



**SOLOS  
FRÁGEIS**

**CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E  
SUSTENTABILIDADE**

**Selma Simões de Castro**  
**Luis Carlos Hernani**  
Editores Técnicos



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*  
*Embrapa Solos*  
*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

SOLOS FRÁGEIS:  
CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E  
SUSTENTABILIDADE

*Selma Simões de Castro*  
*Luís Carlos Hernani*  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2015

Exemplares desta obra podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, nº 1.024, Bairro Jardim Botânico,  
CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, RJ  
Tel: (21) 2179-4500  
Fax: (21) 2274-5291  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição**

Embrapa Solos

Comitê de Publicações da Embrapa Solos

Presidente

*José Carlos Polidoro*

Secretário-executivo

*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros

*Ademar Barros da Silva*

*Adriana Vieira de C. de Moraes*

*Alba Leonor da Silva Martins*

*Enyomara Lourenço Silva*

*Evaldo de Paiva Lima*

*Joyce Maria Guimarães Monteiro*

*Luciana Sampaio de Araujo*

*Maria Regina Laforet*

*Maurício Rizzato Coelho*

*Moema de Almeida Batista*

Supervisão Editorial

*Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisão de texto

*Márcia Lopes Mensor Lessa*

Normalização bibliográfica

*Luciana Sampaio de Araujo*

Projeto gráfico

*Agência 2A Comunicação*

Capa

*Agência 2A Comunicação*

Editoração eletrônica

*Agência 2A Comunicação*

Fotos de capa

Erosão: *Cláudio Lucas Capeche*

Plantio direto: *Manoel Ricardo de Albuquerque Filho*

Tratamento das ilustrações

*Agência 2A Comunicação*

**1ª edição**

1ª impressão (2015): 1.000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Solos

---

Solos frágeis : caracterização, manejo e sustentabilidade / Selma Simões de Castro, Luís Carlos Hernani, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2015.  
367 p. : il. color.; 16 cm x 23 cm.

ISBN 978-85-7035-554-6

1. Solo. 2. Manejo do solo. 3. Reconhecimento do solo. 4. Classificação do solo. 5. Agricultura sustentável. I. Castro, Selma Simões de. II. Hernani, Luís Carlos. III. Embrapa Solos.

CDD (23. ed.) 631.4

---

© Embrapa 2015

## Capítulo 1

# Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil

Jackson Adriano Albuquerque; Jaime Antonio de Almeida;  
Luciano Colpo Gatiboni; Ana Paula Rovedder;  
Falberni de Souza Costa

---

### Introdução

Nas duas últimas décadas, os termos “solos frágeis” e “fragilidade do solo” vêm sendo cada vez mais utilizados em artigos e publicações científicas. Com maior frequência, são empregados para referir-se aos solos de textura superficial arenosa, geralmente mais suscetíveis à erosão hídrica e/ou eólica do que os mais argilosos. Entretanto, também são utilizados para indicar a presença de solos muito intemperizados, com ausência ou baixa reserva de nutrientes; solos com excesso de salinidade; solos situados em encostas íngremes; entre outros. Os termos, no entanto, não têm um significado claro, gerando dúvidas quanto à adequação do seu uso pela ausência de conceito do que seja fragilidade, ou um solo frágil.

Em qualquer sistema, ao nos referirmos a fragilidade, o termo nos remete a ideias de sensibilidade, suscetibilidade a alteração, degradação e distúrbios, mudanças nas condições naturais, bem como tempo de retorno às condições de equilíbrio após perturbação. A tarefa de conceituar, ou definir, o que seja um solo frágil, entretanto, é difícil e talvez nem seja possível. O termo geralmente designa situações de alto risco potencial de degradação do solo.



O solo, e mais especificamente a Pedosfera, é a zona de interação de todos os demais componentes da Geosfera (Atmosfera, Hidrosfera, Litosfera e Biosfera) (GERRARD, 2014). Portanto, é um recurso natural integrado aos demais componentes, sendo importante avaliar seus potenciais de uso bem como suas limitações ou fragilidades frente às ações antrópicas para que possam ser utilizados da melhor forma ou preservados. Essa importância foi relatada na obra de Diamond (2007), onde o autor discorre sobre o sucesso ou o fracasso de algumas civilizações, geralmente relacionados à preservação ou à degradação dos recursos naturais. A degradação é a redução da qualidade do solo e de sua produtividade devido a causas naturais ou induzidas pelo homem, com perda de sustentabilidade e redução da capacidade do solo em produzir em um determinado sistema agropecuário (LAL, 2008).

Em face das dimensões continentais do território brasileiro, da grande variedade de litologias, formas de relevo, vegetação e climas, a interação desses fatores resultou na formação de uma das mais complexas e variadas diversidades de solos do planeta, ainda em processo de identificação e classificação taxonômica, atualmente sistematizados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2013). Muitos solos até então identificados no País possuem limitações de ordem química, física, mineralógica ou biológica, as quais têm sido denominadas em alguns estudos como portadoras de fragilidades.

O tema “solos frágeis” foi abordado num seminário apresentado na “Reunião Sul-brasileira de Ciência do Solo”, de 2008, organizado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Após isso, em 2011, a SBCS publicou *Tópicos em Ciência do Solo*, contendo o capítulo denominado “Atividades agrícolas de produção em solos frágeis” (ALBUQUERQUE et al., 2011). Nessa publicação, os autores relataram a ausência de definição para o termo “solos frágeis” e propuseram alguns conceitos, considerando especialmente o trabalho de Lal (1997).

Neste capítulo, o conteúdo dessas publicações foi reorganizado e atualizado com o objetivo de propor uma discussão sobre o conceito de solos frágeis bem como discorrer sobre a ocorrência e a importância agrícola dos solos frágeis no Brasil. Espera-se que essa discussão possa contribuir para uma melhor distinção e caracterização desses solos e para uma padronização de linguagem quando se



fizer referência aos mesmos. As propostas, no entanto, são abertas, tendo-se como expectativa que possam futuramente incorporar críticas e sugestões dos leitores para melhorá-las.

## **Solos, resiliência e fragilidade**

Solos são sistemas naturais, organizados, frutos da ação combinada do clima e dos organismos atuando sobre um determinado material de origem num dado intervalo de tempo, condicionados pelo relevo, sendo, ainda, influenciados por outros fatores, entre os quais se destaca a ação humana (JENNY, 1941). Sob um ponto de vista mais utilitário, o solo pode ser reconhecido, também, como o material mineral e/ou orgânico não consolidado na superfície da terra que serve como um meio natural para o crescimento e o desenvolvimento de plantas (CURI et al., 1993; SIMONSON, 1959).

