

**SOLOS E AMBIENTES DO  
QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)  
E APTIDÃO SILVICULTURAL DOS  
TABULEIROS COSTEIROS**

**AMAURY DE CARVALHO FILHO**

**2008**

**AMAURY DE CARVALHO FILHO**

**SOLOS E AMBIENTES DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)  
E APTIDÃO SILVICULTURAL DOS TABULEIROS COSTEIROS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título  
de “Doutor”.

Orientador  
Prof. Nilton Curi

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Carvalho Filho, Amaury de.

Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão  
silvicultural dos Tabuleiros Costeiros / Amaury de Carvalho Filho. –  
Lavras : UFLA, 2008.

245 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Nilton Curi.

Bibliografia.

1. Solos ferruginosos. 2. Óxidos de ferro. 3. Elementos-traço. 4.  
Potencial de uso da terra. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.41

**AMAURY DE CARVALHO FILHO**

**SOLOS E AMBIENTES DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)  
E APTIDÃO SILVICULTURAL DOS TABULEIROS COSTEIROS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título  
de “Doutor”.

APROVADA em 30 de maio de 2008

Prof. Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques	UFLA/DCS
Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira	UFLA/DCS
Dr. Paulo Emilio Ferreira da Motta	Embrapa Solos
Dr. Antônio Francisco Sá e Melo Marques	CETEC/MG

Prof. Dr. Nilton Curi  
UFLA/DCS  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

## AGRADECIMENTOS

Às instituições que viabilizaram a realização deste trabalho: Embrapa Solos, UFLA/DCS e CNPq.

Ao professor Nilton Curi, pela orientação, confiança, estímulo e amizade.

Aos membros da banca examinadora, Antônio Francisco de Sá e Melo Marques, Geraldo de Oliveira, João José Granate de Sá e Melo Marques e Paulo Emilio Ferreira da Motta, pela disponibilidade, compreensão e contribuições.

Ao professor José Domingos Fabris, do Departamento de Química da UFMG, pela realização das medidas de magnetização.

Ao colega Edgar Shinzato, da CPRM, pela amizade e colaboração em diversas fases do trabalho.

Aos colegas da Embrapa, Uebi Jorge Naime, José Francisco Lumbreras e Sebastião Barreiros Calderano, e a Marcus Manoel Fernandes, do CETEC, pela amizade e colaboração na realização do trabalho.

Aos colegas do laboratório da Embrapa Solos, em especial à Fátima Paulino e John Lee, pela colaboração e boa vontade na execução de análises.

Aos bolsistas Fred, Simone, Michele, Emanuella, Lívia, Toni e Paulo Fabrício, pela colaboração na preparação do material e execução de análises.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial à Maria Alice, Leninha e Daniela, pela colaboração constante.

Aos laboratoristas João Gualberto, Carlinhos, Roberto e Pezão, pela amizade e grande colaboração nas análises de laboratório.

Aos colegas de curso, em especial a Alexandre Romeiro, Ênio, Bruno, Geila, Adriana, Daniela, Regla e José Zilton, pela amizade e alegre convívio.

Ao Evaldo e família pela amizade e alegre convivência durante o curso.

A meus pais, irmãos e familiares pelo carinho e apoio constantes.

À minha esposa Alessandra, e às minhas filhas Ana Letícia e Fernanda, pelo apoio incondicional, amor e compreensão.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	iii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
PARTE I - SOLOS E AMBIENTES DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	3
CAPÍTULO 1: Quadrilátero Ferrífero: Solos e Ambientes.....	4
1 Resumo.....	5
2 Abstract.....	6
3 Introdução.....	7
4 O Quadrilátero Ferrífero.....	9
4.1 Geologia.....	9
4.2 Geomorfologia.....	15
5 Material e Métodos.....	16
6 Relações Solo - Paisagem.....	17
7 Considerações Finais.....	71
8 Referências Bibliográficas.....	71
CAPÍTULO 2: Solos de Constituição Ferruginosa.....	76
1 Resumo.....	77
2 Abstract.....	79
3 Introdução.....	81
4 Material e Métodos.....	82
4.1 Seleção e amostragem de solos.....	82
4.2 Análises físicas, químicas e mineralógicas.....	83
4.3 Elementos-traço e magnetização.....	85
5 Resultados e Discussão.....	90
5.1 Os solos no contexto do ambiente.....	90
5.2 Características morfológicas e físicas.....	95
5.3 Características químicas.....	101
5.4 Mineralogia da fração argila.....	106
5.4.1 Óxidos de ferro.....	112
5.5 Extrações com ditionito e oxalato na fração argila.....	122
5.6 Elementos-traço na fração terra fina.....	131
5.7 Classificação de solos.....	139
6 Conclusões.....	144
7 Referências Bibliográficas.....	146

PARTE II - SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO SILVICULTURAL DAS TERRAS DOS TABULEIROS COSTEIROS PARA EUCALIPTO.....	156
1 Resumo.....	157
2 Abstract.....	158
3 Introdução.....	159
4 O Ecossistema dos Tabuleiros Costeiros e a Cultura do Eucalipto.....	161
4.1 Os Tabuleiros Costeiros.....	161
4.2 Solos.....	163
4.3 Características dos solos e suas relações com a cultura do eucalipto.....	164
5 Princípios Metodológicos.....	168
5.1 Parâmetros para avaliação da aptidão silvicultural.....	170
5.1.1 Graus de limitação ou desvios.....	173
5.1.2 Quadro-Guia.....	184
5.1.3 Simbolização.....	185
5.2 Chaves para estimativa dos graus de limitação das terras dos Tabuleiros Costeiros, para uso com eucalipto.....	188
6 Sistema Informatizado para Avaliação da Aptidão Silvicultural.....	209
6.1 Características do sistema informatizado.....	210
6.2 Comparação entre o sistema informatizado e o procedimento tradicional de avaliação da aptidão silvicultural.....	219
7 Considerações Finais.....	221
8 Referências Bibliográficas.....	222
ANEXOS.....	226

## RESUMO GERAL

CARVALHO FILHO, Amaury de. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros**. 2008. 245 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

Dois ambientes brasileiros bastante distintos foram abordados neste trabalho: o Quadrilátero Ferrífero, situado na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, e os Tabuleiros Costeiros, que se estendem em faixa estreita ao longo do litoral desde o estado do Rio de Janeiro até o Amapá. O primeiro foi estudado tanto num contexto mais geral, no que tange à distribuição dos solos na paisagem e suas interrelações com os componentes do meio-físico, tendo como base uma porção representativa da região, referente à Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul RMBH), em que foram reconhecidos e caracterizados sete pedoambientes distintos, como num contexto mais específico, direcionado para a caracterização física, química e mineralógica, com atenção especial aos óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos) de ferro e à relação entre conteúdo de elementos-traço e material de origem, e taxonomia de solos com elevados teores de ferro, que são comuns nesse ambiente. Para isso, foram amostrados na área do Quadrilátero Ferrífero solos provenientes do intemperismo de três materiais de origem preferenciais: itabirito, dolomito ferruginoso (respectivamente das formações Cauê e Gandarela, ambas do Grupo Itabira) e serpentinitos (do Complexo Córrego dos Boiadeiros), a cujo acervo foram incluídos solos de outras regiões brasileiras, desenvolvidos de diferentes matérias de origem, com destaque para tufito, basalto e rochas básico-ultrabásicas. Ao lado dos teores muito elevados de óxidos de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico, em seu conjunto os solos estudados diferenciam-se pela intensa cor vermelha e expressiva concentração de maghemita (das mais elevadas em solos brasileiros), que ao lado de hematita e goethita constituem os minerais dominantes na fração argila, o que torna questionável a utilização da cor como critério exclusivo de distinção taxonômica de Latossolos em nível de subordem, conforme adotado pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, critério este que se fundamenta, em síntese, na proporção entre goethita e hematita, indicada pelo matiz. Em vista disso, é sugerido que o teor de óxido de ferro seja considerado em conjunto com a cor na distinção de Latossolos em segundo nível categórico, à semelhança do critério utilizado para a diferenciação desses solos pelo esquema de classificação anteriormente adotado no Brasil. Em alguns solos

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS).

desenvolvidos de dolomitos ferruginosos da Formação Gandarela, que se distinguem por uma coloração notadamente escurecida, foi registrada a presença de todoroquita, óxido de manganês cuja identificação em solos é muito pouco comum. Vale ressaltar que em alguns solos aqui estudados, os teores de óxidos de manganês (sem pré-tratamentos de concentração) são dos mais elevados em nosso país. Quanto ao conteúdo total de elementos-traço, foi observada uma clara diferenciação entre solos relacionados a itabirito e a dolomito ferruginoso, de um lado, com teores muito inferiores aos daqueles desenvolvidos de tufito e basalto, e de outro os derivados de serpentinito, em que alguns dos elementos analisados, em especial cromo e níquel, encontram-se em concentrações extremamente elevadas, indicando potencial poluidor. O valor 0,10 da relação molecular entre o conteúdo de óxidos de titânio e de ferro ( $TiO_2/Fe_2O_3$ ) obtidos pelo ataque sulfúrico mostrou ser um limite adequado para a distinção dos solos desenvolvidos de tufito e de basalto daqueles relacionados a materiais ferríferos e a rochas básico-ultrabásicas. Outro aspecto que se destaca refere-se à abundância de concreções ferruginosas (petroplintita) na fração grosseira (calhaus e cascalhos) de alguns solos do Quadrilátero Ferrífero, que, de acordo com os critérios atuais, conduz ao seu enquadramento como Plintossolos Pétricos, a despeito das condições pedogenéticas muito distintas em relação ao ambiente de formação da plintita, a par de outras características morfológicas diferenciais. Dessa forma, é também questionada a figura do horizonte concrecionário como horizonte diagnóstico, conforme definido pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, frente à incongruência com o caráter morfogenético considerado como princípio básico da classificação pedológica.

