualmente.

**Qualidade do solo:** a utilidade do solo para um propósito específico em uma escala ampla de tempo; é o estado das propriedades dinâmicas do solo (conteúdo de matéria orgânica, a diversidade de organismos, ou produtos microbianos) num determinado período de tempo.

**Quelante:** substância que forma complexos com íons de metais pesados.

**Quelato:** (do grego,chele, "garra") são complexos formados pela união de um metal com um composto orgânico que contém dois ou mais ligantes potenciais. O quelato de ferro serve para levar ferro para as plantas.

**Redução:** processo eletroquímico em que um átomo ou íon ganha elétrons. Ocorre a diminuição do seu estado de oxidação (ver glossário). Quando um íon ou átomo é reduzido, apresenta as seguintes características: ganha elétrons, atua como agente oxidante,é reduzido por um agente redutor e diminui seu número de **oxidação**.

**Regolito:** termo geral utilizado para descrever a camada de materiais não consolidados, alterados, tais como fragmentos de rochas, minerais e outros depósitos superficiais, que repousam sobre a rocha sólida inalterada. O solo se forma na parte superior dessa camada, que vem a ser o seu material de origem.

**Rendimento:** a quantidade de uma colheita específica (por exemplo milho, café ou feijão) produzida por unidade de superfície. Geralmente é expressa em kg/ha.

**Rizosfera:** parte do solo imediata às raízes, onde surge a interação destas com os microrganismos do solo. As características químicas e biológicas da rizosfera se manifestam em uma porção de apenas 1 mm de espessura a partir das raízes.

**Rotação de cultura:** o plantio sucessivo de diferentes culturas em uma mesma área, seguindo uma ordem definida (por exemplo, milho-feijão-girassol ou milho-aveia). Este método é usado tradicionalmente para proteger o solo e/ou diminuir seu desgaste, bem como para evitar o crescimento descontrolado de pragas nos cultivos. Ao contrário, a **monocultura** é o plantio sucessivo de uma mesma espécie na mesma área, ano após ano.

**Sequestro ou captura de carbono:** é o processo de extração de carbono ou do CO<sub>2</sub> atmosférico e seu armazenamento num depósito. A fotossíntese é o principal mecanismo de sequestro de carbono. As bactérias fotossintéticas, a vegetação e a cadeia alimentar, são consideradas como sumidouros de carbono.

**Sedimento:** material sólido acumulado sobre a superfície terrestre (litosfera), derivado das ações de fenômenos e processos que atuam na atmosfera, hidrosfera e biosfera (ventos, variações de temperatura, precipitações, deslocamento das massas de água em ambiente marinho ou lacustre, ações de agentes químicos ou de organismos vivos).

**Selagem do solo:** cobertura do solo de forma permanente com material impermeável artificial, como concreto ou asfalto. Este fenômeno afeta os serviços dos ecossistemas básicos, tais como a produção de alimentos, a absorção da água, filtragem e a capacidade de armazenamento do solo, assim como a biodiversidade.

**Sílica:** também conhecida como óxido de silício (IV) ou dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), é um composto de silício e oxigênio. É um dos componentes da areia e uma das formas naturais do quartzo.

**Silte:** material desagregado com uma fração granulométrica de diâmetro entre a argila e a areia fina (0,002 - 0,063 mm).

**Subsolo (geralmente conhecido como horizonte B):** são as camadas subjacentes ao horizonte A (debaixo da camada superficial do solo e da camada arável, normalmente abaixo de 30 cm de profundidade). De maneira semelhante à camada superior do solo, o subsolo é composto de uma mistura variada de partículas minerais, mas com pequeno ou nulo teor de matéria orgânica. Abaixo do subsolo se encontra o material parental que geralmente está pouco afetado pelos fatores de formação do solo.

**Sumidouro de carbono:** um meio que absorve ou toma o carbono emitido durante alguma fase do seu ciclo. São sumidouros de carbono a atmosfera, a biosfera terrestre (incluindo o solo), os oceanos e os sedimentos geológicos (incluindo os combustíveis fósseis).

**Textura do solo:** conteúdo relativo de partículas de diferentes tamanhos no solo, como a areia, o silte e a argila. É uma característica relacionada à facilidade de se trabalhar o solo, à quantidade de água e ar que o solo é capaz de reter e a velocidade com que a água nele penetra e atravessa.

**Turfa:** Material orgânico de cor acastanhada escura. É formada por uma massa esponjosa e leve (baixa densidade), em que ainda estão presentes os componentes vegetais que a originaram, ou seja, o material orgânico é não decomposto ou apenas ligeiramente decomposto. Representa o primeiro estágio de formação dos carvões. É utilizado como combustível.

**Vermiculita:** mineral expansivo formado por silicato de alumínio, ferro e magnésio. É um filossilicato 2:1 com alta capacidade de troca de cátions e originado da alteração das micas.

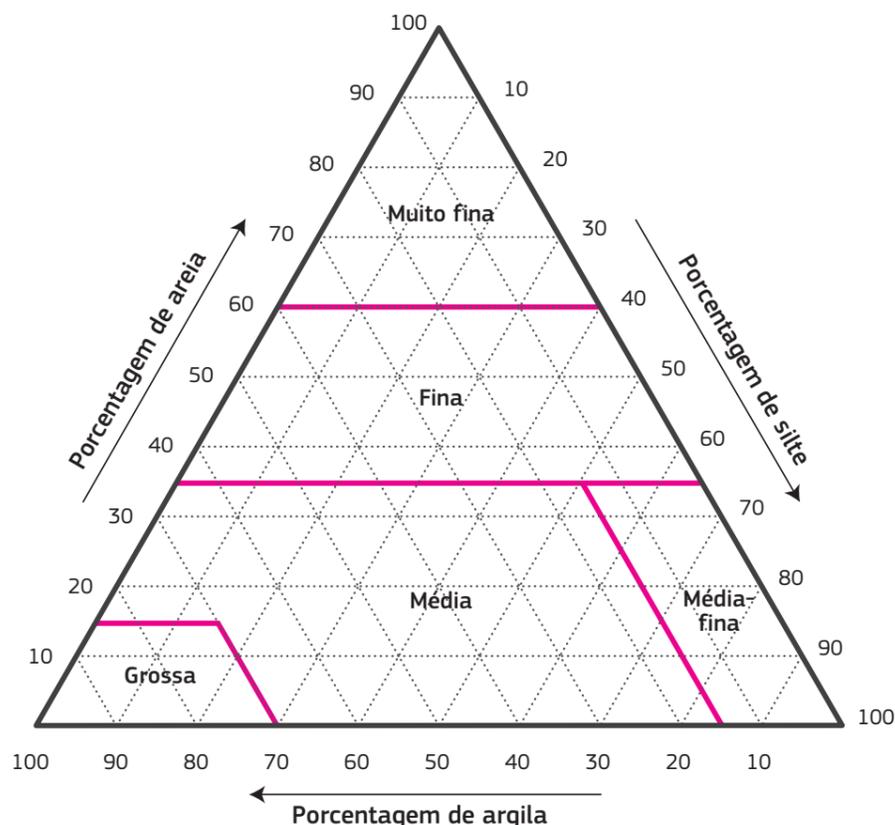
**Zonalidade:** disposição das zonas do planeta com características ambientais homogêneas. Pode ser de dois tipos: (1) a zonalidade latitudinal (do Equador até os pólos geográficos) estabelece que, a medida que nos afastamos do Equador, encontramos áreas de temperatura mais baixa; e (2) a zonalidade altimétrica ou altitudinal (do nível do mar até o cume das montanhas), que determina a variação dos valores de temperatura e umidade em relação inversa a altitude (quanto maior a altitude, mais baixas a temperatura e umidade).