Devido às suas distintas naturezas e propriedades, os solos podem apresentar diferentes aptidões, tanto para uso agrícola como para outros usos. Ao considerarmos o conjunto das características e propriedades de um determinado solo, num ambiente e posição geográfica particular, detecta-se, portanto, situações de maior ou menor fragilidade do mesmo para diferentes usos, as quais poderão se refletir sobre alterações no ecossistema como um todo. Quando tratamos especificamente sobre solos frágeis, surgem questionamentos, por exemplo, sobre a natureza dessa fragilidade, a qual pode ser intrínseca (devida aos atributos naturais do solo), induzida por atividades antrópicas, ou, ainda, o efeito combinado de ambas.

A concepção de fragilidade, no entanto, é diferente do conceito de resiliência, o que nos leva à necessidade de distinguir os dois termos.

## **Resiliência**

Pode ser definida como “o tempo necessário para que um sistema retorne a um estado específico de sua condição natural até uma condição de equilíbrio após uma perturbação” (DE ANGELIS et al., 1989), ou “a habilidade do solo em resistir ou recuperar-se de uma perturbação natural ou



antropogênica, ou a habilidade de resistir a mudanças, ou de retornar ao seu estado inicial” (LAL, 1997).

Lal (1997) propôs o emprego de **classes de degradação** de solos, as quais dependem das características inerentes do solo e das condições climáticas, variando desde extremamente resistentes ou muito estáveis até extremamente suscetíveis ou frágeis (Tabela 1). Propôs, também, o emprego de **classes de resiliência**, as quais variam com o potencial de recuperação. Solos com maior resiliência possuem maior capacidade de recuperar-se de uma perturbação, a qual pode ser originada por processos naturais ou antrópicos.

### **Fragilidade ou alta sensibilidade de solos**

Pode se referir ao solo como um todo, a um processo específico (erosão, por exemplo) ou a uma propriedade específica (estrutura do solo, por exemplo) (LAL, 1997). Isso nos leva a reconhecer que a fragilidade do solo é um conceito relativo, que depende não só das características intrínsecas do mesmo, mas também dos fatores externos interferentes, tais como declividade, cobertura vegetal, tipo de uso (agrícola, urbano, industrial) e, principalmente, do manejo que lhe é aplicado.



**Tabela 1.** Classes de degradação e de resiliência do solo.

Classes	Degradação do solo		Resiliência do solo	
	<i>Suscetibilidade à degradação</i>	<i>Descrição</i>	<i>Resiliência</i>	<i>Descrição</i>
<b>0</b>	Resistente	Extremamente resistente ao estresse e muito estável	Altamente resiliente	Recuperação rápida, altamente tamponado
<b>1</b>	Ligeira	Resistente ao estresse e estável	Resiliente	Recuperação com manejo apropriado
<b>2</b>	Moderada	Suscetível ao estresse e instável	Moderadamente resiliente	Lentamente recuperável, com alta adição de insumos
<b>3</b>	Severa	Altamente suscetível ao estresse e instável	Ligeiramente resiliente	Lentamente recuperável, mesmo com mudança no uso do solo
<b>4</b>	Extrema	Extremamente suscetível e frágil	Não resiliente	Não recuperável, mesmo com mudança no uso do solo

Fonte: adaptado de Lal (1997).

## Solos frágeis

Não são encontradas na literatura definições precisas sobre solos frágeis nem um sistema de classificação ou tipologia das diferentes fragilidades. Entretanto, na literatura internacional é comum o uso dos termos *soil fragility* e *fragile soil* para áreas que possuem solos de textura mais arenosa, com teores baixos de matéria orgânica e baixa estabilidade dos agregados, ou, ainda, solos de relevos declivosos e suscetíveis à erosão hídrica (ADEM; TISDAL, 1984; GERARD, 1986; REELEDER et al., 2006).

No Brasil, o termo “solo frágil” com frequência designa solos com elevado risco de degradação, principalmente por ação antrópica em áreas agrícolas, como ocorre nos locais com riscos de salinização, deslizamento de encostas, compactação e erosão hídrica e eólica. Na construção civil, designa solos com baixa capacidade de suporte de carga; na engenharia sanitária e ambiental designa solos com baixa capacidade de suporte de resíduos, com potencial de toxicidade e risco de poluição dos recursos hídricos (OLSON, 1973).

### A fragilidade dos solos como conceito relativo

A fragilidade de um solo é um conceito relativo, pois cada solo vai responder de maneira diversa a fatores ou forças externas que promovem a degradação. Portanto, classificar um solo numa escala de fragilidade absoluta é uma tarefa difícil e, provavelmente, não possível, ainda, em face da complexidade de interações que devem ser analisadas para a interpretação da fragilidade. Albuquerque et al. (2011) exemplificaram isso ao comparar dois solos distintos sob vegetação florestal: um arenoso (Neossolo Quartzarênico), desenvolvido a partir da alteração de quartzitos em relevo plano; e um argiloso, com alto teor de matéria orgânica (Nitossolo Vermelho) em relevo forte ondulado. Após a derrubada da mata para introdução de cultivos agrícolas, o solo argiloso seria mais frágil à ação da erosão hídrica devido a sua elevada declividade. Entretanto, ao considerarmos a taxa de decomposição da matéria orgânica, sua estrutura e a intensidade da lixiviação, o arenoso poderia ser considerado mais frágil.



Essa fragilidade relativa está expressa também no Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), no qual a classe “6 ff” engloba “áreas de preservação da fauna e flora, em função de sua fragilidade ambiental, decorrente de condições especiais de solo e/ou relevo e/ou clima”. Ou seja, a fragilidade é dependente da interação de vários fatores.

### **A fragilidade intrínseca e a fragilidade induzida**

A fragilidade de um ecossistema não é um conceito quantificável e, portanto, não é simplesmente o oposto de resiliência (MILICH, 1997). A fragilidade se refere apenas à ideia de que alguma parte ou mesmo o todo de um ecossistema pode ser danificado com mais facilidade ou com um alto risco de irreversibilidade. Ao empregarmos essa mesma ideia para o sistema solo, a fragilidade somente pode ser considerada para indicar aspectos, feições ou intensidades de dano que podem ser causadas em atributos específicos do solo e do seu entorno, resultantes das ações externas. Portanto, é necessário distinguir “fragilidade intrínseca” de “fragilidade induzida”: enquanto a intrínseca é inerente a cada tipo de solo em equilíbrio dinâmico no seu ambiente, a induzida pode ser promovida ou potencializar a intrínseca pela ação antrópica.