Quanto ao ecossistema representado pelos Tabuleiros Costeiros brasileiros, foi proposto um sistema para avaliação da aptidão silvicultural para eucalipto, motivado pela forte expansão dessa cultura sobre áreas dessa unidade de paisagem e ausência de critérios mais específicos para avaliação das potencialidades de uso de suas terras. Foram adotados os conceitos básicos do método de avaliação da aptidão agrícola utilizado pela Embrapa, estabelecendo-se parâmetros e simbolização próprios para avaliação da aptidão silvicultural, considerando-se a cultura do eucalipto nesse ambiente específico, e dois níveis de manejo (médio e alto nível tecnológico). Com base nos critérios estabelecidos, foi elaborado um sistema informatizado, no programa Microsoft Excel<sup>®</sup>, que possibilita a avaliação automática da aptidão para eucalipto no ecossistema em questão, o qual deverá evoluir através de testes de validação e ajustes, com base na produtividade de diferentes clones de eucalipto. O sistema proposto constitui ferramenta importante tanto para avaliação de áreas de dimensões restritas, como para planejamentos de uso da terra e zoneamentos diversos, e também como apoio substancial para silvicultura de precisão.

## GENERAL ABSTRACT

CARVALHO FILHO, Amaury de. **Soils and environments of the Ferriferous Quadrangle (MG) and forestry suitability of the Coastal Plains**. 2008. 245 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil<sup>1</sup>.

Two quite different Brazilian environments were approached in this work: the Ferriferous Quadrangle, located in the center-south portion of the State of Minas Gerais, and Coastal Plains, which extend in narrow strip along the coast from the State of Rio de Janeiro to Amapá. The first was studied in a more general context, with respect to the distribution of the soils in the landscape and their interrelations with the components of the physical environment, having as a base an area representative of the region, referring to the Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul RMBH), in which seven different pedoenvironments were recognized and characterized, as well as in a more specific context, addressed to the soil physical, chemical and mineralogical characterization, with special attention to the iron oxides (a general expression which includes oxides, oxihydroxides and hydroxides) and the relationship among trace elements content and parent material, and taxonomy of high iron level soils, which are common in this environment. For this, the following were sampled in the Ferriferous Quadrangle area: soils resulting from the weathering of mainly three parent materials: itabirite, ferroan dolomite (from the Cauê and Gandarela formations respectively, both of the Itabira group) and serpentinites (from the Córrego dos Boiadeiros complex), to which collection it were included soils of other Brazilian areas, developed from different parent materials, with prominence for tuffite, basalt and basic-ultrabasic rocks. Besides the very high iron levels obtained by the sulphuric acid digestion, the soils studied are differentiated by the intense red color and expressive maghemite concentration (one of the highest in Brazilian soils), that besides hematite and goethite constitute the dominant minerals in the clay fraction, which makes the use of color as an exclusive criterion of taxonomic distinction at the suborder level, as adopted by the current Brazilian Soil Classification System questionable, a criterion that is based, in synthesis, on the proportion between goethite and hematite indicated by the hue. In view of that, it is suggested that the iron levels are considered together with color in the distinction of soils in second category level, similar to the criterion used previously for the differentiation of Latosols by the classification scheme formerly adopted in Brazil. In some soils developed from ferroan dolomite from

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS).

the Gandarela formation, which stand out due to an especially darkened coloration, it was also registered the todorokite presence, manganese oxide whose identification in soils is very uncommon. It is worthy to mention that in some soils studied here, the amount of manganese oxides (whithout concentration pre-treatments) is one of the highest in our country. As for the total content of trace elements, a clear differentiation was observed between soils related to the itabirite and the ferroan dolomite, on one hand, with levels very inferior to those developed of tuffite and basalt, and those derived from sepeintinite on the other hand, in which some of the analyzed elements, especially chrome and nickel, are in extremely high concentrations, indicating a pollutant potential. Values of the molecular relationship between the content of titanium and iron oxides ( $TiO_2/Fe_2O_3$ ) obtained from the sulphuric acid digestion inferior to 0.10 were shown appropriate for the distinction of the soils derived of tuffite and basalt from those related to ferriferous materials and basic-ultrabasic rocks. Another aspect of note refers to the abundance of ferruginous concretions (petroplinthite) in the coarse fraction (cobbles and pebbles) of some soils of the Ferriferous Quadrangle, which, according to the current criteria leads them to be Petric Plinthosols, in spite of the very different pedogenetic conditions in relation to the formation environment of plinthite, together with other differential morphologic characteristics. As such, the figure of the concrecionary horizon as a diagnostic horizon is questioned, as defined by the current Brazilian System of Soil Classification, in view of the incongruity with the morphogenetic character considered as a basic principle of soil classification.

As for the ecosystem represented by the Coastal Plains, a system was elaborated for evaluation of the forestry suitability for eucalyptus, motivated by the strong expansion of this crop in areas of that unit of landscape and the absence of more specific criteria for evaluation of the use potentialities of their lands. It were adopted the basic concepts of the evaluation method of the agricultural suitability used by Embrapa, establishing parameters and unique symbolization for the evaluation of the forestry suitability, considering the eucalyptus crop in this specific environment, and two management levels (medium and high technological level). Based on the established criteria, a computerized system was elaborated in the Microsoft Excel<sup>®</sup> program, which makes the automatic evaluation of the suitability for eucalyptus in the environment in question possible, which should evolve through validation tests and adjustments, with basis upon the eucalyptus clones productivity. The proposed system constitutes an important tool for evaluation of areas of restricted dimensions, as well as for land use planning and diverse zonings, and also as a substantial support for precision silviculture.

## INTRODUÇÃO GERAL

No campo da Pedologia, muito variados são os ramos de investigação, que vão desde estudos específicos de gênese e classificação de solos, à aplicação dos conhecimentos na orientação do uso e manejo mais adequado das terras, ou mesmo no contexto da avaliação do equilíbrio ambiental, seja de áreas de pequenas dimensões ou de regiões extensas. Em todos eles, o elo com o mapeamento de solos é bem visível, na medida em que ele constitui uma base para a estratificação de ambientes, de forma que os constantes questionamentos quanto à validade dos levantamentos de solos, que se intensificaram a partir das duas últimas décadas, parecem refletir um desconhecimento das potencialidades desses trabalhos pelos diferentes usuários em potencial.

Foi justamente a partir da execução de levantamentos de solos, realizados em duas regiões de características ambientais bastante diversas, e geograficamente distantes, que surgiu a motivação deste trabalho, em que algumas das linhas de pesquisa acima mencionadas são abordadas.

Por tratar-se de ambientes e proposições de investigação bastante distintas, o trabalho é dividido em duas partes:

- a primeira é direcionada para a identificação das relações entre solos e condições ambientais em uma área representativa do Quadrilátero Ferrífero (MG), região ainda pouco conhecida em termos pedológicos, e cujos solos com concentração de compostos ferruginosos das mais elevadas na literatura mundial, juntamente com solos afins de outras regiões brasileiras, foram caracterizados de forma detalhada, com ênfase a aspectos mineralógicos e conteúdo de elementos-traço, de forma a permitir um melhor conhecimento de suas características intrínsecas, assim como subsidiar critérios de distinção taxonômica no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos;

- na segunda parte é contemplada a potencialidade de utilização dos Tabuleiros Costeiros com a cultura do eucalipto, visando estabelecer parâmetros mais apropriados para a avaliação da aptidão silvicultural de suas terras para essa cultura específica, que vem experimentando crescente expansão nesse ecossistema em anos recentes.

**PARTE I**

**SOLOS E AMBIENTES DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

## **CAPÍTULO 1**

### **Quadrilátero Ferrífero: Solos e Ambientes**

## 1 Resumo

CARVALHO FILHO, Amaury de. Quadrilátero Ferrífero: solos e ambientes. In: \_\_\_\_\_. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros**. 2008. Parte I, Cap. 1, p. 4-75. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

Por suas condições naturais muito propícias ao extrativismo mineral, ao mesmo tempo que francamente desfavoráveis à utilização agrícola, as investigações sobre os recursos naturais do Quadrilátero Ferrífero (MG) sempre se concentraram naquele tema, ao passo que as condições pedológicas permanecem ainda hoje pouco conhecidas. Nesse contexto, de forma a contribuir para o conhecimento das características e distribuição de solos desse importante ecossistema, foi realizada neste trabalho uma avaliação abrangente das condições pedoambientais predominantes em uma área representativa da região, referente à Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul RMBH), onde foram reconhecidos e caracterizados sete pedoambientes distintos, cujos padrões de distribuição de solos emolduram o quadro geral que caracteriza toda a paisagem do Quadrilátero Ferrífero. Para cada um deles foram discutidos aspectos referentes às condições ecológicas em sua interrelação com os solos. Sob a influência de uma enorme variabilidade litológica, e complexa estrutura de dobramentos de grandes dimensões, em conexão com um longo período de evolução geomorfológica, a região é marcada por acentuados contrastes topográficos, com as serras relacionadas às formações ferríferas do Grupo Itabira se destacando na paisagem. Há um grande domínio de solos pouco evoluídos (Cambissolos e Neossolos Litólicos) e algumas áreas com expressiva ocorrência de afloramentos rochosos. Desse modo, é forte a influência do material de origem nas características dos solos, em que se destaca o conjunto de solos de constituição ferrífera, distinguidos pelos teores de óxidos de ferro muito elevados e intensa cor vermelha, em alguns casos de notável escurecimento, condicionado à alta concentração de compostos de manganês, e pela constituição mineralógica oxidica, independente do grau de desenvolvimento pedogenético. A ocorrência de concreções ferruginosas é outra característica muito frequente. Predominam Cambissolos Háplicos Perféricos, com ocorrência menor de Latossolos Vermelhos Perféricos, que tendem a localizar-se de forma preferencial em rampas coluvionares de sopé, constituindo uma área de transição nos limites daquelas serras. O componente solo constituiu um elemento essencial para a interpretação das condições ecológicas vigentes, e portanto imprescindível para a definição de estratégias de uso e manejo sustentável das terras da região.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS).