**Zona úmida:** é uma zona geralmente plana em que a superfície é inundada de maneira permanente ou intermitente. O solo, ao ser coberto regularmente de água, fica saturado e desprovido de oxigênio, dando lugar a um ecossistema híbrido entre os puramente aquáticos e os terrestres.

### Escala de tempo geológico

Idade (m.a.)	Era	Período	Época
0,01 - 0	Cenozóico	Quaternário	Holoceno
1,8 - 0,01			Pleistoceno
5,3 - 1,8		Neogeno	Plioceno
23,8 - 5,3			Mioceno
33,7 - 23,8			Oligoceno
54,8 - 33,7		Paleogeno	Eoceno
65 - 54,8			Paleoceno
144 - 65		Mesozóico	Cretáceo
206 - 144			Jurássico
248 - 206			Triássico
290 - 248	Paleozóico	Permiano	
354 - 290		Carbonífero	
417 - 354		Devoniano	
443 - 417		Siluriano	
490 - 443		Ordoviciano	
540 - 490		Cambriano	
2500 - 540	Proterozóico		
4550 - 2500	Arqueano		

m.a. = Milhões de anos



Fotografia selecionada no II Concurso de Fotografia da Associação Argentina de Ciência do Solo, realizado em 2012. O uso da fotografia como uma forma de expressão pessoal é um meio adequado para difundir e conscientizar as pessoas sobre a importância do recurso solo. O tema deste concurso foi "Pensando no solo da América Latina, Espanha e Portugal". Título da fotografia: Desabitada. Salar de Uyuni, Bolívia, 2009. (FNF)

## Contatos e bibliografia

Se deseja conhecer mais sobre os solos no seu país ou sobre as atividades da União Europeia no domínio da proteção do solo pode fazê-lo através do seguinte contato:

Luca Montanarella  
European Commission, DG - JRC  
Via E. Fermi, 2749  
I-21027 Ispra (VA)  
ITALIA  
e-mail: luca.montanarella@jrc.ec.europa.eu

### Contatos sugeridos para a informação nacional

#### ARGENTINA

Marcos Angelini  
Instituto de Suelos. CIRN - INTA  
De los Reseros y Nicola 's Repetto 1686, Hurlingham  
Provincia de Buenos Aires  
ARGENTINA  
e-mail: mangelini@cni.inta.gov.ar

#### BOLIVIA

Javier Burgos  
Centro de Investigación y de Servicios en Teledetección (CISTEL)  
Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón (UMSS)  
Av. Petrolera km. 4.5, Cochabamba  
BOLÍVIA  
e-mail: alfredob2216@yahoo.com

#### BRASIL

Maria de Lourdes Mendonça Santos  
Embrapa-Solos  
Rua Jardim Botânico, 1024  
CEP. 22460-000, Rio de Janeiro, RJ  
BRASIL  
e-mail: lourdes.mendonca@Embrapa.br

#### CHILE

Gerardo Reyes Calvo  
Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)  
Av. Manuel Montt 1164  
Santiago, XIII  
CHILE  
e-mail: greyes@ciren.cl

#### COLÔMBIA

Ricardo Siachoque Bernal  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)  
Carrera 30 No 48-51  
Bogotá  
COLÔMBIA  
e-mail: rsichoque@hotmail.com

#### COSTA RICA

Rafael Mata  
Centro de investigaciones Agronómicas  
Universidad de Costa Rica  
Calle la Cruz  
San Pedro  
COSTA RICA  
e-mail: rafael.mata@ucr.ac.cr

#### CUBA

Olegario Muñoz Ugarte  
Instituto de Suelos (IS) - Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo  
Autopista Costa Costa Km 8 . y antigua Carretera de Vento  
Capdevila, Boyeros  
CP 10800 - La Habana  
CUBA  
e-mail: sccsmuniz@ceniai.inf.cu

#### EQUADOR

Augusto González Artieda  
Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por  
Sensores Remotos (CLIRSEN)  
Jose Valentin OE-522 y La Isla  
Quito  
EQUADOR  
e-mail: gaugustor@yahoo.com

#### EL SALVADOR

Jose Luis Colacho Ortega  
Asociación Salvadoreña de la Ciencia del Suelo (ASCS)  
Avenida Olímpica 3838- Colonia Escalón  
San Salvador  
EL SALVADOR  
e-mail: colochortega@gmail.com

#### GUATEMALA

Hugo Antonio Tobias  
Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos (FAUSAC)  
Oficina B-11 Edificio T-8 Ciudad Universitaria Zona 12.  
Guatemala  
GUATEMALA  
e-mail: hugotobiasv@gmail.com

#### HONDURAS

Carlos Antonio Gauggel Rivas  
Universidad Agrícola Panamericana de Zamorano (UAPZ)  
Apartado Postal 93  
Tegucigalpa  
HONDURAS  
e-mail: ggauggelarevalo@hotmail.com

#### MÉXICO

Carlos Cruz Gaistardo  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.  
Dirección General de Geografía  
Departamento de Suelos  
Av. Héroe de Nacozari 2301 Sur  
Puerta 9, 1er. Nivel  
Fracc. Jardines del Parque  
C.P. 20276  
Aguascalientes  
MÉXICO  
e-mail: carloscruzg@yahoo.com.mx

#### NICARÁGUA

Jorge Luis Martínez Rayo  
Facultad de Ciencias Agropecuarias UCATSE  
Esteli  
NICARÁGUA  
e-mail: jmartinazaret@yahoo.com

#### PANAMÁ

Jose Ezequiel Villarreal  
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)  
Edifs. 161 y 162  
Ciudad del Saber, Clayton  
Calle Carlos R. Lara  
PANAMÁ  
e-mail: villarrealjose47@gmail.com