Como exemplo, os solos de textura superficial arenosa em geral possuem uma fragilidade intrínseca maior do que os argilosos, mas podem estar protegidos pela vegetação natural de campo nativo. Ao modificar o uso do solo para a criação de gado com sobrepastoreio, ou com cultivo de grãos no sistema de preparo convencional, com mobilização intensa do solo, ou, ainda, insuficiente reposição de nutrientes, a fragilidade intrínseca do solo será potencializada. Contrariamente, o uso desses solos com práticas de manejo que mantenham ou aumentem o teor de matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions (CTC), a quantidade de nutrientes e a cobertura vegetal pode minimizar a fragilidade intrínseca (AITA et al., 2004; AMADO et al., 1999; LAMARCA, 1996; MAFRA et al., 2008).

Portanto, pode-se constatar que a fragilidade intrínseca do solo pode estar relacionada à textura, sendo os mais arenosos mais frágeis que os siltosos e estes, mais frágeis que os argilosos. Da mesma forma, ao determinar a estrutura dos solos, os menos estruturados são os que apresentam maior fragilidade



intrínseca do que os mais estruturados. Portanto, a fragilidade intrínseca pode ser avaliada comparando um ou mais atributos de solos diferentes entre si.

Com base no exposto, serão apresentados, a seguir, alguns tipos de fragilidade dos solos.

### Tipos de fragilidade do solo

A fragilidade do solo pode se manifestar por características intrínsecas ou por características biofísicas do ambiente externo. A fragilidade intrínseca do solo pode estar relacionada a fatores texturais, estruturais, mecânicos, hídricos, químicos e ecológicos.

A **fragilidade textural** está associada à elevada taxa de decomposição da matéria orgânica, à baixa capacidade de troca de cátions (BAYER et al., 2006; MIELNICZUK et al., 2003) e à fraca agregação das partículas (WOHLENBERG et al., 2004). Exemplos de solos com horizonte superficial mais arenoso são: alguns Latossolos Vermelhos de textura média; parcela dos Neossolos Flúvicos, com horizonte A arenoso; Neossolos Quartzarênicos; Argissolos Arênicos e Espessarênicos. Geralmente, esses solos possuem alta suscetibilidade à erosão (AMADO et al., 2002; CASSOL; LIMA, 2003; ROVEDDER; ELTZ, 2008), baixa capacidade de retenção de água e elevada lixiviação dos nutrientes. Solos arenosos com elevado contraste textural, como os Argissolos Abrúpticos e Plintossolos Argilúvicos, em geral apresentam um horizonte subsuperficial com baixa permeabilidade, característica que reduz a infiltração e potencializa a erosão em períodos de chuvas intensas e prolongadas. Outro processo de degradação dos solos é a compactação, que é mais intensa em solos siltosos, com fraco grau de desenvolvimento da estrutura, baixa estabilidade dos agregados e elevado grau de dispersão da argila (LUCIANO et al., 2012).

A **fragilidade estrutural** está relacionada à fragilidade textural combinada com teor de matéria orgânica e à mineralogia da fração argila. Ocorre em solos com elevado teor de areia, baixo teor de matéria orgânica e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, características que predispõem os solos à baixa estabilidade dos agregados (ALBUQUERQUE et al., 2000). Muitas áreas com essas características, em que a vegetação natural é retirada para o cultivo de



grãos, expõem essa fragilidade estrutural com consequências desastrosas e difícil recuperação.

A **fragilidade mecânica** está associada às características texturais e estruturais. Essa fragilidade se relaciona à capacidade de suporte de cargas e à suscetibilidade à compactação (LUCIANO et al., 2012; SUZUKI et al., 2015). Solos arenosos, por serem mais densos e menos porosos, possuem maior capacidade de suporte, mesmo quando utilizados com máquinas mais pesadas. Entretanto, os argilosos, por serem menos densos e mais porosos, ao serem cultivados com máquinas mais pesadas sofrem reduções na porosidade total, na macroporosidade e na condutividade hidráulica saturada, além de aumento na densidade, no escoamento superficial e na resistência à penetração de raízes. Por sua vez, os solos siltosos possuem baixa estabilidade de agregados e elevado grau de empacotamento de suas partículas (ALBUQUERQUE et al., 2000), e, com isso, têm elevada fragilidade mecânica.

A **fragilidade hídrica** do solo ocorre tanto por deficiência como por excesso de água e também é relacionada à textura, estrutura, relevo e permeabilidade do solo. Solos arenosos possuem predomínio de macroporos, com drenagem excessiva e baixo volume de microporos, resultando em baixa capacidade de armazenamento de água. Em sistemas naturais, períodos de baixa precipitação resultam em déficit hídrico e menor desenvolvimento das plantas. Solos cultivados no sistema de preparo convencional são mais suscetíveis à erosão hídrica e ao déficit hídrico quando comparados aos manejados sob plantio direto (AMADO et al., 1999), suscetibilidade esta que varia com a textura, a mineralogia e o teor de matéria orgânica do solo (COSTA et al., 2003).

Alguns solos, como Planossolos, Gleissolos, Espodossolos, Organossolos e Neossolos Flúvicos, dependendo do relevo e da posição na paisagem, do material originário e dos processos pedogenéticos, podem ser mal drenados, pois possuem, em alguma parte do perfil, baixa condutividade hidráulica. Esses solos, considerados ambientes frágeis, estão situados em várzeas, banhados, charcos e manguezais, entre outros locais que podem ser enquadrados no grupo mais amplo das áreas palustres. Por sua posição na paisagem, estão associados a áreas com serviços ambientais importantes, como estabilização



de margens, filtragem de moléculas e partículas, formação de nascentes, além do abrigo para fauna e flora específicas (MAGALHÃES et al., 2013). Apesar de serem áreas protegidas pela legislação, muitos Planossolos, Organossolos e Gleissolos foram drenados e cultivados, geralmente com a cultura do arroz irrigado e, mais recentemente, com culturas de sequeiro. A drenagem artificial em áreas de Organossolos acelera a decomposição da matéria orgânica e normalmente promove rebaixamento do nível do terreno, fenômeno conhecido como subsidência. Neossolos Flúvicos, com horizonte A sobre sedimentos fluviais, geralmente estão associados a margens de corpos hídricos sob efeito direto da vazante, o que lhes confere fragilidade hídrica. Adicionalmente, nessa posição tais solos integram as áreas de preservação permanente, cuja retirada da cobertura florestal aumenta o grau de fragilidade, intensificando eventos de erosão, solapamento de margens, perda de áreas produtivas e assoreamento.