## 2 Abstract

CARVALHO FILHO, Amaury de. Ferriferous Quadrangle: soils and environments. In: \_\_\_\_\_. **Soils and environments of the Ferriferous Quadrangle (MG) and forestry suitability of the Coastal Plains**. 2008. Part I, Cap. 1, p. 4-75. Thesis (Doctorate in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

Due to their very favorable natural conditions for the mineral extraction, and at the same time being frankly unfavorable for agricultural use, the investigations on the natural resources of the Ferriferous Quadrangle (MG) always concentrated on that theme, while the current pedologic conditions still remain poorly known. In that context, seeking to contribute to the knowledge of the soils of this important ecosystem, and to supply informations for environmental evaluations in the Ferriferous Quadrangle, an inclusive evaluation of the predominant pedologic conditions in a representative area of the region, regarded as the Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul RMBH) was accomplished in this work, in which seven different pedo-environments were recognized and characterized, whose soil distribution patterns frame the general picture which characterizes the whole landscape of the Ferriferous Quadrangle. For each one, aspects were discussed regarding the ecological conditions in their interrelations with the soil. Under the influence of an enormous litological variability, and complex unfolding structure of great dimensions, in connection with a long period of geomorphological evolution, the area is marked by having accentuated topographical contrasts, with mountain ranges related to the ferriferous formations of the Itabira Group standing out in the landscape. There is a great domain of little developed soils (Inceptisols and Entisols) and in some areas an expressive occurrence of rocky outcroppings. Therefore, the influence of the parent material in the characteristics of the soils is strong, in which the group of soils of ferriferous constitution stands out, distinguished by the very high amounts of iron oxides and intense red color, in some cases of notable darkening, conditioned to a very high manganese oxides content, and by the oxidic constitution, independent of the degree of pedogenetic development. The occurrence of ferruginous concretions is another very frequent characteristic. Perferric Cambisols prevail, with smaller occurrences of Perferric Red Latosols, which tend to locate in a preferential way in colluvial footslopes, constituting a transition area in the limits of those mountains. The component soil constituted an essential element for the interpretation of the effective ecological conditions, as well as for the definition sustainable use and land management strategies.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS).

### 3 Introdução

O Quadrilátero Ferrífero, que abrange uma área aproximada de 7.000 km<sup>2</sup>, localizada na parte centro-sul do estado de Minas Gerais, destaca-se no cenário nacional tanto no plano econômico como histórico-cultural, em relação direta com a riqueza em recursos minerais. Constitui uma das paisagens mais velhas do Brasil, que remonta aos tempos juro-cretáceos, quando, unidas, as terras da América do Sul, África, Oceania e Antártida formavam o supercontinente Gondwana. Suas formas de relevo apresentam contrastes marcantes entre altas cristas, que atingem 2000 metros de altitude no maciço quartzítico do Caraça, e vales profundos escavados pelos rios (Barbosa & Rodrigues, 1967).

Não obstante a riqueza e diversidade das condições ambientais, propícias ao desenvolvimento de investigações nos diversos ramos das ciências naturais (Barbosa & Rodrigues, 1967), a riqueza em recursos minerais do substrato geológico, e a enorme variabilidade litológica, têm conduzido a uma concentração de estudos sobre esse tema. Desse modo, até o presente, poucas são as pesquisas dedicadas aos solos (Brasil, 1983; Curi, 1983; Curi & Franzmeier, 1987; Reunião..., 1988; Ker & Scheffer, 1995; Costa, 2003; Shinzato & Carvalho Filho, 2005). O conhecimento desse importante recurso natural, seja no que concerne à sua distribuição espacial, como ao interrelacionamento com os componentes bióticos e abióticos do meio, e mesmo no que tange às suas características intrínsecas, é ainda incipiente.

O Quadrilátero Ferrífero é contemplado apenas por levantamentos pedológicos de caráter muito geral, referentes ao Projeto RadamBrasil, em escala 1:1.000.000, que cobre toda a área, e ao levantamento de reconhecimento (escala 1:500.000), realizado pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, 1983), para a

parte pertencente à bacia de captação do rio São Francisco. Apenas recentemente uma porção significativa da região foi palco de um levantamento de solos em nível mais detalhado, com mapa na escala 1:50.000 (Shinzato & Carvalho Filho, 2005), como um dos temas integrantes do Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul RMBH), sob a responsabilidade da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, através de contrato com a Secretaria de Meio Ambiente (SEMAD-MG).

Adstrito à marcante predisposição ao extrativismo mineral, são flagrantemente nessa área os processos de degradação decorrentes da intensa atividade mineradora aí desenvolvida. Portanto, estudos com abordagem ambiental integrada, que contemplem a caracterização dos solos dessa região assumem grande importância, não só para ampliar o conhecimento sobre esse ecossistema peculiar, mas ainda como instrumento auxiliar na busca de alternativas de uso e planejamento das atividades antrópicas, e como subsídio a programas especiais de conservação de solos e preservação do meio ambiente. Nesse contexto, esta seção tem como objetivo avaliar os principais componentes do meio natural, em sua interrelação com os solos, em uma área representativa da região, referente à APA Sul RMBH, com a finalidade de contribuir para o conhecimento dos solos do Quadrilátero Ferrífero como um todo, e fornecer subsídios para avaliações ambientais visando o desenvolvimento sustentável da região.

## 4 O Quadrilátero Ferrífero

Os limites do Quadrilátero Ferrífero são quase sempre marcados por bordas íngremes, relacionadas às serras alinhadas formadas sobre os metassedimentos do Supergrupo Minas, que assumem um arranjo aproximadamente quadrangular, grande parte delas com as rochas itabiríticas da Formação Cauê constituindo a linha de cumeadas (detalhe em preto na Figura 1).

A região constitui um divisor de águas das bacias do rio São Francisco, que drena para o norte, cujo principal afluente é o rio das Velhas, que corta toda a parte central do Quadrilátero, e do rio Doce, que dirige-se para leste. Sua paisagem alpestre encontra-se na confluência de dois importantes biomas, a floresta atlântica e o cerrado, cujos elementos se intercalam na paisagem em arranjo complexo. Desse modo, sob a influência de condições climáticas marcadas por temperaturas amenas e bons índices pluviométricos (Davis et al., 2005), posição na paisagem e características diferenciais dos solos, formações florestais e vegetação campestre, ou áreas de cerrado, convivem lado a lado.

É marcante na região a influência das condições litológicas e estruturais sobre a evolução do relevo, e também sobre a distribuição e características dos solos, cujas relações ainda precisam ser melhor compreendidas. Devido a isso, as características geológicas e geomorfológicas são aqui tratadas em maior detalhe.

### 4.1 Geologia

A geologia do Quadrilátero Ferrífero começou a ser investigada de forma sistemática a partir do final do século XIX, com os trabalhos pioneiros de Goerzeix, Derby e de Harder e Chamberlin (Dorr II, 1969), mas as relações entre as principais unidades estratigráficas regionais só foram melhor estabelecidas a

partir do mapeamento geológico, em escala 1:25.000, realizado entre 1946-1962 pelo programa de cooperação técnica firmado entre Brasil e Estados Unidos, através do DNPM e do USGS, cujos resultados foram sintetizados por Dorr II (1969)<sup>1</sup>.

De natureza complexa, o arcabouço geológico do Quadrilátero Ferrífero é constituído por quadro grandes unidades litoestratigráficas principais, formadas por rochas pré-cambrianas, representadas pelos complexos granito-gnáissicos metamórficos, que formam o embasamento cristalino, sotoposto à seqüência arqueana de rochas metavulcano-sedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, e sobre eles dois espessos pacotes de rochas metassedimentares proterozóicas: o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi (Figura 1). Todo o conjunto é seccionado por diques máficos, intrudidos em eventos de deformação posteriores, e localmente foram identificadas bacias terciárias de dimensões restritas (Dorr II, 1969).

Sob diversas denominações, os complexos ortognáissicos do embasamento cristalino afloram nas adjacências do Quadrilátero Ferrífero, com a única exceção da estrutura de aspecto dômico do Complexo do Bação, em sua parte central (Figura 1), entre as cidades de Itabirito e Ouro Preto. Representam porções de um antigo embasamento retrabalhado, constituídos por rochas gnáissicas polideformadas, e subordinadamente por granitos, granodioritos, anfíbolitos, e intrusões máficas a ultramáficas de idade neoarqueana.

---

<sup>1</sup> As informações aqui apresentadas, quando não indicado, baseiam-se na recente compilação realizada por Silva et al. (2005) para a área da APASul, que além dessa síntese inclui informações de trabalhos mais recentes.