#### PARAGUAI

Arnulfo Encina Rojas  
Departamento de Suelos Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional de Asunción  
Casilla de Correos 1618  
Campus Universitario  
San Lorenzo  
PARAGUAI  
e-mail: villarrealjose47@gmail.com

#### PERU

Julio Alegre Orihuela  
Facultad de Agronomía Depto. de Suelos  
Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)  
Calle Atahualpa 210  
Depto 613-A Miraflores  
Lima 18  
PERU  
e-mail: jalegre@lamolina.edu.pe

#### PORTO RICO

Thomas Reinsch  
United States Department of Agriculture (USDA)  
Natural Resources Conservation Service  
5601 Sunnyside Avenue  
Beltsville, MD 20705-5471  
EE.UU/USA  
e-mail: thomas.reinsch@wdc.usda.gov

#### REPÚBLICA DOMINICANA

Pedro Antonio Núñez  
Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales  
(IDIAF)  
Rafael Augusto Sánchez, 89  
Ensanche Evaristo Morales  
Santo Domingo  
REPÚBLICA DOMINICANA  
e-mail: pnunez58@gmail.com

#### URUGUAI

Mariana Hill  
Dirección General de Recursos Naturales Renovables  
Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP)  
Av. Garzón 456  
Montevideo  
URUGUAI  
e-mail: mhill@mgap.gub.uy

#### VENEZUELA

Juan Comerma  
Sociedad Venezolana de Ciencias del Suelo (SVCS)  
Calabozo  
Guárico  
VENEZUELA  
e-mail: comermasteffensen@gmail.com

### Contatos internacionais

#### FAO

Ronald Vargas Rojas  
Oficial de Solos e Manejo de Terras  
Divisão de Terras e Águas (NRL)  
Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura  
(FAO)  
Viale delle Terme di Caracalla  
00153 Roma  
ITALIA  
e-mail: Ronald.Vargas@fao.org

#### Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Km 17, Recta Cali-Palmira  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

<http://ciat.cgiar.org/es/>

#### Sociedade Latino-americana da Ciência do Solo

[www.slcs.org.mx/educacion.htm](http://www.slcs.org.mx/educacion.htm)

### Acrônimos de outras organizações mencionadas no Atlas

**CeNPat:** Centro Nacional Patagónico (Argentina)  
**IANIGLA:** Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (Argentina)  
**INCA:** Instituto Nacional de Ciencias Agrarias (Cuba)  
**IPE-CSIC:** Instituto Pirenaico de Ecología (Espanha)  
**NPO:** National Planning Office (Suriname)  
**RAINFOR:** Amazon Forest Inventory Network (Brasil)  
**SAGARPA:** Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (México)  
**SOPACIS:** Sociedad Paraguaya de Ciencias del Suelo (Paraguai)  
**UDELAR:** Facultad de Agronomía (Uruguai)  
**UNA:** Universidad Nacional Agraria (Nicarágua)  
**UNAM:** Universidad Nacional Autónoma de México (México)



## Referencias bibliográficas

Os números entre parênteses no texto referem-se às referências listadas abaixo.