A **fragilidade química** é observada em solos com baixos teores de matéria orgânica e de argila, os quais resultam em baixa CTC. Podem ser formados a partir de material de origem sedimentar, predominantemente grosseiro, que resulta em solos mais arenosos, ou estar localizados em regiões nas quais o clima e o relevo favorecem o intenso intemperismo. Esses solos podem apresentar elevada saturação por alumínio e elevado potencial de lixiviação de cátions; dessa forma, têm baixa reserva de nutrientes e dificuldade de sustentar o crescimento das plantas. Quando são cultivados, as doses de fertilizantes devem ser pequenas e parceladas para evitar a saturação da CTC com o nutriente adicionado, o que causa desbalanço nutricional para as plantas, lixiviação de outros íons e contaminação do lençol freático.

Outra forma de fragilidade química ocorre em solos formados em ambientes nos quais a precipitação é inferior à evapotranspiração, processo que favorece o acúmulo de sais (solos salinos, sódicos e salino-sódicos) que podem limitar sua utilização por toxidez e/ou desbalanço nutricional e, ainda, por dificultar a absorção de água pelas plantas. Nos solos com excesso de sódio na CTC, ocorre elevada dispersão da argila e redução da estabilidade dos agregados e da permeabilidade do solo.

A **fragilidade ecológica** pode ser entendida como a relacionada ao ambiente em que o solo foi formado. Alguns ecossistemas apresentam complexas interações



durante sua formação, como, por exemplo, as áreas palustres. No entanto, com a ação antrópica, essas interações podem ser rompidas e o ambiente, degradado. Um exemplo clássico é o ambiente da Floresta Amazônica, desenvolvida sobre diversos materiais de origem, geralmente rochas sedimentares, com solos muito intemperizados e com baixo teor de nutrientes (REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 2013). A floresta está em equilíbrio e constantemente adicionando e ciclando nutrientes. Sua retirada rompe esse equilíbrio e tende a acelerar os processos erosivos, a decomposição do material orgânico e a perda dos nutrientes por lixiviação, aumentando a fragilidade do solo e do ecossistema (KELLER et al., 2009).

Outro exemplo de fragilidade ecológica é do Bioma Cerrado, onde ocorrem solos muito intemperizados, com níveis tóxicos de alumínio e baixa saturação por bases. Apresenta períodos de seca e de chuva bem definidos e, com isso, a vegetação nativa é adaptada a essas condições edáficas e climáticas. Apesar de ser um ambiente frágil, está ocorrendo contínua expansão da fronteira agrícola nessas áreas, o que pode trazer consequências negativas ao ambiente quando inadequadamente manejados.

A **fragilidade por características biofísicas do ambiente**, como a relacionada ao relevo, pode ocorrer tanto nos solos mais profundos e intemperizados, como os Latossolos, quanto nos mais rasos, como os Neossolos Litólicos. Os solos de regiões mais declivosas são frágeis, independentemente do uso a que estão submetidos, e devem ser utilizados preferencialmente com pastagens perenes ou florestas. Além da declividade, alguns ambientes específicos apresentam maior fragilidade, como as cabeceiras de drenagem, pois nesses locais o fluxo de água é mais concentrado e pode acelerar a erosão hídrica (COELHO NETTO et al., 2003). Nessas e em outras situações, a cobertura superficial do terreno é um dos principais fatores de resistência aos processos erosivos. Em condições naturais e com os demais fatores interferentes considerados constantes, pode-se estabelecer a seguinte sequência de resistência do solo à ação de processos erosivos, em função da cobertura vegetal: Floresta > Campo > Cerrado > Caatinga.

Em todos os exemplos supracitados, percebe-se que a fragilidade deve ser relativizada, integrando a **fragilidade intrínseca** do solo aos aspectos

biofísicos da paisagem e ao histórico de uso e manejo que é dado ao solo, ou seja, a **fragilidade induzida**.

Considerando essa integração, e com o objetivo de mensurar a fragilidade de um ambiente, Ross (1994) descreve uma metodologia baseada nos pressupostos descritos por Tricart (1977), a qual pondera quatro fatores, cada um com graus de fragilidade que variam de um a cinco. Esses fatores são: o solo, a declividade, o uso da terra e a presença de áreas alagadas ou margens de rios. Segundo Kawakubo et al. (2005), solo e declividade compõem a **fragilidade potencial**, que, quando são incluídos os fatores uso da terra e presença de áreas alagadas ou margens de rios, passa a ser denominada de **fragilidade emergente**. Com base nesses conceitos e na metodologia proposta por Ross (1994), análises da fragilidade ambiental foram realizadas para vários locais, como, por exemplo, nos estudos de Spörl e Ross (2004) na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo; de Kawakubo et al. (2005) no Município de Atibaia (SP); de Messias et al. (2012) na bacia da hidrelétrica do Funil (MG); e de Corte et al. (2015) na bacia hidrográfica do Rio Iguaçu (PR). Esses estudos reforçam a importância de entender e integrar os vários fatores que atuam num determinado ambiente, além de considerar o uso e o manejo da terra como um fator determinante.

## Ocorrência e importância de alguns solos frágeis no Brasil

A partir deste ponto, buscar-se-á relatar a ocorrência de solos frágeis de forma mais generalizada para algumas regiões do Brasil, com o objetivo de exemplificar os que podem ser considerados solos frágeis.

### Solos arenosos

Constituem as áreas com predomínio de solos de textura superficial arenosa, desenvolvidos principalmente de arenitos, como: Latossolos Vermelhos de textura média; Argissolos Vermelhos, Amarelos e Vermelho-amarelos Abrúpticos, Arênicos e Espessarênicos; além dos Neossolos Quartzarênicos.

São encontrados em várias regiões do Brasil, sendo os mais arenosos observados no sudoeste do Rio Grande do Sul, no noroeste do Paraná, na Bacia



Amazônica, bem como em quase todo o litoral do Brasil. Em função da textura superficial mais arenosa, que favorece os processos erosivos, e da fragilidade textural e estrutural, o relevo predominante onde ocorrem é suave ondulado ou ondulado. Além disso, possuem fragilidade química devido ao baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC. Portanto, o uso intensivo desses solos deve ser evitado e, quando forem utilizados, o manejo deve considerar seu grau elevado de fragilidade intrínseca. Apesar das fragilidades citadas, são solos de grande importância aos sistemas produtivos.