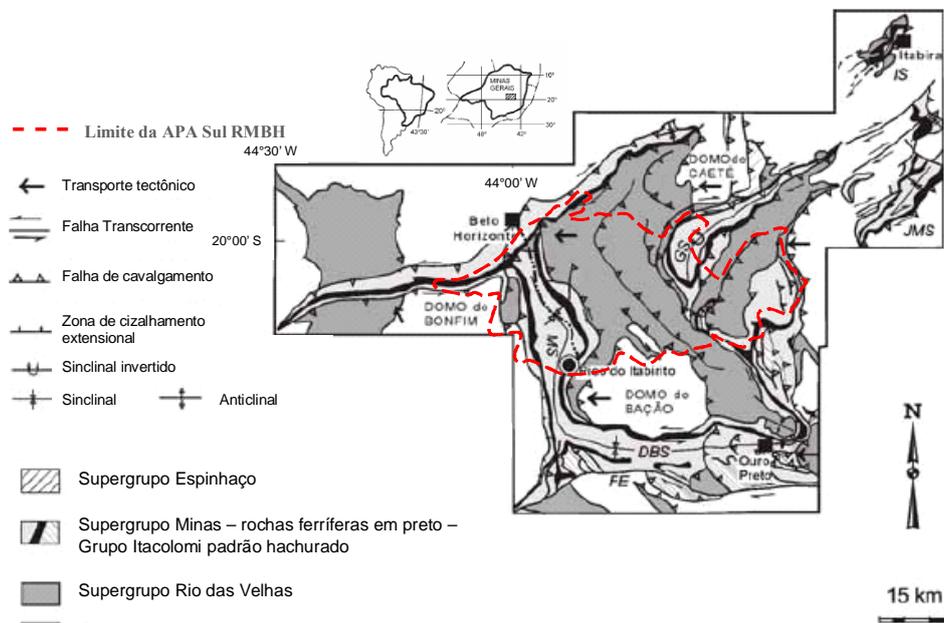


FIGURA 1. Mapa dos principais conjuntos litológicos e feições estruturais do Quadrilátero Ferrífero, com a delimitação da APA Sul RMBH.

O Supergrupo Rio das Velhas (anteriormente denominado Série Rio das Velhas) constitui uma sequência completa considerada típica de terrenos *greenstone belt* arqueanos; é formada pelos grupos Nova Lima e Maquiné. Com espessura mínima de 4.000 metros, o Grupo Nova Lima é, em geral, subdividido em uma unidade basal constituída por rochas ultramáficas, uma intermediária de natureza metassedimentar química, representada por xistos carbonáticos, metacherts, formações ferríferas bandadas e filitos, e a unidade clástica superior, com quartzo-xistos, quartzitos impuros, quartzo-filitos e metaconglomerados. Sobre ele, em contato pouco expressivo, assenta-se a Formação Palmital, constituída por quartzitos micáceos e metaconglomerados, com intercalações de xistos e filitos, e acima dela, completando a sequência do Grupo Maquiné, a

Formação Casa Forte, em que predominam quartzitos, quartzitos sericíticos e metaconglomerados subordinados.

A base do Grupo Nova Lima é intrudida por uma sequência de rochas básico-ultrabásicas de especial interesse para este estudo, denominada Complexo Córrego dos Boiadeiros, constituída por serpentinitos, metagabros e esteatitos, que afloram ao sul de Belo Horizonte.

Sobre o embasamento cristalino e as unidades do Supergrupo Rio das Velhas assentam-se, em nítida discordância, as rochas do Supergrupo Minas, o conjunto litológico de maior significância regional, ao qual devem-se as feições mais espetaculares do relevo, e a principal fonte de riqueza atual: o minério de ferro. Na compartimentação adotada por Dorr II (1969), a antiga Série Minas, de Derby, é subdividida nos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba, embora ainda persista alguma divergência quanto às relações crono-estratigráficas referentes ao primeiro, na base da sequência, que é representado por um conjunto de quartzitos, filitos, xistos e formações ferríferas, filíticas e dolomíticas. O Grupo Caraça, que aflora como espesso pacote indiviso na serra homônima, compreende as formações Moeda e Batatal. A primeira caracteriza-se por rápida e extrema variação de espessura em alguns locais, e é constituída por conglomerado basal em intercalação com quartzitos grosseiros de suposta origem fluvial, e filitos, quartzitos finos e metassiltitos de origem marinha-transicional; a segunda, em posição superior, apresenta filitos sericíticos e grafitosos, localmente com significativa quantidade de clorita e material carbonático. Acima delas posiciona-se o Grupo Itabira, unidade formada por rochas sedimentares de natureza química, referentes às extensas formações ferríferas bandadas de grande importância econômica, às quais está ligada a própria denominação da região. É também do intemperismo dessas rochas que se originam os solos de constituição ferrífera, objetos deste estudo.

O Grupo Itabira subdivide-se nas formações Cauê, constituída por itabiritos, com lentes subordinadas de dolomito, hematita compacta e friável, filitos e mármore, e Gandarela, composta por dolomitos, mármore, filitos e itabiritos dolomíticos; por serem intergradacionais e as zonas de contato estarem muitas vezes recobertas pelo manto de intemperismo, a separação entre elas nem sempre é possível, e em muitos locais arbitrária (Dorr II, 1969). No topo da sequência, encontra-se o Grupo Piracicaba, constituído por rochas sedimentares clásticas das formações Cercadinho (quartzito ferruginoso, quartzito, filito e dolomito), Fecho do Funil (filito dolomítico, filitos e dolomitos), Taboões (quartzito fino e maciço), Barreiro (filito e filito grafitoso) e Sabará (filito, clorita-xisto, metagrauvascas e localmente tufos e cherts); essa, em trabalhos mais recentes, foi elevada à categoria de grupo.

Com bem menor expressão territorial, o Grupo Itacolomi, constituído por quartzitos, quartzitos conglomeráticos e filitos, completa a sequência de rochas proterozóicas da região. Espalhadas por toda ela, ocorrem ainda grandes massas de rochas graníticas e corpos de pequenas dimensões de rochas ígneas (gabro e metagabro, e pequenos diques de diabásio, gabro e basalto, e seus produtos de alteração: serpentinitos, serpentinitos talcificados, clorita-talco xisto anfíbolíticos, magnetita-clorita xistos e clorititos), de idades indeterminadas, além de quatro depósitos sedimentares lacustrinos semiconsolidados, referidos ao Cenozóico: as bacias do Gandarela, rio do Peixe, Fonseca e Gongo Soco, com áreas de pequenas dimensões.

Várias outras acumulações sedimentares terciárias são também conhecidas. Algumas constituem importantes jazidas de bauxita, dentre as quais sobressai um tipo incomum de formação argilácea, sem evidência de estratificação e presença de conglomerado basal, com uma característica peculiar dada pela quase ausência de solos e vegetação, à qual foi atribuída a

denominação informal de “*mudstone*” (traduzido por alguns como lamito, ou argilito), cuja origem é ainda uma questão em aberto.

Toda a região foi palco de eventos extensionais e compressionais superpostos (Dorr II, 1969; Chemale Junior et al., 1991), responsáveis pela formação de megaestruturas como sinclinais, anticlinais e megafalhamentos (Figura 1), que incorporam um elemento de incerteza na correlação estratigráfica ao mascarar estruturas primárias e promover a repetição ou omissão de unidades (Dorr II, 1969). Embora com algumas divergências, são reconhecidas, em geral, cinco fases de deformação, relacionadas a três períodos orogênicos principais: Rio das Velhas (Jequié), de idade arqueana (2.700-2.650 Ma), Transamazônico (2.100-1.800 Ma) e Brasileiro (750-450 Ma). Ao evento mais antigo estão relacionadas duas fases de deformação, ambas anteriores à deposição dos sedimentos que deram origem ao Supergrupo Minas, e afetaram apenas as rochas do embasamento e do Supergrupo Rio das Velhas. O evento Transamazônico caracteriza-se pelo desenvolvimento de um orógeno contraccional paleoproterozóico, que expressa-se ao longo da serra do Curral, na borda norte do Quadrilátero, entre outros efeitos justapondo gnaisses e migmatitos do complexo Belo Horizonte a estratos invertidos do Grupo Piracicaba, numa fase inicial, a que se seguiu um colapso orogênico, com soerguimento de blocos, zonas de cisalhamento extensional e formação de megaestruturas, como os sinclinais da Moeda, Dom Bosco, Santa Rita e provavelmente Gandarela, e ainda a homoclinal da serra do Curral. Na quinta fase de deformação, referente à orogênese brasileira – um evento compressional de direção leste-oeste, e de maior significância no interior do Quadrilátero –, esses megassinclinais foram amplificadas, rotacionadas e transladadas, as zonas de fraqueza pré-existentes foram reaproveitadas e houve formação de novas feições estruturais (Chemale Junior et al., 1991), como o sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas, que envolve descontinuidades na sinclinal

Gandarela, e o sistema de falhas do Caraça. Foi esse o evento responsável pela formação do supercontinente Gondwana, num processo de colagem continental.

#### **4.2 Geomorfologia**

Da mesma forma que a complexidade geológica suscita interpretações diversas sobre os vários eventos que moldaram a estrutura litológica, também é um campo fértil de discussão a respeito dos processos de esculturação que modelaram a paisagem atual. Tanto assim, que mesmo quem, a princípio, considerava como desnecessária a interposição de eventos tectônicos para explicá-la (Barbosa & Rodrigues, 1965, 1967), acabou por entender impraticável uma correlação com elementos geomorfológicos externos (Barbosa, 1980), opinião também compartilhada por outros autores, em trabalhos subsequentes (Varajão, 1988, 1991; Medina et al., 2005).

Os grandes dobramentos regionais têm um papel destacado na evolução geomorfológica e conformação do relevo atual, na medida em que amplas estruturas articuladas em sinclinais e anticlinais foram desmontadas pela erosão, desde o Cretáceo, que promoveu a inversão do relevo, com os anticlinais constituindo atualmente os vales dissecados e as sinclinais em posição elevada, e cujas abas, sustentadas por litologias especiais do Supergrupo Minas, constituem os alinhamentos serranos que caracterizam a região (Barbosa & Rodrigues, 1965; Barbosa, 1980). De caráter nitidamente residual, a identificação de superfícies de erosão nessa paisagem é portanto muito difícil, e embora vários autores tenham se dedicado ao tema (King, 1956; Barbosa & Rodrigues, 1965, 1967; Dor II, 1969; Barbosa, 1980; Varajão, 1988), há muitas divergências quanto à relação entre os diversos níveis topográficos identificados na região (Varajão, 1991).

O relevo regional apresenta uma grande diversidade de feições morfológicas, com contrastes bastante significativos. Todo o conjunto está

sobrelevado (tectonicamente soerguido), com intervalo de altitude entre 900 e 1500 metros, mas chegando a 2000 metros na serra do Caraça (Medina et al., 2005).