- UNEP, 2007. Global Environmental Outlook GEO4 – Environment for Development. Nairobi: United Nations Environment Programme. 540pp
- Palm, C.A., Smukler, S.M., Sullivan, C.C., Mutuo, P.K., Nyadzi, G.I. & Walsh M.G., 2010. Identifying potential synergies and trade-offs for meeting food security and climate change objectives in sub-Saharan Africa. *Proc Natl Acad Sci USA*, 107:19661-19666.
- Sachs, J., Remans, R., Smukler, S., Winowiecki, L., Andelman, S.J., Cassman, K.G., Castle, D., De Fries, R., Denning, G., Fanzo, J., Jackson, L.E., Leemans, R., Lehmann, J., Milder, J.C., Naeem, S., Nziguheba, G., Palm, C.A., Pingali, P.L., Reganold, J.P., Richter, D.D., Scherr, S.J., Sircely, J., Sullivan, C., Tomich, T.P. & Sanchez P.A., 2010. Monitoring the world's agriculture. *Nature*, 466:558-560.
- Sanchez, P.A., Ahamed, S., Carré, F., Hartemink, A.E., Hempel, J., Huising, J., Lagacherie, P., McBratney, A.B., McKenzie, N.J., Mendonça-Santos, M.L., Minasny, B., Montanarella, L., Okoth, P., Palm, C.A., Sachs, J.D., Shepherd, K.D., Vågen, T., Vanlauwe, B., Walsh, M.G., Winowiecki, L.A. & Zhang, G., 2009. Digital soil map of the world. *Science* 325, 680–681.
- Millennium Assessment, 2003. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press, Washington, DC.
- Lal R., 2009. Soils and food sufficiency. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 29: 113-133.
- OECD-FAO, 2009. Agricultural Outlook 2009-2018. <http://www.agri-outlook.org/dataoecd/2/31/43040036.pdf>
- Royal Society, 2009. Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture. The Royal Society, London, UK.
- OECD-FAO, 2010. Agricultural Outlook 2010-2019. <http://www.agri-outlook.org/dataoecd/13/13/45438527.pdf>
- FAO, 2006. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005 – Hacia la ordenación forestal sostenible. Estudio Montes N° 147. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/009/a0400s/a0400s00.htm>
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York, USA.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15: 259-263.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- WorldClim Database v1.4. <http://www.worldclim.org/>
- Van Wambeke, A., 1982. Calculated soil moisture and temperature regimes of Africa. SMSS Technical Monograph #3. Soil Management Support Services, Soil Conservation Service, USDA
- US Department of Agriculture Global Soil Temperature Regimes Database. <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/str.html>
- US Department of Agriculture Global Soil Moisture Regimes Database. <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/str.html>
- Kerr, Y.H., Waldteufel, P., Wigneron, J.-P., Delwart, S., Cabot, F., Boutin, J., Escorihuela, M.-J., Font, J., Reul, N., Gruhier, C., Juglea, S.E., Drinkwater, M.R., Hahne, A., Martín-Neira, M. & Mecklenburg, S., 2010. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle. *Proceedings of the IEEE*, 98 (5): 666 - 687.
- SMOS. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/The\\_Living\\_Planet\\_Programme/Earth\\_Explorers/SMOS](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/SMOS)
- Bartholome, E.M. & Belward A.S., 2005. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth Observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 1959-1977.
- JRC, 2000. Global Land Cover Map 2000. EC-JRC. <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php>
- Center for International Earth Science Information Network - Population Database. <http://www.ciesin.org/>
- Nelson, A., 2008. Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. EC-JRC. <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/gam/>
- Simonson, R.W. 1959. Outline of a generalized theory of soil formation. *Soil Science Society of America Proceedings*, 23: 152-156.
- Sanchez, P.A., Bandy, D.E., Villachica, J.H. & Ntchoulaides, J.J., 1982. "Amazon Basin Soils Management for Continuous Crop Production," *Science*, 216: 821-827.
- CPCS, 1967. Classification des sols, Ecole nationale supérieure agronomique, Grignon, France. 87pp
- Segalen, P., Fauck, R., Lamouroux, M., Perraud, A., Quantin, P., Roederer, P. & Vieillefont, J., 1979. *Projet de Classification des Sols*. ORSTOM, Paris. 301pp
- De Bakker, H. & Schelling, J., 1966. *Systeem voor bodemklassifikatie voor Nederland*, De hogere niveaus, STIBOKA, Pudoc, Wageningen, The Netherlands. 217pp
- Van der Eyk, J.J., 1957. Reconnaissance soil survey in Northern Surinam. Thesis, Wageningen, The Netherlands.
- Soil Survey Staff, 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook. 436pp
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, Ma. del C., Ahrens, R., Cruz-Gaistardo, C.O., Sedov, S. & Solleiro-Rebolledo, E., 2013. *The soils of Mexico*. Dordrecht-New York-London-Tokyo-New Delhi: Springer. ISBN 978-94-007-5659-5. 186pp
- CETENAL, 1970. Modificaciones al Sistema de Clasificación FAO/UNESCO 1968, una opción ante el problema de clasificación de suelos para México. México.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources. 2nd edition. World Soil Resources Reports no 103, UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 128pp
- Selvaradjou, S-K., Montanarella, L., Spaargaren, O. & Dent, D., 2005. European Digital Archive of Soil Maps (EuDASM) - Soil Maps of Latin America & Caribbean Islands. EUR 21822 EN
- Institut de recherche pour le développement (IRD) Sphaera Map Portal. <http://www.cartographie.ird.fr/sphaera/>
- Jacomine, P.T.K. & Camargo, M.N., 1996. Classificação pedológica nacional em vigor. In: V.H. Alvarez, L.E.F. Fontes and M.P.F. Fontes (eds) *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil o e desenvolvimento sustentado*, SBRS-UFV, Viçosa, Brasil, pp675–689. Solos, Rio de Janeiro, Brazil. 306pp
- Beinroth, F.H., 1978. Relationship between U.S. Soil Taxonomy, the Brazilian soil classification system and FAO/UNESCO soil units. In: Bomemisza, E. and Alvarado, A. (eds) *Soil Management in Tropical America*, Proceedings of a Seminar held at CIAT, Cali, Colombia, 10–14 February 1974, Gordon Press, Raleigh, NC. pp92–108.
- Embrapa, 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2 ed. Embrapa Produção de Informação, Brasília – Embrapa-Solos, Rio de Janeiro, Brasil. 306pp
- Hernández Jiménez, A., Ascanio García, M.O., Moralez Díaz, M. & León Valido, A., 2006. La historia de la clasificación de suelos en Cuba. Editorial Félix Varela, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. 98pp
- Instituto de Suelos, 1975. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Serie Suelos 23, Academia de Ciencias de Cuba, Ciudad de La Habana, Cuba. 36pp
- Instituto de Suelos, 1999. Nueva Versión de Clasificación genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, Ministerio de la Agricultura, Ciudad de La Habana, Cuba. 64pp
- DSF, 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, División Suelos y Aguas, MGAP. Montevideo, Uruguay.
- De Boer, M.W.H., 1979. A System of Soil Classification for Surinam. Dienst Bodemkartering Surinam, Surinam. 59pp
- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Report No. 103. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN-10:9251055114.
- United States Department of Agriculture, 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service, Soil Survey Division Staff, U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- FAO, ISRIC, UNEP & CIP, 1998. Soil and terrain database for Latin America and the Caribbean, 1:5M. scale. CD-ROM, Land and Water Digital Media Series 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- van Engelen V.W.P. & Wen T.T., 1995. Global and National Soil and Terrain Digital Database (SOTER). Procedures Manual. ISRIC - World Soil Information, Wageningen, The Netherlands.
- van Engelen V.W.P. & Peters W.L., 1995. Soils and Terrain Digital Database for Six Countries in Latin America at scale 1:5,000,000 (SOTER-LA). Final Report, ISRIC - World Soil Information, Wageningen, The Netherlands.
- FAO-Unesco, 1974. Soil map of the World 1:5000000. Legend, Volume 1 -Unesco, Paris, France.
- FAO-UNESCO, 1974 - 1981. Soil Map of the World, sheet IV-1 and IV-2. Unesco, Paris FAO Unesco 1974-1981.
- Defence Mapping Agency, 1993. Digital Chart of the World.
- ESRI, 1992. The Digital Chart of the World for use with ARC/Info Data Dictionary. ESRI, Redlands, Calif., USA.
- Lagacherie, P., Coulouma, G., Ariagno, P., Virat, P., Boizard, H. & Richard, G., 2006. Spatial variability of soil compaction over a vineyard region in relation with soils and cultivation operations. *Geoderma*, 134, 207-216.
- Sunderlain, W., Hatcher, J., & Liddle, M., 2008. From exclusion to ownership? Challenges and opportunities in advancing tenure reform. Rights and Resources Initiative.
- Lambin, E.F., Geist, H.J. & Lepers, E., 2003. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions, *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1): 205-241.
- Seixas, M.A. & Ardila, J., 2002. La Agricultura de América Latina y el Caribe, sus Desafíos y Oportunidades, desde la Óptica del Cambio Tecnológico. Unpublished manuscript, Brasilia.
- Manuel-Navarrete, D., Gallopín, G., Blanco, M., Díaz Zorita, M., Ferraro, D. & Herzer, H., 2008. Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas. *Environment Development and Sustainability*.
- CEPAL, 2007. «Panorama de la inserción internacional de América Latina y el Caribe, 2006 Tendencias 2007». Santiago de Chile, septiembre. Publicación de las Naciones Unidas.
- UN DESA, 2009. Objetivos de Desarrollo del Milenio, Reporte 2009. [http://millenniumindicators.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2009/MDG\\_Report\\_2009\\_Es.pdf](http://millenniumindicators.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2009/MDG_Report_2009_Es.pdf)
- PNUMA, 2007. GEO 4: Perspectivas del medio ambiente mundial. Ed. Phoenix Design Aid, Danamarca. 540pp
- Cohen, A.J., Anderson, H.R., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Gutschmidt, K., Pope, A., Romieu, I., Samet, J.M & Smith, K., 2004. Mortality impacts of urban air pollution. En: Ezzati M, López AD, Rodgers A, Murray CJL, eds. *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*. Non-serial publication. OMS. Ginebra, Suiza. pp 50-52.
- United Nations Commission on Human Settlements (UNCHS), 2002. The State of the World Cities Report 2001. United Nations Publications, New York, NY.
- PNUMA, 2010. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe – GEO ALC 3 - PNUMA, Ciudad de Panamá. 380pp
- FAO, 2013. Land Use Systems Map. <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37139>
- Woods, W.I., Teixeira, W.G., Lehmann J., Steiner, C., Winkler Prins, A. & Rebellato, L., 2009. Amazonian Dark Earth: Win Sombroek's vision. 1. ed. Heidelberg: Springer. 309pp
- Villagran, X.S., Klokler, D., Nishida, P., Gaspar, M. & DeBlasis, P., 2010. Lecturas estratigráficas: arquitectura funeraria y deposición de residuos en el sambaqui Jabuticabeira II. *Lat. Am. Ant* 2: 195-216.
- Smith, N.J.H., 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Ann. Assoc American Geographers*. 70 (4): 553-56.
- Glaser, B., 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362 (1478): 187-196.
- OECD, 1994. Public policies for the protection of soil resources. *Environment Monographs OCDE/GD*, (94) 18, Paris, France. 77pp
- Lal, R., 1998. Soil Quality and sustainability. En Lal, R., W. H. Blum, C. Valentine y B. A. Stewart (Eds). "Methods for assessment of soil degradation", en: *Advances in Soil Science*. Boca Raton, New York, CRC Press. pp. 17-30.
- FAO, 2000. Land resource potential and constraints at regional and country levels. *World Soils Resource Report 90*. FAO, Rome, Italy. 114pp.
- FAO, ISRIC & ITC, 2001. Catholic University of Leuven and Wageningen Universiteit. *Lecture Notes on the Major Soils of the World: World Soil Resources Reports 94*. FAO, Rome, Italy.
- Gerrard, J., 2000. *Fundamentals of soils*. Routledge, London. 225pp
- Bautista, F., Zinck, A. J. & Cram, S., 2010. Los suelos de Latinoamérica: retos y oportunidades de uso y estudio. En: *Boletín del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica*. 2: 93-142.
- Bautista F, Durán-de-Bazúa C. & Villatoro-Resendiz J., 2000. La materia orgánica soluble en el mejoramiento de los suelos tropicales. En: Quintero-Lizaola, T. Reyna-Trujillo, L. Corlay-Chee, A. Ibañez-Huerta y N.E. García-Calderón (Eds). *La edafología y sus perspectivas al siglo XXI*. Colegio de postgraduados en ciencias agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Chapingo. pp 247-253. Edo. de México, México.
- Bautista F., 1999. Introducción al estudio de la contaminación