No Rio Grande do Sul, Planossolos Arenosos, como os Planossolos Háplicos Eutróficos da Depressão Central e Campanha, são utilizados para produção de arroz irrigado. Recentemente, tem se intensificado seu uso para culturas de sequeiro, o que requer maior cuidado com as práticas de preparo e com a construção dos canais de drenagem. Nas cotas de maior altitude, Argissolos e Latossolos Arenosos são utilizados para a produção de soja e milho ou para pecuária. No caso dos Argissolos, a relação entre fragilidade intrínseca e aspectos biofísicos do meio pode ser amenizada pelo caráter espessarênico (horizontes A+E superior a 100 cm), que reduz o potencial de saturação por água acima do horizonte B textural, diminuindo um aspecto da fragilidade intrínseca, apesar da textura arenosa dos horizontes superficiais (STRECK et al., 2008).

No noroeste do Paraná, os solos originados de arenito Caiuá têm aproximadamente 3,2 milhões de hectares, com 72% da área ocupada por pastagens (SÁ; CAVIGLIONE, 1999). Nesses solos arenosos, Fidalski e Alves (2015) ressaltam os aspectos da fragilidade intrínseca e recomendam que a *Brachiária* seja mantida com 23 cm de altura para minimizar a degradação induzida pelo pastoreio.

Na região Sudeste, em extensas áreas, os solos têm textura arenosa, sendo que, em muitas áreas de relevo plano e suave ondulado, são utilizados para culturas de soja, entre outras.



## Encostas basálticas

Em alguns estados do Sudeste e do Sul do Brasil, é comum a ocorrência de encostas basálticas, e os solos podem ter fragilidade intrínseca devido às condições do ambiente onde se localizam. São áreas fortemente dissecadas pela erosão geológica, formando superfícies erosionais e deposicionais com encostas, patamares e morros. Nas áreas com superfícies declivosas, formam-se Neossolos Litólicos e Cambissolos, e, nas encostas menos declivosas e terraços coluviais, geralmente se formam Nitossolos e Chernossolos. A fragilidade é maior nas áreas mais declivosas.

Nas encostas basálticas do Rebordo do Planalto Meridional no RS, por exemplo, a formação de Neossolos Litólicos e Cambissolos associada a elevadas declividades limita seu uso agrícola. Essas encostas, assim como seus solos, têm mantido sua resiliência pela presença da Floresta Estacional Decidual. Mesmo assim, deslizamentos são comuns durante eventos climáticos extremos, como enxurradas, o que atesta a fragilidade relacionada aos fatores ambientais. O escritório regional do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) em Santa Maria lançou, em agosto de 2015, um alerta sobre a intensificação do desmatamento nessa região, principalmente nas posições de meia encosta, onde os produtores têm derrubado a vegetação para cultivo de tabaco e soja (ANTONELLO; FONTANA, 2015). As consequências futuras desse novo contexto podem ser desastrosas em relação a perdas de solo e água. Nessas áreas, Streck et al. (2008) relatam a transformação de Chernossolos em Cambissolos por perda das porções superiores do horizonte A chernozêmico como consequência da intensificação do uso agrícola.

Apesar da fragilidade, são áreas de solos que sempre fizeram parte do sistema produtivo, principalmente por pequenos agricultores que cultivam frutas, com destaque para as videiras, bem como soja, milho e tabaco.

## Solos das serras litorâneas

Nas serras que acompanham a região litorânea do Sul e do Sudeste brasileiro, a maioria dos solos são desenvolvidos a partir da alteração de granitos, migmatitos e gnaisses, além de rochas sedimentares. São regiões com relevo forte ondulado ou montanhoso combinado com clima úmido



e quente, originando solos muito intemperizados das classes Argissolos, Cambissolos e Latossolos.

Pela proximidade com a região litorânea, mais habitada, as atividades agrícolas são intensas nessas áreas, aumentando a fragilidade intrínseca desses solos. É comum a existência de solos cultivados com processos intensos de erosão hídrica, nos quais parte ou todo o horizonte A já foi erodido. Muitos desses solos se desenvolveram sobre espesso saprólito, fator que favorece deslizamentos de terras em períodos de elevada precipitação pluviométrica, tais como os ocorridos em Santa Catarina ao final de 2008 (FARIA et al., 2008) e no Rio de Janeiro no início de 2011.

### **Vertissolos e Neossolos**

Constituem classe de solo de elevada fertilidade química natural, com altos valores de pH, soma e saturação por bases e CTC, e predomínio de argilominerais expansíveis. Entretanto, possuem baixa permeabilidade e excessiva plasticidade, pegajosidade e contração/expansão. Ocorrem principalmente em relevos planos ou suavemente ondulados, porém, nas áreas onde o fluxo de água se concentra (COELHO NETTO et al., 2003), é comum a presença de voçorocas devido à alta dispersão natural das argilas.

No Rio Grande do Sul, Vertissolos ocorrem na Campanha Gaúcha em associação com Neossolos Litólicos e Regolíticos sob vegetação tipicamente campestre, em áreas de relevo plano e suavemente ondulado. Apesar da boa fertilidade química natural, a paisagem dominada por essa associação apresenta fragilidade induzida quando da tentativa de conversão do campo nativo, devido à expansão e contração das argilas nos Vertissolos e à baixa profundidade nos Neossolos (ROVEDDER, 2013).

Em função da elevada fertilidade química, são solos importantes em algumas regiões do Brasil, como, por exemplo, no sul do Rio Grande do Sul, na região central do Acre e no semiárido brasileiro, além de outros locais.

## Áreas palustres e restingas

As áreas palustres, em função de características edafo-hidrológicas, processos pedogenéticos e fatores ambientais particulares, englobam ampla variedade de solos (WARMLING, 2013). Apresentam excesso permanente ou temporário de água que causam hidromorfismo, favorecendo os processos de redução, ou oxiredução.

Alguns solos dessas áreas são afetados por tiomorfismo, excesso de sais e de sódio, gleização e paludização. Incluem-se nesses ambientes diversas classes de solo, como Espodossolos, Gleissolos, Organossolos e Planossolos. Em cada ambiente, em função das particularidades, possuem vegetação específica (MAGALHÃES et al., 2013), formando ecossistemas distintos (manguezais, florestas hidrófilas e higrófilas de várzea, restingas, veredas, pantanais ou campos de várzea). São ambientes muito frágeis, geralmente considerados áreas de preservação permanente. Porém, muitos destes ecossistemas são utilizados para exploração agrícola.