## **5 Material e Métodos**

O trabalho foi desenvolvido em uma área representativa do Quadrilátero Ferrífero, referente à Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte – APA Sul RMBH –, com extensão de 1.625,32 km<sup>2</sup> (162.532 ha), situada entre 19°55'-20°15'S e 42°55'-44°15'WGr, que abrange parte dos municípios de Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibirité, Itabirito, Mário Campos, Nova Lima, Raposos, Santa Bárbara, Sarzedo e todo o município de Rio Acima, em Minas Gerais (Figura 2). Com base nas informações do levantamento pedológico em nível de reconhecimento de alta intensidade (escala 1:50.000), realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais em parceria com a Embrapa Solos (Shinzato & Carvalho Filho, 2005), a área em estudo foi percorrida de forma abrangente, procurando-se identificar as relações entre solos e os demais componentes do meio natural que caracterizam os grandes ambientes regionais. Em complementação à amostragem de solos do citado mapeamento, em locais selecionados foram realizadas novas coletas de materiais de solo, que foram submetidos a análises físicas e químicas de acordo com Embrapa (1997), perfazendo um total de 51 pontos de amostragem na área da APA Sul. Particular atenção foi dispensada à distribuição de solos de constituição ferrífera, de modo a subsidiar a seleção de amostras destinadas a um estudo específico sobre solos de constituição ferruginosa do Quadrilátero Ferrífero, tema do próximo capítulo.



Conforme o padrão de distribuição e características dos solos, foram identificados na área da APA Sul sete grandes ambientes, assim denominados: Serras Itabiríticas, Depressão do Paraopeba, Platô da Moeda, Vale do Rio das Velhas, Gandarela, Vale do Conceição e Serra do Caraça (Figura 3), cujos solos dominantes são representados na Figura 4.

### **I - Serras Itabiríticas**

Dentre os ambientes reconhecidos, este é o único que não constitui uma unidade inteira (Figura 3). Refere-se às serras alinhadas que se distribuem por toda a paisagem do Quadrilátero, com as rochas da Formação Cauê na linha de cumeada, e onde se verifica intenso extrativismo mineral, explorando-se os grandes volumes de minério de ferro concentrados nos itabiritos, itabiritos dolomíticos e lentes de hematita compacta que as constituem. É representado, na área em estudo, pelas serras do Curral, da Moeda, de Itabirito, da Água Limpa (ou Gandarela) e do Ouro Fino (Figura 3), cujos topos elevam-se entre 1300 e 1600 metros de altitude.

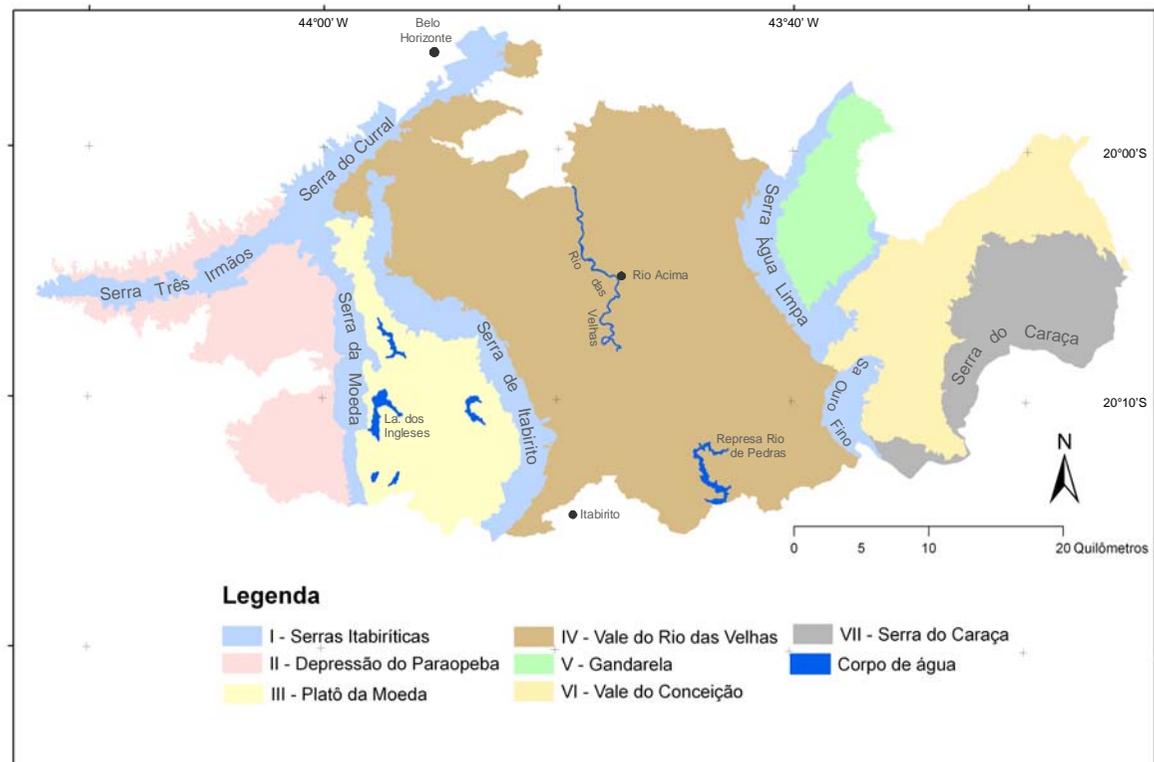


FIGURA 3. Mapa dos ambientes identificados na APA Sul RMBH.

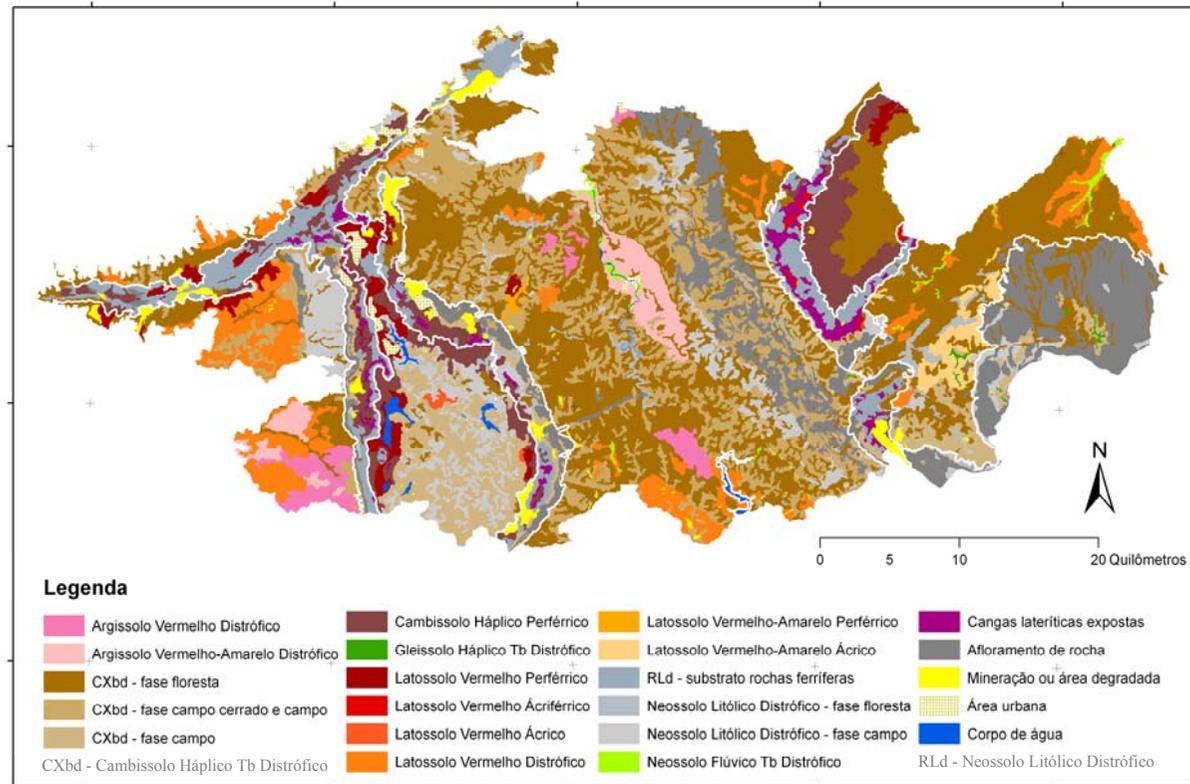


FIGURA 4. Mapa das principais classes de solos da APA Sul RMBH (adaptado de Shinzato & Carvalho Filho, 2005).

Em decorrência do forte dobramento a que foram submetidas as espessas camadas metassedimentares que constituem o Supergrupo Minas, uma característica bem marcada dessas serras é o aspecto distinto das faces opostas de suas vertentes, o que é bem evidente nas abas dos sinclinais, como na serra da Moeda. Enquanto no rebordo externo divisa-se uma faixa com afloramentos de quartzito, ladeada por áreas de solos pouco espessos, de cor clara, sob vegetação campestre (ver Figura 7a), na face interna os solos, igualmente rasos e em geral muito pedregosos, têm como material de origem o itabirito, e apresentam aspecto diverso, evidenciado na cor vermelho-escura muito intensa, dada pela extrema concentração de ferro, e que parece refletir-se no próprio aspecto da vegetação campestre que os recobre (Figura 5b). Nos solos amostrados na encosta da serra da Moeda (Ex06, Ex19 e Ex15; Tabela 1), por exemplo, os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos pelo ataque sulfúrico encontram-se entre 532 e 839 g  $\text{kg}^{-1}$  de solo (um deles, o Ex06, com considerável concentração de óxidos de Mn), que em contraste com os baixos teores de argila indica destruição de compostos ferruginosos das frações mais grosseiras por esse tratamento.