del suelo por metales pesados. Publicación de la Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México. 109pp

75. Blakely, J.K., Neher D.A. & Spongberg A.L., 2002. Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Applied Soil Ecology*, 21: 71-88.

76. Roehring, R., Langmaack, M., Schraeder, S. & Larink, O., 1998. Tillage systems and soil compaction, their impact on abundance and vertical distribution of Enchytraeidae. *Soil & Tillage Research*, 46: 117-127.

77. Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Sphritz, L. Fitton, R. Saffouri & R. Blair. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117-1123.

78. Farrell J.G. & Altieri M.A., 2004 *Sistemas agroforestales*. En: Altieri M.A. (Eds) *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo (Uruguay). 345pp

79. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.), 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 11.6 - Assessment of projected climate change for Central and South America. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

80. Rosenzweig, C., Neofotis, P., Vicarelli, M. & Xing, X. (eds.), 2008. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Observed Climate Change Impacts Database Version 1.0. Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/observed/>.

81. Poder Ejecutivo Federal. México, 2008. Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012. 96pp

82. UNEP, 2005. Atlas of Our Changing Environment. UNEP, New York. ISBN: 92-807-2571-8. 332pp

83. National Geographic en Español, 2008. Edición especial: El pulso de la tierra. Reporte visual de un planeta amenazado. pp. 38-39, 65-67.

84a. Suplemento de National Geographic Maps. Un mundo transformado. Publicación: Septiembre, 2002.

84b. Suplemento de National Geographic Maps. Clima cambiante. Publicación: Octubre, 2007.

85. USDA, 2000. Soil inorganic carbon map. <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/sic.html>

86a. República Bolivariana de Venezuela, 2005. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Caracas, Venezuela.

86b. Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2010. Segunda Comunicación Nacional de Brasil a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Brasília, Brasil.

86c. República Argentina, 2007. Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Buenos Aires, Argentina.

86d. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, 2009. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México D.F., México.

87. Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. & Sombroek, W.G., 1991. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. ISRIC/UNEP/FAO, Wageningen, Nairobi, Rome. ISBN-10: 9066720468

88. FAO, 2012. Situación de los bosques en el mundo 2007-2011. FAO, Rome, Italy.

89. Barreto, P., Souza Jr. C., Anderson, A, Salomao, R., Wiles, J. & Noguerón, R., 2005. Human pressure on the Brazilian Amazon Forest. Instituto Mundial de Recursos Imazon & World Resources Institute (WRI). 86pp

90. Worldwatch Institute, 2007. Vital signs 2007-2008. The Trends That Are Shaping Our Future. ISBN-13: 978-0-393-33129-5.

91. Oak Ridge National Laboratory [http://daac.ornl.gov/NPP/other\\_files/worldnpp1.txt](http://daac.ornl.gov/NPP/other_files/worldnpp1.txt)

92. Lal, R. & Cerri, C. (eds), 2006. Carbon sequestration in soils of Latin America. CRC Press. 554pp. ISBN-13: 978-1560221364

93. IUCN & UNEP, 2009. The World Database on Protected Areas (WDPA). UNEP-WCMC. Cambridge, UK. <http://www.wdpa.org>

94. Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H. & Roberts, C., 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters*, 8 (1): 23-29.

95. SAGARPA, 2009. Sistema de Análisis de los Impactos Ecológicos de la Actividad Ganadera. Documento de Referencia para la Estimación de la Erosión Actual del Suelo en México. Proyecto desarrollado por el Colegio de Postgraduados para la Coordinación General de Ganadería de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. 46pp.

96. Comunicaciones nacionales ante la convencion marco de las Naciones Unidas sobre cambio climatico. Países diversos.

97. Sanderson, E.W., Redford, K.H., Vedder, A., Coppolillo, P.B. & Ward, S.E., 2002. A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements. *Landscape and Urban Planning*, 58: 41-56.