Em muitas áreas planas de restinga do Brasil, particularmente as localizadas nas planícies litorâneas, ocorrem Espodossolos Humilúvicos e Ferrihumilúvicos, desenvolvidos sobre sedimentos arenosos marinhos, cuja gênese foi fortemente influenciada pela hidrologia superficial (COELHO, 2008; GOMES, 2005). São solos ácidos, extremamente pobres em nutrientes e com alta fragilidade intrínseca. Devido à proximidade dos centros urbanos, extensas áreas com esses solos vêm sendo drenadas para ocupação humana e industrial, bem como para uso com pastagens, florestamentos e exploração de areias, com consequências desastrosas para o ecossistema pela eliminação das restingas.

## Modificação da fragilidade intrínseca: exemplos do Acre e do Sudoeste do Rio Grande do Sul

É importante considerar que a fragilidade intrínseca pode ser revertida, ao menos parcialmente, através do uso e manejo do solo, conforme relatado por Costa et al. (2014) para solos frágeis do Estado do Acre, e por Rovedder (2007) para solos frágeis do Rio Grande do Sul. Além desses dois exemplos,



nos demais capítulos deste livro serão relatados, com maior detalhamento, exemplos para outras regiões do país.

Na Região Amazônica, pesquisadores relataram que a geologia e, conseqüentemente, a fertilidade dos solos variam num gradiente crescente de leste para oeste (AMARAL et al., 2013; MALHI et al., 2004; QUESADA et al., 2011; SOMBROEK, 1996). Com isso, nos solos menos férteis, o tempo de uso em atividades com manejo agropecuário ou florestal convencionais diminui e o tempo para revegetação de áreas abandonadas aumenta (DAVIDSON; MARTINELLI, 2009). Ao avaliar o Estado do Acre, Amaral et al. (2013) afirmam que os solos têm fertilidade química de baixa a média nas regiões oriental e ocidental e alta na região central. Predominam Argissolos, Latossolos e Plintossolos na região oriental; Cambissolos, Luvisolos e Vertissolos na região central; e Argissolos e pequenas áreas com Latossolos, Luvisolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Espodossolos na região ocidental. De maneira geral, são solos com granulometria mais arenosa nos horizontes superficiais, embora algumas classes sejam mais argilosas.

O uso dos solos do Acre não difere muito do resto da Amazônia Brasileira. Envolve o sistema de derrubada e queima da floresta, o cultivo de culturas exigentes em fertilidade química do solo (arroz, feijão e milho nos dois primeiros anos) e depois com mandioca, menos exigente e tolerante à acidez do solo. O fogo é utilizado para limpeza da área. Não são comuns a correção da acidez e a fertilização do solo (COSTA et al., 2014). O período de preparo do solo para os cultivos é de outubro a novembro, que coincide com o início do período de chuvas da região – 2.200 mm ano<sup>-1</sup> (AMARAL et al., 2012) – o que favorece os processos erosivos, agravados nas regiões de relevo ondulado.

Em 2006, foi iniciada uma pesquisa na qual um dos tratamentos foi o sistema descrito anteriormente (convencional na região), e outro foi um sistema proposto sem a utilização do fogo, com aplicação de calcário, adubo fosfatado e cultivo de plantas de cobertura do solo. O objetivo foi elevar os teores de matéria orgânica e nitrogênio do solo para os cultivos da mandioca e milho (COSTA et al., 2014). Esses tratamentos foram cultivados em dois sistemas: preparo convencional e plantio direto. Os autores relataram que a produtividade das culturas aumentou sensivelmente com as técnicas agronômicas recomendadas



em comparação com o sistema tradicional de cultivo. Salientaram, também, a importância do plantio direto, mais especificamente para a cultura do milho. Dessa forma, os autores observaram que, mesmo em solo de elevada fragilidade, a mesma pode ser alterada pelo correto manejo do solo, sem uso de queimadas e com o cultivo de plantas de cobertura, o uso de plantio direto, a correção da acidez e a adubação. Técnicas disponíveis, mas que, com frequência, não são comumente empregadas pelos agricultores.

No sudoeste gaúcho, o exemplo de fragilidade intrínseca é dado pelos solos suscetíveis ao processo de arenização, que consiste no retrabalhamento dos sedimentos arenosos por meio de agentes erosivos (SUERTEGARAY, 1998). Incluem-se neste caso os Neossolos Quartzarênicos, alguns Latossolos e Argissolos arenosos dessa região (AB'SABER, 1995; STRECK et al., 2008). O início do processo parece ter ocorrido por causas naturais, favorecido pela fragilidade intrínseca dos solos, o que foi comprovado por registros históricos que fazem referência aos areais em períodos anteriores aos processos de ocupação por pecuária extensiva e agricultura na região (AB'SABER, 1995; SUERTEGARAY, 1998).

A associação entre o tipo de solo e a alternância de períodos pretéritos com clima mais árido favoreceu a manutenção da vegetação campestre com características xeromórficas, em detrimento da florestal (ROVEDDER, 2013). Como consequência, embora o clima atual seja úmido, a cobertura vegetal é insuficiente; assim, a erosão eólica e hídrica forma voçorocas e amplia as áreas arenizadas. A associação entre solos arenosos, relevo plano, precipitação pluviométrica e cobertura vegetal escassa resulta em um sistema praticamente sem resiliência.

Embora tenham fragilidade intrínseca, a pressão das atividades antrópicas sobre esses solos arenosos é o fator de maior importância para a intensificação e a expansão dos areais. Analisando o efeito do pastejo na intensificação da arenização, Trindade et al. (2008) concluíram que campos nativos sob pastejo, mesmo que não intensivo, são mais suscetíveis a se tornarem arenizados do que os campos não pastejados. Além disso, a arenização seleciona espécies que conseguem resistir ao processo e que passam a predominar no entorno dos areais (ROVEDDER et al., 2005), com exclusão de espécies de maior valor



forrageiro e de cobertura, o que significa, na prática, uma menor resistência à continuidade da degradação (TRINDADE et al., 2008).