Mas o elemento talvez mais marcante das serras, e que lhes dá um caráter único, é o extenso capeamento de canga, uma formação superficial constituída por fragmentos de rocha soldados em matriz ferruginosa, que recobre grande parte dos topos arredondados com suave ondulação, mas que às vezes estende-se pela encosta interna, em declives acentuados (Figura 5). Sobre elas um recobrimento de líquens e de uma flora subarbustiva esparsa dá-lhes uma feição muito característica, de fácil reconhecimento à distância.

TABELA 1. Coloração e características físicas e químicas de horizontes selecionados de solos das Serras Itabiríticas.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr		
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m								
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					----- % -----					----- g kg <sup>-1</sup> -----				
<b>Ex20<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Perférico típico - campo tropical</b>																			
Bw	40 - 70	1,5YR 3/5	107	663	5,6	5,6	0,1	0	4,4	2	0	19,9	393	14,1	0,2	0,18	0,08		
<b>Ex17<sup>(2)</sup> - Plintossolo Pétrico Concrecionário cambissólico - campo cerrado tropical</b>																			
A1	0 - 15	5YR 3/3	213	267	4,9	4,2	1,5	0,3	9,6	16	17	24,0	669	2,7	0,5	0,20	0,04		
Bi	27 - 70	2,5YR 4/6*	43	635	5,6	5,6	0,2	0	2,8	7	0	11,2	614	2,6	0,3	0,10	0,03		
<b>Ex19<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Perférico típico - campo tropical</b>																			
A	0 - 25	10R 3/2	126	81	4,7	4,0	1,0	0,2	5,5	18	17	12,8	839	3,5	0,3	0,62	0,03		
Bi	45 - 90	9R 3/4	188	549	5,3	5,5	0,2	0	2,3	9	0	6,5	774	3,5	0,3	0,35	0,03		
<b>Ex06<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Perférico típico - campo tropical</b>																			
A	0 - 26	10R 3/2	343	61	5,8	5,4	0,7	0	4,1	17	0	8,4	663	2,0	24,2	0,24	0,02		
Bi	50 - 70	10R 3/3	288	143	6,5	6,5	0,2	0	1,0	20	0	0,6	682	2,6	14,4	0,20	0,02		
<b>Ex15<sup>(2)</sup> - Neossolo Litólico Distrófico fragmentário - campo tropical</b>																			
A1	0 - 15	4YR 3/3	138	121	5,2	4,6	0,5	0	2,5	20	0	7,7	532	1,4	4,1	0,81	0,04		
A2	15 - 29	3,5YR 3/3	192	182	5,0	4,7	0,3	0	2,3	13	0	6,5	567	1,4	1,7	0,76	0,04		
<b>P02<sup>(2)</sup> - Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico - floresta tropical perenifólia</b>																			
Ac	0 - 9	5YR 3/3	187	467	4,5	4,1	0,6	3,0	32,0	2	83	76,2	326	8,0	0,4	0,20	0,11		
ABc	9 - 22	5YR 3/4			4,3	4,4	0,6	1,5	20,5	3	71	63,3	327	12,0	0,4	0,21	0,11		
Bwc2	74 - 120	2,5YR 3/5	135	411	4,6	4,9	0,2	0,1	4,1	5	33	10,1	307	13,7	0,4	0,15	0,09		
<b>Ex14<sup>(2)</sup> - Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico - vegetação arbustiva</b>																			
A	0 - 10	6YR 3/2	168	279	4,5	4,1	1,3	2,0	27,6	5	61	93,0	309	7,4	0,2	0,13	0,07		
Bi	100 - 120	1,5YR 3/6	154	377	5,8	6,2	0,3	0	1,0	30	0	2,8	458	12,4	1,4	0,11	0,05		
<b>P15<sup>(2)</sup> - Neossolo Litólico Distrófico típico - campo tropical</b>																			
A	0 - 10	10YR 2/1	86	60	4,5	3,5	0,2	0,5	3,8	5	71	14,8							
C1	18 - 34	10YR 4/3	47	40	4,4	3,7	0,7	0,1	1,0	70	12	2,1							

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa; \*cor variegada de 2,5YR 4/6 e 5YR 3/4.

Nos sopés, formações pedimentares completam a sequência topográfica, em rampas coluvionares por vezes extensas, que embora melhor preservadas no interior do sinclinal da Moeda, encontram-se dispersas por todo o Quadrilátero (Barbosa, 1980) nas imediações das serras. A este segmento de paisagem estão diretamente relacionados os Latossolos Vermelhos Perféricos (Latosolos Ferríferos) típicos da região.

Expostas por um tempo muito longo aos processos erosivos, grande parte dessas serras apresenta-se como alinhamento de cristas aguçadas, já rebaixadas em certos trechos, sobre vertentes muito íngremes, com solos rasos sob rala cobertura de gramíneas. Com área bem menor, a floresta avança por encostas íngremes ao longo das linhas de drenagem, recobrimdo solos com volume de material terroso um pouco maior, em geral representados por Cambissolos. Em alguns pontos sobressaem picos isolados constituídos por hematita compacta, aos quais está ligada a denominação da Serra dos Três Irmãos, e cujo representante mais destacado é o pico do Itabirito (anteriormente denominado Itabira do Campo), na serra homônima, divisado a grandes distâncias na região.

Essas feições dominam quase toda a serra do Curral e seu prolongamento a sudoeste, a serra dos Três Irmãos, onde a frente erosiva atuou de forma intensa pelos dois flancos. Na face voltada para Belo Horizonte, no entanto, ainda persistem alguns patamares, que lembram formações pedimentares, semelhantes às do Platô da Moeda, embora mais desgastadas, onde ocorrem Cambissolos concrecionários (ou Plintossolos Pétricos) e mesmo alguns Latossolos Vermelhos de caráter perférico.

Apenas em alguns trechos menos dissecados os topos apresentam maior amplitude, com recobrimento de canga e solos a elas associados, constituídos por grande quantidade de concreções ferruginosas (como o Ex17), mas o domínio, no entanto, é de solos rasos e muito pedregosos, com pequeno volume

de terra fina, mesmo em relevo suavemente ondulado (em geral Cambissolos e Neossolos Litólicos, ambos de caráter perférrico). Na terminação norte da serra da Moeda, entremeio às áreas de canga e de solos pedregosos e concrecionários, ocorrem, voltadas para a face oeste, pequenas áreas deprimidas de conformação subarredondada, à moda de cabeceiras de drenagem; e com efeito, mesmo na época seca, o lençol freático está próximo da superfície (Figura 4), mas que apesar disso têm solos profundos e porosos, de cor vermelha viva e com elevados teores de ferro (Latosolos Vermelhos Perférricos, representados pelo perfil Ex20). Essas áreas são recobertas por vegetação campestre bem característica (Figura 5c); apresentam dimensões restritas e, ao que parece, são pouco comuns no ambiente das serras como um todo.

Já na serra da Água Limpa, que marca o limite entre o Vale do Rio das Velhas e a região do Gandarela, encontra-se o mais extenso capeamento de canga na área da APA Sul, entremeado, em abrupto contato, por áreas de floresta perenifólia sobre solos muito vermelhos e profundos (perfil P02), constituídos por grande quantidade de concreções ferruginosas (Figura 6d). Devido a isso, são atualmente enquadrados como Plintossolos Pétricos Concrecionários (Embrapa, 2006), embora apresentem grau de desenvolvimento pedogenético muito avançado, evidenciado tanto por suas características químicas e mineralógicas (Tabela 1), como pelo aspecto morfológico típico de B latossólico. No mapa de solos apresentado (Figura 4), por ter sido realizado na vigência da edição anterior do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), são referidos como Latossolos Vermelhos Acriférricos.



FIGURA 5. Carapaça de canga laterítica em topo (a) e encosta de serra (b); área levemente deprimida, localizado no topo da serra da Moeda, sob vegetação campestre (c) e perfil de Latossolo Vermelho Perfêrrico (Ex20), com lençol freático a 140 cm de profundidade na época seca (setembro/07), a ela correspondente (d); vale encaixado por onde o rio do Peixe atravessa a serra de Itabirito em direção ao rio das Velhas (e).