98. FAO, 2010. Agricultura climáticamente inteligente. Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Rome, 54pp

99. Comisión Intersecretarial De Cambio Climático, 2009. México: Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Mexico, 274pp ISBN 978-607-7908-00-5.

100. Ontiveros, R., 2013. Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: escenarios, políticas y respuestas. Programa EUROCLIMA, Dirección General Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea. 176pp

101. Olson, D.C., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E., D'Amico, J.A., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., T.F. Allnutt, J.F. Lamoreux, T.H. Ricketts, I. Itoua, W.W. Wettengel, Y. Kura, 2001. A new map of the world. *BioScience*, 5: 933-938.

102. Hirota, M.M. Monitoring the Brazilian Atlantic Forest cover. In: Gllindo-Leal, C.; Camara, I.G. (eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. Washington, D.C.: Center for Applied Biodiversity Science and Island Press, 2003. pp.60-65.

103. Gajardo, R., 1994. *La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica*. Editorial Universitaria S.A. Santiago, Chile. 165pp

104. Rzedowski, J., 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. [http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx\\_Cont.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf)

105. del Valle H.F., 1993. Mallines de ambiente árido: Pradera salina y estepa arbustivo-graminosa en el noroeste del Chubut. En: J.M. Paruelo, M.B. Bertiller, T.M. Schlichter y F.R. Coronato (Eds.), pp. 31-39, *Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos: Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones*. Convenio Argentino-Alemán, Cooperación Técnica INTA-GTZ (LUDEPA-SME).

106. Moscatelli G., 1991. Los suelos de la Región Pampeana. En Osvaldo Barsky (ed) *El desarrollo agropecuario pampeano* pp 1-76. INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires.

107. Ghera CM. & León RJC., 2001. Ecología del paisaje pampeano: consideraciones para su manejo y conservación. En: *Ecología de Paisajes, Teoría y Aplicación*. Naveh Z. & Lieberman AS. (ed.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires.

108. Brady, N.C. & Weil, R., 2007. *The Nature and Properties of Soils* (14th edition, Language: English). Pearson Education. ISBN-10: 0135133874.

109. Skidmore, A. (ed), 2002. *Environmental modelling with GIS and remote sensing*. Geographic Information Systems Workshop Series, Publisher CRC Press. p. 268 ISBN 0415241707.

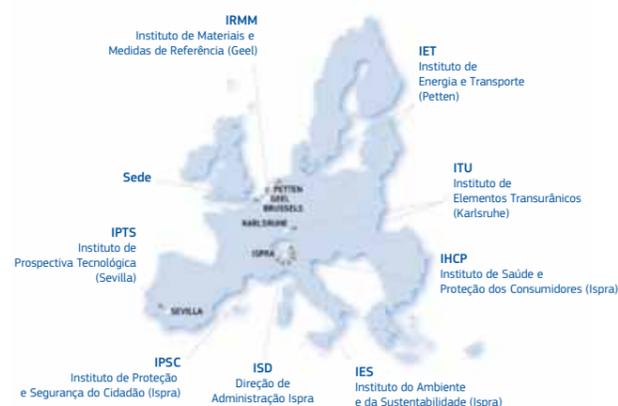
110. McBratney, A.B., M.L. Mendonça-Santos and B. Minasny, 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.

### Informação Adicional

Para mais informações relacionadas com o conteúdo da publicação:

[eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica\\_Atlas/index.html](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica_Atlas/index.html)

Todos os hiperlinks da web (URLs) apresentados neste atlas foram revisados em Abril de 2015.



Os sete institutos científicos e a sede de JRC. (JRC)



O Instituto do Ambiente e Sustentabilidade se localiza em Ispra, uma pequena localidade às margens do lago Maggiore ao norte de Itália. (JRC)



O salar de Uyuni (Bolívia) é o deserto de sal mais extenso (12.000 km<sup>2</sup>) e o mais alto (3.700 m de altitude) do mundo. Originou-se a partir da secagem de um lago salgado pré-histórico sem drenagem e cercado de montanhas. O sal é coletado de forma tradicional como se pode observar na imagem, acumulando-se em pequenas pilhas para que a água evapore. (LG)

## A Comissão Europeia



Este atlas foi elaborado mediante dois serviços da Comissão Europeia: a Direção-Geral do Centro Comum de Investigação e a Direção-Geral de Cooperação Internacional e Desenvolvimento – EuropeAid.

### Direção-Geral do Centro Comum de Investigação

A missão do Centro Comum de Investigação (JRC, em inglês: Joint Research Centre) é fornecer apoio técnico e científico, com uma abordagem orientada ao destinatário, para a concepção, desenvolvimento, implementação e monitoramento das políticas da União Europeia. Como um serviço prestado pela Comissão Europeia, o JRC funciona como um centro de referência científica e técnica na União Europeia. A sua proximidade com o processo de formulação de políticas serve ao interesse comum dos Estados Membros, independentemente de interesses de outro tipo, sejam de caráter privado ou nacional. As Atividades do JRC relacionadas ao solo são realizadas pelo Instituto do Ambiente e Sustentabilidade (IES, em inglês: Institute for Environment and Sustainability). Com sede em Ispra, uma pequena cidade nas margens do Lago Maggiore, no norte da Itália, é um dos sete institutos que constituem o JRC. O objetivo do IES é fornecer apoio técnico-científico às estratégias de proteção ambiental na União Europeia, contribuindo simultaneamente para o desenvolvimento sustentável. A IES colabora estreitamente com laboratórios governamentais, centros de pesquisa e indústrias dos Estados-Membros da UE, servindo como uma ponte entre as políticas da UE e os cidadãos europeus. A combinação dessas competências complementares nos campos das ciências experimentais, analíticas, modelagens, SIG e sensoriamento remoto eletromagnéticos coloca a IES em uma posição de grande importância para a contribuição de melhoria para a Área de Investigação Europeia e da concretização da sustentabilidade ambiental.