A associação entre a fragilidade intrínseca dos solos arenosos do sudoeste gaúcho e os fatores externos que propiciam ou intensificam sua degradação pode ser vista na interação entre relevo e local de formação dos areais: enquanto nas encostas e base dos morros de arenito silicificado da região o principal agente da arenização é a erosão hídrica, nos campos da planície predomina a erosão eólica devido à ausência de obstáculos à aceleração do vento (ROVEDDER, 2007). No primeiro caso, apenas a associação entre declividade da encosta e substrato arenoso já bastam para ativar o processo. Já no segundo caso, no relevo plano, os caminhos formados pelo gado ou o uso agrícola são fatores que induzem o início da arenização.

Mesmo com práticas de manejo adequadas, os solos arenizáveis do sudoeste gaúcho são exemplos de fragilidade extrema, muitas vezes não respondendo a práticas conservacionistas clássicas. O incremento em matéria orgânica, por exemplo, quando comparado com outros ambientes, é extremamente difícil devido à baixa recalcitrância química e física do solo. Todavia, mesmo que não se consiga reinserir as áreas atingidas nos processos produtivos, sua recuperação ou, pelo menos, a contenção dos agentes erosivos é fundamental para que o entorno não seja atingido.

Em ambos os casos, para amenizar ou reduzir os processos de arenização que ocorreram pela fragilidade intrínseca ou pela indução antrópica, é fundamental a manutenção de cobertura vegetal viva ou morta sobre esses solos. Rovedder e Eltz (2008) encontraram 93% de redução no processo de arenização com a revegetação de Neossolo Quartzarênico com *Lupinus albescens*, tremoço nativo da região. Nesse caso, a eficiência da espécie está relacionada com sua coevolução junto ao meio, favorecendo sua sobrevivência por meio de características adaptativas, como elevada pilosidade foliar e fixação biológica de nitrogênio (ROVEDDER; ELTZ, 2008). Isso demonstra que, apesar da fragilidade intrínseca, o sistema pode expressar reação positiva quando as técnicas de recuperação se mostrarem eficientes.



## Considerações finais

A fragilidade foi considerada um conceito relativo, pois um solo tende a ser mais ou menos frágil em relação a algum fator, força ou ação externa sobre o mesmo. Dessa maneira, o uso do termo “solo frágil” deve vir acompanhado sempre do contexto ao qual ele se refere, já que inúmeros podem ser os tipos de fragilidade, incluindo fatores externos, como a intensidade da precipitação.

Além disso, a ação antrópica modifica intensamente o ambiente, principalmente no sentido da degradação; porém, em alguns casos, a fragilidade pode ser amenizada. Sistemas ou áreas com solos frágeis são os que frequentemente já estão danificados ou degradados, ou por processos naturais, ou pela ação antrópica. Dessa forma, mesmo os sistemas com solos frágeis podem fazer parte da cadeia produtiva de alimentos; contudo, as técnicas de manejo do solo devem ser adequadas a cada tipo de fragilidade. Para isso, é necessário resgatar e fazer adaptações do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras para avaliar a situação dos solos frágeis. Além disso, é imprescindível que o solo seja considerado um bem da União e o usuário deva seguir um Código de Uso do Solo, a ser implementado.

A redução da fragilidade passa, portanto, por uma visão sistêmica, considerando-se aspectos inerentes ao solo e sua relação com aspectos da paisagem, como relevo, regime hídrico, cota de altitude, entre outros. Políticas e gestão pública para redução dos riscos de degradação do solo necessitam de uma análise integradora, que não menospreze os diferentes fatores de incidência sobre o aumento de fragilidade do meio, sob pena de, em caso contrário, estarem fadadas ao fracasso.



## Referências

- AB'SABER, A. N. A revanche dos ventos: derruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha gaúcha. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 1, p. 7-31, 1995.
- ADEM, H. H.; TISDAL, J. M. Management of tillage and crop residues for double-cropping in fragile soils of south-eastern Australia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 4, p. 577-589, 1984.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HUBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno antecedendo o milho em plantio direto: dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 739-749, 2004.
- ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 141-151, 2000.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no Sul do Brasil. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 367-403.
- AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 679-686, 1999.
- AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: El Niño e La Niña no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 819-827, 2002.
- AMARAL, E. F. do; LEAL, M. J. de L. R.; DUARTE, A. F.; DELGADO, R. C.; CALDERA, R. W. da S.; DANTAS, M. V. C.; MENDONZA, E. R. H.; FRANKE, I. L.; MIRANDA, E. M. de. Circunstâncias estaduais. In: COSTA, F. S.; AMARAL, E. F. do; BUTTZKE, A. G.; NASCIMENTO, S. da S. (Ed.). **Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do Estado do Acre**: ano base 2010. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2012. p. 15-37.
- AMARAL, E. F. do; ARAÚJO, E. A. de; João Luiz LANI, J. L.; RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, H. de; MELO, A. W. F. de; SILVA, J. R. T. da; RIBEIRO NETO, M. A.; BARDALES, N. G. Ocorrência e distribuição das principais classes de solos do Estado do Acre. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 9., 2010,



Rio Branco, AC. **Solos sedimentares em sistemas amazônicos**: potencialidades e demandas de pesquisa: guia de campo. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 97-192.

ANTONELLO, L.; FONTANA, M. Cresce o desmatamento de Mata Atlântica no estado. **Diário de Santa Maria**, Santa Maria, RS, 24. ago. 2015. Disponível em: <<http://diariodesantamaria.clicrbs.com.br/rs/geral-policia/noticia/2015/08/cresce-odesmatamento-de-mata-atlantica-no-estado-4832163.html>>. Acesso em: 19 set. 2015.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 117-124, 2003.

COELHO, M. R. **Caracterização e gênese de Espodosolos da Planície Costeira do Estado de São Paulo**. São Paulo. 2008. 270 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 4, p. 69-100, 2003.

CORTE, A. P. D.; HENTZ, A. M. K.; DOUBRAWA, B.; SANQUETTA, C. R. Environmental fragility of Iguazu river watershed, Paraná, Brazil. **Bosque**, Valdivia, v. 36, p. 287-297, 2015.

COSTA, F. de S.; CAMPOS FILHO, M. D.; SANTIAGO, A. C. C.; MAGALHÃES, I. B.; CORDEIRO, L. da S.; LIMA, A. P. de; MAIA, G. R.; SILVA, E. P.; KLEIN, M. A.; SILVA, F. de A. C.; BARDALES, N. G.; QUEIROZ, L. R.; BRITO, E. de S. **Agricultura conservacionista na produção familiar de mandioca e milho no Juruá, Estado do Acre**: efeitos da adoção nos resultados de safras de 2006 a 2014. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2014. 10 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 186).