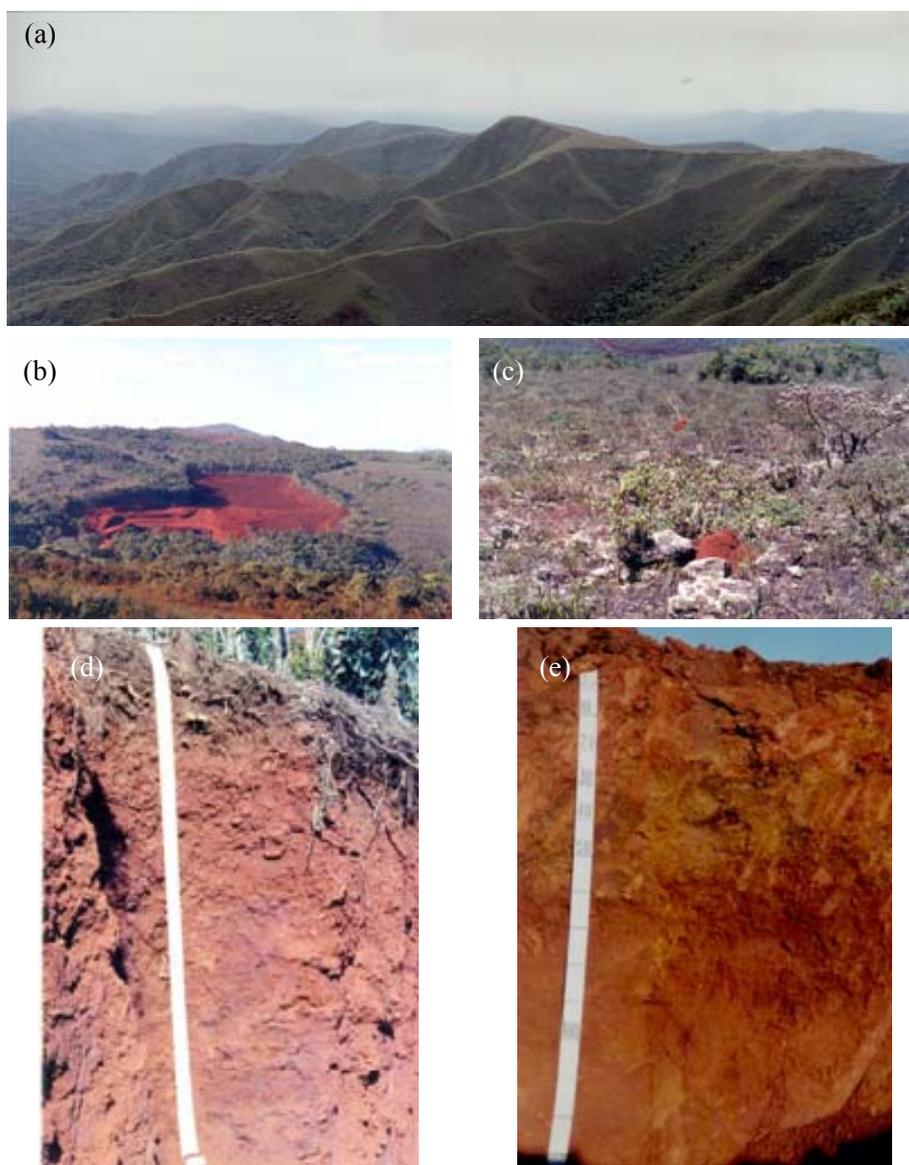


FIGURA 6. Aspectos da paisagem da serra da Água Limpa: encostas abruptas com Neossolos Litólicos (a) e área de extração de bauxita com solo vermelho, concrecionário, sob floresta (b), entre canga recoberta por líquens e arbustos (detalhe em c; notar a presença de cupinzeiros), e perfis de solo correspondentes: P02 (d) e Ex14 (e), com detalhe do horizonte F indo a 60 cm de profundidade.

Apesar da concentração elevada de óxidos de ferro solubilizados pelo ataque sulfúrico, próxima ao limite para distinção do caráter perférrico, é nas áreas desses solos que se realiza extração de bauxita, o que tem causado um desgaste ambiental e paisagístico acentuado, devido ao intenso trânsito de caminhões e movimentação de terra. A condição topográfica em que ocorrem, sugerindo relação com antigas linhas de drenagem, o que talvez tenha sido o fator determinante para a concentração residual de alumínio em ambiente tão rico em ferro, agrava também os impactos ambientais da atividade minerária. Destaca-se nesse contexto os elevados teores de matéria orgânica presentes nos horizontes superficiais do solo (Tabela 1), que acabam sendo retirados do sistema.

É também intensa a prospecção mineral nas áreas de canga exposta, sob as quais ocorre material pedogenizado de cor vermelha, como indica a presença comum de cupinzeiros (Figura 6c). Dispersos em meio à canga, ocorrem ainda pequenos aglomerados de vegetação arbustiva, que se sustenta sobre estreita camada de material terroso acima da bancada laterítica. Uma dessas áreas é representada pelo perfil Ex14 (Figura 6e), de cujas análises destaca-se a grande concentração de matéria orgânica no horizonte superficial (Tabela 1), superior à do solo sob mata, enquanto na camada vermelha subjacente os teores de ferro são também muito mais altos que naquele.

A carapaça de canga tem ainda um papel destacado na evolução geomorfológica da serra, assim como sobre a conformação da encosta voltada para a região do Gandarela (aba interna do sinclinal). Por apresentar forte resistência à remoção pela erosão, em contraste com o material mais friável subjacente, ao mesmo tempo em que contribui para a preservação de sua estrutura, acaba por conduzir à elaboração de escarpas muito íngremes (Figura 6a), fato verificado também em outras áreas, como no vale do ribeirão dos Fechos, que secciona o trecho setentrional da serra de Itabirito.

Nessa serra, além do pico do Itabirito, merecem destaque algumas áreas em que os topos são mais rebaixados, por onde a drenagem se instalou, provocando o dissecamento do interior do Platô da Moeda, como a transição do rio do Peixe (Figura 5e), escavando encostas pedimentares concrecionadas, num processo semelhante ao verificado no truncamento das serras do Curral e Três Irmãos pelos rios das Velhas e Paraopeba.

## **II - Depressão do Paraopeba**

Esta unidade refere-se à porção oeste da APA Sul, fora dos limites estritos do Quadrilátero Ferrífero propriamente dito, mas com algumas feições peculiares a ele, na faixa de transição com as serras da Moeda, a leste, e o prolongamento da serra do Curral, a norte, que recebe a denominação local de serra dos Três Irmãos (Figura 3). Em sua porção mais característica apresenta predomínio de feições fisiográficas representativas de grande parte dos terrenos granito-gnáissicos que o envolvem, com relevo de amplitude modesta, constituído por colinas convexas, em geral amplas (Figura 7b,c), e espesso manto de alteração. Apresenta todavia alguns elementos que a distinguem como área de transição, dentre os quais a ocorrência de cerrado sobre alguns topos mais elevados, principalmente a nordeste, entremeado à vegetação de floresta subperenifólia dominante em toda a área. Há predominância de Latossolos Vermelhos (Figura 4), de textura argilosa e baixa fertilidade natural, em geral álicos (representados pelos perfis P05, P27 e Ex01; Tabela 2), às vezes com horizonte B pouco espesso, condição que proporciona a ocorrência de voçorocas, por exposição do horizonte C de natureza muito friável, que se estende a grandes profundidades (Resende et al., 1992). Em geral ocorrem associados a Cambissolos, que predominam nas encostas de vale e fundos de grotas, assim como em alguns topos estreitos sob vegetação de cerrado ou campo cerrado (perfis P28, P26), em que chama atenção os teores de carbono

bem inferiores aos dos solos de floresta (Tabela 2), e nas encostas das serras adjacentes.

Ocorrem em menor proporção Argissolos Vermelhos (perfil P06) e Vermelhos-Amarelos, em áreas de maior dissecamento, de relevo mais acidentado (sempre com vegetação nativa de floresta).

O contato com a serra da Moeda é abrupto, marcado por encostas íngremes, com solos pouco espessos, em geral Cambissolos, que na base da escarpa têm como material de origem as rochas do Supergrupo Rio das Velhas. São recobertos em algumas áreas por vegetação de cerrado, que progride para as formações campestres em direção ao topo da serra (Figura 7a). Em sua terminação norte, porém, uma faixa de relevos íngremes com solos muito rasos, sob vegetação graminóide, antecede a encosta abrupta. Já a transição para a serra dos Três Irmãos é caracterizada por um brusco contato entre a vegetação florestal e a campestre. Distinguem-se também formas pedimentares, de contornos já bastante reduzidos pela erosão, em que ocorrem Latossolos de intensa cor vermelha e elevada concentração de óxidos de ferro, como visto na estrada para Casa Branca.

TABELA 2. Coloração e características físicas e químicas de horizontes selecionados de solos da Depressão do Paraopeba.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m					
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					---- % ----					----- g kg <sup>-1</sup> -----	
<b>P05<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Distrófico típico - floresta tropical subperenifólia</b>																
Ap1	0 - 8	2,5YR 3/2	106	550	4,9	4,0	1,3	1,5	11,7	11	54	21,3				
Ap2	8 - 18	2,5YR 3/2	101	572	4,7	4,0	0,4	1,7	11,8	3	81	20,4				
Bw2	106 - 159	2,5YR 3/4	116	569	4,7	4,1	0,1	1,0	7,8	1	91	11,8	119	18,4	1,16	0,84
<b>P27<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Distrófico cambissólico - floresta tropical subperenifólia</b>																
A	0 - 8	5YR 3/3	277	389	4,2	3,7	1,3	2,5	15,9	8	66	34,5				
AB	8 - 18	2,5YR 3/4	260	408	4,2	4,0	0,3	1,7	8,5	4	85	16,3				
Bw2	66 - 98	10R 4/6	209	426	4,9	4,2	0,1	0,6	3,7	3	86	4,8	61	8,3	0,91	0,77
<b>Ex01<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Distrófico típico - cerrado tropical subcaducifólio</b>																
A	0 - 20	4YR 4/6	180	593	4,3	4,0	0,3	0,8	10,1	3	73	22,8				
Bw	80 - 120	2,5YR 4/6	207	571	5,5	5,2	0,1	0	3,2	3	0	6,4	168	23,0	1,07	0,71
<b>P28<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico - cerrado tropical subcaducifólio</b>																
A	0 - 7	7,5YR 4/4	198	284	5,0	4,1	0,4	0,9	5,9	7	69	14,2				
AB	7 - 17	5YR 4/6	194	284	5,0	4,1	0,1	0,8	5,0	2	89	11,5				
Bi1	30 - 45	5YR 4/8	185	345	5,2	4,3	0,1	0,5	2,9	3	83	6,2	71	9,1	1,17	0,89
2Bi3	60 - 73	4YR 4/6	241	345	5,4	4,7	0,1	0,1	2,2	5	50	4,6	80	10,4	1,04	0,81
<b>P26<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - campo cerrado tropical</b>																
A	0 - 10	5YR 4/6	251	304	5,3	4,5	0,7	0,1	4,0	17	12	12,2				
BA	10 - 21	5YR 5/6	227	324	5,2	4,7	0,3	0,1	2,9	10	25	9,9				
Bi2	32 - 48	3,5YR 4/6	199	426	6,0	5,8	0,2	0	1,5	13	0	5,6	81	13,7	1,23	0,94
<b>P06<sup>(2)</sup> - Argissolo Vermelho Distrófico típico - floresta tropical subperenifólia</b>																
Ap	0 - 17	5YR 3/4	233	345	5,2	4,3	2,3	0,3	8,7	26	12	19,1				
AB	17 - 25	5YR 4/4	233	365	5,2	4,2	0,9	0,6	6,4	14	40	13,9				
Bt2	73 - 121	2,5YR 4/6	199	487	5,3	4,9	0,3	0	2,3	13	0	4,6	81	11,1	1,31	1,03

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa.