<https://ec.europa.eu/jrc/>

Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação  
Via E. Fermi, 21027 Ispra (VA), Itália

*O Atlas de Solos da América Latina e Caribe é um exemplo da colaboração científica de alto nível gerada pelo Instituto de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Graças às atividades conjuntas de cientistas da América Latina, Caribe e Europa, o Atlas reflete os benefícios da colaboração internacional e da necessidade de políticas cientificamente sólidas para o manejo sustentável de um recurso natural vital, a pedra angular da segurança alimentar, os serviços ambientais fundamentais, a coesão social e a economia de muitos países da região.*



**Dra. David Wilkinson**

Diretora do Instituto de Meio Ambiente e Sustentabilidade (IES)

Direção Geral – JRC

*América Latina e o Caribe conformam uma região heterogênea com um grande potencial econômico que se enfrenta a novos desafios. Estes incluem as questões mais importantes das relações UE- ALC; o desenvolvimento sustentável e as mudanças climáticas. A necessidade de assegurar a produção agrícola sustentável, dando prioridade às práticas desenvolvidas a nível local e as pequenas explorações, e de alcançar os padrões de consumo adaptados, requerendo uma ênfase no investimento na pesquisa e no uso adequado dos resultados científicos. Neste sentido, o programa EUROCLIMA, com a elaboração do Atlas, contribui para um melhor conhecimento dos responsáveis da formulação de políticas e da comunidade científica, e para apoiar os países para enfrentar as mudanças climáticas, melhorar a sustentabilidade ambiental e socioeconômica e reduzir a pobreza e as desigualdades sociais. Tudo de acordo com a nossa política de Cooperação Internacional e Desenvolvimento e em particular a Agenda para a Mudança na UE.*



**Sra. Jolita Butkeviciene**

Diretora, América Latina e o Caribe  
Direção Geral do Cooperação Internacional e Desenvolvimento – EuropeAid

### Direção-Geral do Cooperação Internacional e Desenvolvimento – EuropeAid

DG DEVCO é responsável pelas políticas de desenvolvimento da UE e fornecimento de ajuda por meio de programas e projetos no mundo através de um conjunto de instrumentos financeiros para assegurar a qualidade e eficácia do apoio. Com uma posição ativa e pró-ativa no campo do desenvolvimento, EuropeAid promove a governança e o desenvolvimento econômico e humano e aborda problemas globais como a fome e a conservação dos recursos naturais. A DG DEVCO visa contribuir para a redução da pobreza no mundo, garantir o desenvolvimento sustentável e promover a democracia, a paz e a segurança.

Dentro da Direção-Geral da Unidade de Programas Regionais da América Latina e do Caribe, com o apoio da Assistência Técnica do Programa, se gera de forma centralizada o programa EUROCLIMA, assumindo a responsabilidade pela coordenação geral do programa e seus diversos componentes orientados ao diálogo político, aos aspectos socioeconômicos e aos biofísicos das Mudanças Climáticas na região. Dentro das suas responsabilidades se destaca assegurar a coerência dos vários componentes de EUROCLIMA e promover a integração e aplicação dos conhecimentos científicos e sócio-econômicos sobre as mudanças climáticas nas políticas públicas da região Latino-americana.

<http://ec.europa.eu/europeaid>

Comissão Europeia,  
Cooperação Internacional e Desenvolvimento  
Rue de la Loi 41, B-1049 Bruxelas, Bélgica



2015  
Ano Europeu  
para o Desenvolvimento

## A Comissão Europeia

A Comissão Europeia, o órgão executivo da União Europeia (UE) responsável por propor a legislação, verificar a implementação das decisões e defender os tratados da União e do dia a dia da UE.

A Comissão atua como um governo de gabinete, com 28 membros da comissão - um representante de cada Estado-Membro. A Comissão é composta por 33 Direções-Gerais, incluindo uma Secretaria-Geral e 11 serviços.

## A série de Atlas de Solos de JRC

O Centro Comum de Investigação (JRC) da Comissão Europeia colabora com cientistas e pesquisadores do solo em todo o mundo para desenvolver uma série de atlas sobre os diversos aspectos do solo. Para obter uma cópia ou para mais informações, consulte o Serviço das Publicações da União Europeia (Publications Office of the European Union (<http://publications.europa.eu/>)) ou o website da Ação solo de JRC (<http://eusols.jrc.ec.europa.eu>).

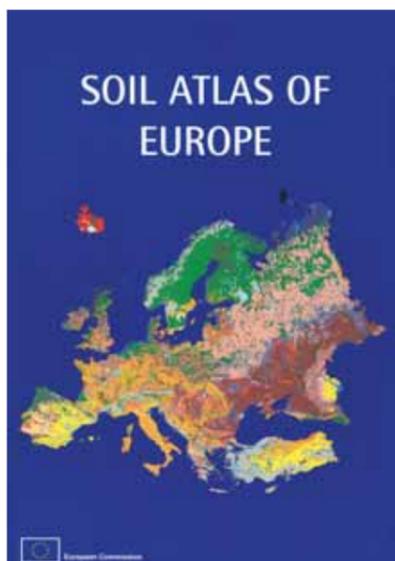
### Serviço das Publicações da União Europeia

A página web "EU Bookshop" (<http://bookshop.europa.eu/>) é o ponto de acesso para as publicações das instituições da União Europeia. EU Bookshop fornece um resumo do conteúdo das publicações, a partir de resenhas completas bibliográficas. Algumas das publicações estão disponíveis em formato PDF para a sua descarga gratuitamente. Se a publicação não estiver disponível é possível de encomendar mediante "PDF on request" e será informado por correio eletrônico uma vez o arquivo PDF estiver incorporado ao site.

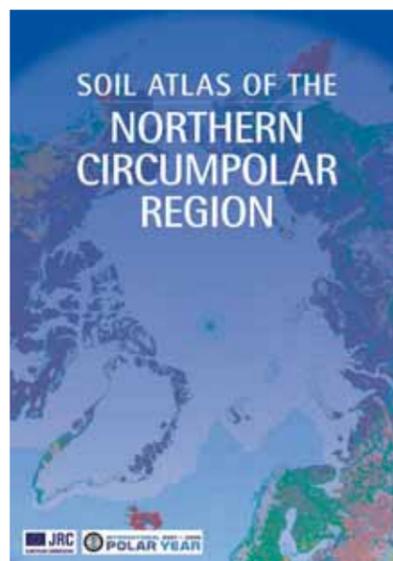
De acordo com os estoques disponíveis é possível de adquirir uma cópia de qualquer uma das publicações gratuitas. No caso de publicações para a venda, é possível de encomendar através da EU Bookshop ou pelos nossos agentes comerciais ou bem descarregar o PDF gratuito.

As entregas serão feitas dentro do prazo de aproximadamente 48 horas após a ordem do pedido. As publicações podem ser encontradas através de simples funções de busca (por exemplo: soil atlas), selecionando a área temática ou o autor (por exemplo: European Union institution). Também existe a possibilidade de aceder a "My EU Bookshop" para apreciar de um acesso e funções personalizadas que permitem, por exemplo, guardar critérios de pesquisa para usar regularmente, ou receber notificações por correio eletrônico sobre novos produtos de interesse.