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90 p.



- DAVIDSON, E. A.; MARTINELLI, L. A. Nutrient limitations to secondary forest regrowth. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (Ed.). **Amazonia and global change**. Columbia: American Geophysical Union, 2009. p. 229-309. (Geophysical monograph series, v. 186).
- DE ANGELIS, D. L.; BARTELL, S. M.; BRENKERT, A. L. Effects of nutrient recycling and food-chain length on resilience. **The American Naturalist**, Chicago, v. 134, p. 778-805, 1989.
- DIAMOND, J. **Colapso**: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso. 5. ed. Rio de Janeiro: Record, 2007. 685 p.
- FARIA, D. G. M.; SANTORO, J.; TOMINAGA, L. K.; BROLLO, M. J.; SILVA, P. F.; RIBEIRO, R. R. **Relatório do atendimento emergencial realizado pelo Instituto Geológico em Santa Catarina em razão do desastre ocorrido em novembro de 2008**. São Paulo: Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, 2008. 26 p.
- FIDALSKI, F.; ALVES, S. J. Altura de pastejo de braquiária e carga animal limitada pelos atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 864-870, 2015.
- GERARD, C. J. Laboratory experiments on the effects of antecedent moisture content and residue application on structural properties of a fragile soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 7, p. 63-74, 1986.
- GOMES, F. H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga no Ilha do Cardoso - SP**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.
- KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. 1 CD-ROM.
- KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. **Amazonia and global change**. Washington, DC: American Geophysical Union, 2009. 565 p. (Geophysical monograph, 186).
- LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. 352, p. 997-1010, 1997.
- LAL, R. Soils and sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 28, p. 57-64, 2008.



- LAMARCA, C. C. **Stubble over the soil**. Madison: American Society of Agronomy, 1996. 245 p.
- LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1733-1744, 2012.
- MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, p. 217-224, 2008.
- MAGALHÃES, T. L.; BORTOLUZZI, R. L. C.; MANTOVANI, A. Levantamento florístico em três áreas úmidas (banhados) no Planalto de Santa Catarina, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, p. 269-279, 2013.
- MALHI, Y.; BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; CHAVE, J.; CZIMCZIK, C. I.; FIORE, A.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTOYA, L. M. M.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃOS, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; MARTÍNEZ, R. V.; TERBORGH, J.; VINCETI, B.; LLOYD, J. The above-ground coarse wood productivity of 104 neotropical forest plots. **Global Change Biology**, Malden, v. 10, p. 1-29, 2004.
- MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil – MG. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, p. 112-125, 2012.
- MIELNICZUK, J.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, D. M. G.; MENDES, I. C. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 3, p. 209-248, 2003.
- MILICH, L. **Characterizing and relating meridional variability in satellite images of the West African Sudano-Sahel to desertification and food security**. 1997. Dissertation (Master of Geography) - University of Arizona.
- OLSON, G. W. Improving uses of soils in Latin America. **Geoderma**, Amsterdam, v. 9, p. 257-267, 1973.
- QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, Munich, v. 8, p. 1415-1440, 2011.



RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995. 65 p.

REELEDER, R.; MILLER, J. J.; BALL COELHO, B. R.; ROY, R. C. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, micro arthropods and soil fungi in a cultivated fragile soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 33, p. 243-257, 2006.

REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS, 9., 2010, Rio Branco, AC. **Solos sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa: guia de campo**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 204 p. il. color. Editores: Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Lucielio Manoel da Silva, Paulo Guilherme Salvador Wadt, José Francisco Lumbreras, Marcos Gervasio Pereira.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 64-74, 1994.

ROVEDDER, A. P. M. Bioma Pampa: relações solo-vegetação e experiências de restauração. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 64.; ENCONTRO REGIONAL DE BOTANICOS MG, BA E ES, 23., 2013, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBB, 2013. p. 46-54.

ROVEDDER, A. P. M. **Potencial do *Lupinus albescens* Hook. & Arn. para recuperação de solos arenizados do Bioma Pampa**. 2007. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Revegetação com plantas de cobertura em solos arenizados sob erosão eólica no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 315-321, 2008.

ROVEDDER, A. P.; ELTZ, F. L. F.; GIRARDI-DEIRO, A. M.; DEBLE, L. Análise da composição florística do campo nativo afetado pelo fenômeno da arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, p. 501-503, 2005.

SÁ, J. P. G.; CAVIGLIONE, J. H. **Arenito Caiuá: capacidade de lotação das pastagens**. Londrina: Iapar, 1999. (Informe de pesquisa, 132).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p. il. color.



- SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil genesis. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 23, p. 152-156, 1959.
- SOMBROEK, W. G. **A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon Region**. Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1966. 292 p.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 5, p. 39-49, 2004.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS- ASCAR, 2008. 222 p.
- SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto grande do sul: controvérsia**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 130 p.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 91 p.
- TRINDADE, P. P.; QUADROS, F. L. F.; PILLAR, V. P. Vegetação campestre de areas do Sudoeste do Rio Grande do Sul sob pastejo e com exclusão do pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 771-779, 2008.
- WARMLING, M. T. **Diversidade edáfica em áreas de banhados no Planalto Catarinense**. 2013. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 891-900, set./out. 2004.

## Capítulo 2

# Identificação e mapeamento de solos frágeis no Município de Mineiros, GO

Alba Leonor da Silva Martins; Cesar da Silva Chagas

---



### Introdução

As áreas do Sudoeste Goiano tornaram-se foco para o estudo de solos frágeis, especialmente em virtude da expansão agrícola. Durante os anos de 1970 e 1980, os padrões de uso e cobertura da terra nessa região apontavam a ocorrência de extensas áreas com pecuária extensiva, arroz de sequeiro, milho, soja e sorgo (GUERRA, 1989). Localizado no Sudoeste Goiano, o município de Mineiros contava, em 2005, com apenas 35 ha com a cultura de cana-de-açúcar; em 2011, essa área passou para 21.000 ha, numa taxa de expansão de 60.188%, principalmente devido à instalação de usinas de etanol e açúcar (COUTINHO et al., 2013).

Na safra 2014/2015, o Estado de Goiás foi o segundo maior produtor de cana-de-açúcar, antecedido apenas por São Paulo, representando 9,5% da produção brasileira, com uma área plantada de 854,2 mil hectares e produtividade de 72,90 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015).