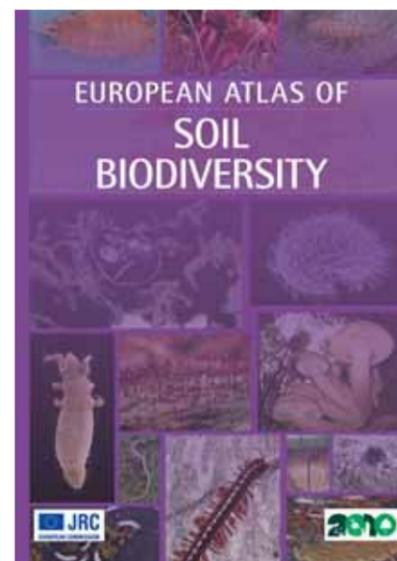
O Serviço das Publicações pretende converter a EU Bookshop no ponto de acesso comum para todas as publicações da UE. Atualmente, o site está disponível em 22 idiomas. O atlas de solos encontra-se disponível em cópia impressa (€ 25) ou formato PDF (gratuito).



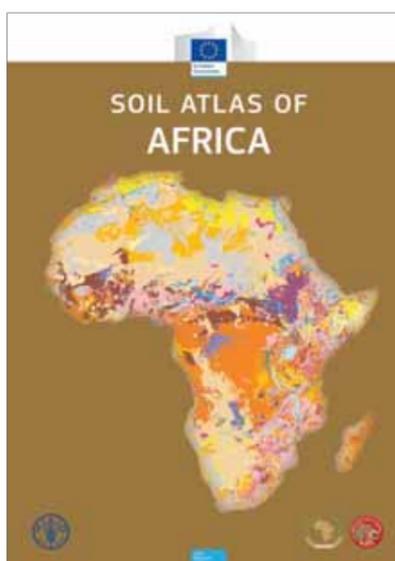
Atualmente disponível.



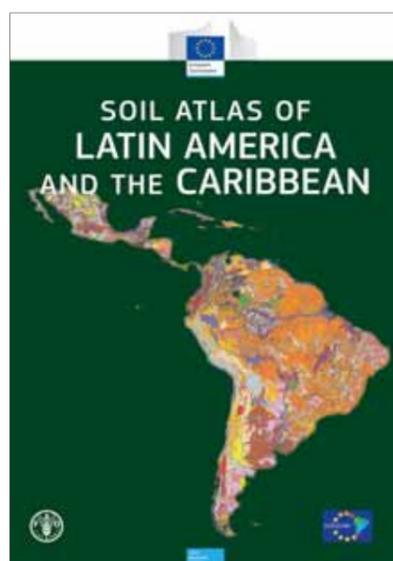
Atualmente disponível.



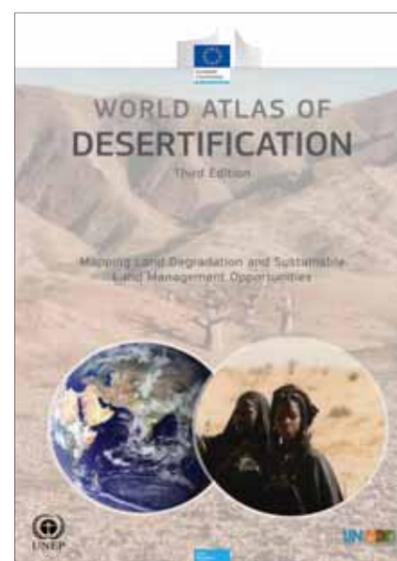
Atualmente disponível, também em francês.



Atualmente disponível, edição francesa prevista para 2015.



Também disponível em espanhol e inglês.



Publicação prevista para 2016.

## O que é o solo? Como é formado? Quais são as particularidades dos solos da ALC? Que tipo de serviços presta para a sociedade? Qual é o impacto das mudanças climáticas nos solos?

O primeiro Atlas de Solos da América Latina e o Caribe visa responder a estas perguntas a respeito da origem e funções dos solos, incluindo mapas, textos explicativos, fotografias e gráficos. Também são descritos os diferentes tipos de solos existentes na região. Com o uso de técnicas de cartografia digital torna-se possível ilustrar a diversidade de solos presente no continente. Este trabalho se realizou em colaboração entre cientistas de solos da América Latina, Caribe, Europa e América do Norte.

O Atlas enfoca especialmente os possíveis efeitos negativos da mudança climática sobre as funções e propriedades do solo, tal como as medidas de mitigação que se podem adotar para proteger esse recurso natural. O atlas de Solos de América Latina e Caribe constitui uma referência essencial para a gestão de um recurso não renovável mas fundamental para sustentar a vida na Terra.



*Nos solos se refletem o material original, o clima, a topografia, a vegetação, o tempo e a influência da atividade humana. As suas propriedades, características e seu uso se derivam desses fatores*

*Nas imagens acima, da esquerda para a direita, tem-se estudantes realizando práticas de manejo de solos na Nicarágua (acima); um exemplo da biodiversidade que se desenvolve no solo em uma reserva natural de Costa Rica (abaixo); um perfil de um solo classificado como Nitisol, em Cuba; um perfil de um solo tipo Fluvisol, na Argentina; um perfil de tipo Solonetz no Brasil; cultivo intensivo na Argentina em solos classificados como Phaeozem, muito férteis (acima); e por último, uma plantação de mandioca na República Dominicana (abaixo). A produção de alimentos é uma das funções do solo mais importantes para o bem estar do ser humano.*

*O Paríncota é um vulcão situado na fronteira entre Chile e a Bolívia. Muitos dos solos da América Latina estão formados por materiais vulcânicos.*



A quase totalidade das plantas depende do solo como um meio de fixação e para o abastecimento de água e nutrientes.

Este é apenas um aspecto de todas as funções desempenhadas pelo solo, entre os quais: filtro e tampão de substâncias que entram no meio natural, armazenamento e distribuidor de recursos hídricos e de matérias-primas úteis para os seres humanos, armazenamento de carbono orgânico, mitigação das mudanças climáticas, habitat e componente da reserva genética da paisagem e do patrimônio cultural.

No continente americano tanto as propriedades do solo como sua vulnerabilidade variam muito de uma região para outra. Na zona do Pampa são encontrados alguns dos solos mais férteis da América Latina, sem excluir o risco de erosão a que estão sujeitos e a consequente perda de matéria orgânica. Por outro lado, os solos das florestas tropicais formam parte de alguns dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade e sofrem com frequência de processos de degradação química. Nas zonas de baixa altitude onde o clima é seco, podem surgir problemas de salinização do solo e falta de nutrientes se a cobertura vegetal for alterada. A erosão hídrica é um processo de certa importância nas áreas de montanha (nas regiões andinas por exemplo), enquanto que os solos das planícies áridas estão mais expostos a processos de degradação provocados pela erosão eólica, ou pelo vento (no sul de Argentina por exemplo).