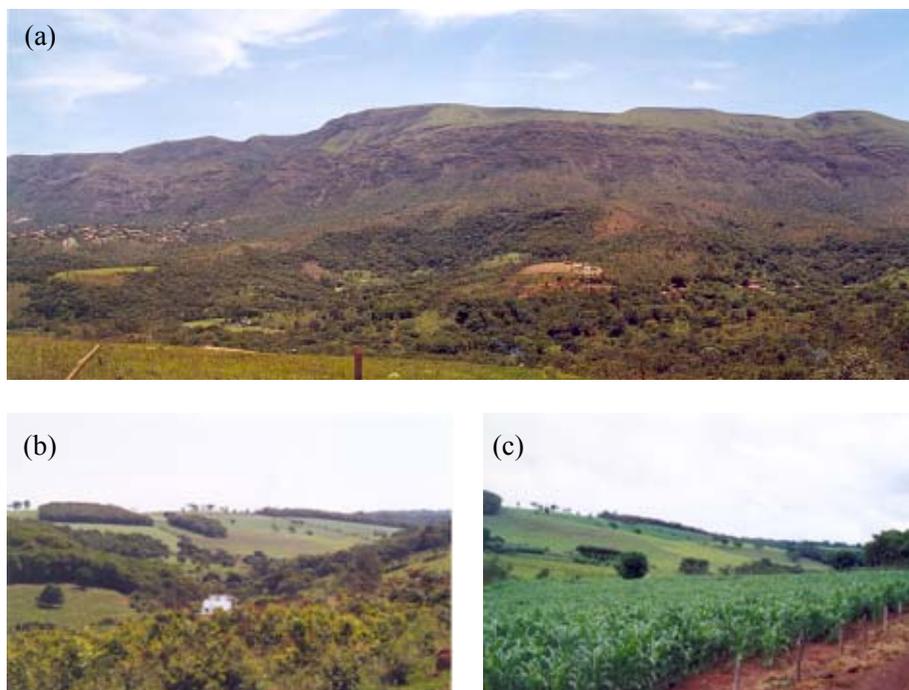


FIGURA 7. Aspectos da paisagem da Depressão do Paraopeba, vendo-se a encosta da serra da Moeda, com área de Cambissolos sob vegetação de campo cerrado e cerrado abaixo da faixa de afloramentos de quartzitos (a); e relevo convexo, de colinas amplas, em áreas de domínio de Latossolos Vermelhos-Amarelos (b) e Vermelho-Escuros (c), com vegetação nativa de floresta subperenifólia.

### III - Platô da Moeda

Há uma estreita relação entre esse pedoambiente e as serras itabiríticas que o ladeiam a oeste e leste, representadas respectivamente pelos alinhamentos serranos da Moeda e de Itabirito (serra das Serrinhas), que por constituírem anteparo à ação erosiva remontante são responsáveis pela preservação de sua estrutura, como núcleo de um amplo sinclinal geomorfologicamente suspenso

(Barbosa & Rodrigues, 1967), de identidade tão expressiva dentro do Quadrilátero Ferrífero (Barbosa & Rodrigues, 1965, 1967).

A parte circunscrita à APASul corresponde à porção mais bem preservada dessa antiga superfície embutida entre serras, à qual Pomerene chamou “*Plateau da Moeda*” (Barbosa, 1980), denominação também adotada neste texto, desde a junção com a serra do Curral, a norte (Figura 3), ao confronto com as vertentes do ribeirão Mata-Porcos, principal responsável pelo dissecação da porção meridional dessa província geomorfológica (Barbosa & Rodrigues, 1967; Barbosa, 1980).

Da conexão com as serras marginais, resulta uma paisagem peculiar — algo simétrica. Contíguo àquelas, em cada um dos flancos leste e oeste, distingue-se uma faixa relativamente estreita de pequenas colinas às quais entremeiam-se formações pedimentares, cujos solos, com forte influência de materiais ferríferos, evidenciam, tanto por suas características intrínsecas, como pela conformação topográfica (pedoforma), acentuado contraste com os terrenos do interior, relacionados às rochas do Grupo Piracicaba (Silva et al., 2005).

Nessa zona central, de maior amplitude territorial, o relevo é formado por amplas colinas de conformação convexa (Figura 8), embora elevadas, entremeadas por vales em geral bastante profundos e encaixados, cujas ramificações laterais sulcam as encostas em incisões de dimensão e profundidade variáveis, conforme a resistência do material geológico subjacente, e em cujas cabeceiras, moldadas numa profusão de ravinas coalescentes, é fato comum a incidência de voçorocamento, mercê da grande profundidade do manto de alteração em contraste com a pequena espessura do *solum* (Resende et al., 1992).

Ocorrem também vales mais abertos, onde muitas vezes a transição para o encaixe das drenagens faz-se por rampas coluvionares, talvez contemporâneas dos pedimentos que orlam as serras marginais, dispostas em plano ligeiramente

inclinado (por vezes na forma de ombreiras), na porção inferior das encostas, às quais se conectam em suave concavidade (Figura 8).

A despeito dos contornos amplos e suaves das encostas, os solos tendem a apresentar desenvolvimento pedogenético incipiente. Há um grande domínio de Cambissolos (Figura 4), em geral cascalhentos, por vezes pedregosos, de textura argilosa e cores bruno-amareladas no horizonte B, avermelhando em profundidade (Figura 8), mas com teores de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico relativamente elevados, como exemplificado pelo perfil P07 (Tabela 3), o que parece sugerir alguma contribuição de materiais provenientes do intemperismo das rochas ferríferas da região.

A presença de Latossolos é bem menos significativa, em geral relacionados às rampas coluvionares, cuja expressão máxima é verificada logo a norte da rodovia para Itabirito, próximo à Lagoa dos Ingleses (Figura 4). Apresentam horizonte Bw com estrutura granular típica dos solos dessa classe e cores em geral avermelhadas, ou mesmo mais amareladas, de cuja intensa tonalidade é possível inferir-se teores significativos de óxidos de ferro, que os caracterizariam como Latossolos Una, conforme o esquema de classificação de solos anteriormente adotado no Brasil (Camargo et al., 1987; Embrapa, 1988; Oliveira et al., 1992). Para os Latossolos de cor vermelha, por outro lado, a julgar pela fraca atração ao ímã de mão, o conteúdo desses óxidos parece insuficiente para distinção do caráter fêrrico (Embrapa, 1999, 2006). No entanto, para dois solos dessa classe caracterizados na região, um deles neste trabalho (Ex05; Tabela 3), outro estudado por Costa (2003), ambos localizados na transição para áreas referidas a materiais ferríferos nas proximidades das serras, verificou-se muito baixa magnetização na fração terra fina, apesar dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  superarem  $300 \text{ g kg}^{-1}$  de solo, fato incomum para materiais de solo com conteúdos tão altos desse óxido.

TABELA 3. Coloração e características físicas e químicas de horizontes selecionados de solos do Platô da Moeda.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m						
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					----- g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>P07<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Distroférico típico - campo tropical</b>																	
A1	0 - 9	10YR 4/4	301	598	5,1	4,1	2,3	0,6	13,3	17	21	32,1					
A2	9 - 20	9YR 5/4	269	597	5,1	4,1	1,0	0,6	8,6	12	37	24,4					
Bi1	25 - 42	7,5YR 5/6	306	555	5,4	4,6	0,4	0	4,5	9	0	19,2	187	13,2		0,84	0,56
Bi2	42 - 61	4YR 5/6	413	324	5,6	5,3	0,2	0	1,2	17	0	5,1	194	15,2		0,90	0,57
<b>P08<sup>(2)</sup> - Neossolo Regolítico Distrófico típico - campo tropical</b>																	
A	0 - 12	10YR 4/4	407	470	5,0	4,0	1,3	0,7	8,3	16	35	19,5					
Bi	12 - 19	10YR 5/6	377	510	4,9	4,0	0,5	1,0	6,9	7	67	16,5	137	4,6		1,33	0,94
<b>Ex05<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Acriférico típico - campo tropical</b>																	
Bw	75 - 110	2,5YR 3/6	105	653	5,9	5,7	0,3	0	3,6	8	0	14,4	343	13,3	0,2	0,05	0,03
<b>III RCC-1MG<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Perférico húmico - campo cerrado tropical</b>																	
Ap1	0 - 12	10R 3/3	200	420	5,5	4,6	0,9	0,3	8,3	11	25	24,6	538	21,5	0,8	0,11	0,03
A2	12 - 35	10R 3/3,5	150	440	5,7	5,1	0,6	0	5,5	11	0	19,6	559	20,8	0,8	0,12	0,04
Bw2	115 - 150	10R 3/6	240	420	6,2	6,4	0,1	0	1,3	8	0	5,5	597	23,1	0,8	0,10	0,03
<b>P04<sup>(2)</sup> - Plintossolo Pétrico Concrecionário cambissólico - campo cerrado tropical</b>																	
Ac	0 - 17	2,5YR 2,5/4	198	143	5,0	4,3	1,9	0,2	11,5	17	10	24,6	584	5,1	28,9	0,31	0,06
Bic	32 - 58	10R 3/4	289	310	5,9	6,1	0,1	0	2,0	5	0	7,8	610	6,7	7,8	0,28	0,06
<b>XXV CBCS-5<sup>(2)</sup> - Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico - campo cerrado tropical</b>																	
Ac	0 - 30	5YR 3/4	90	290	5,5	4,5	1,0	0,1	10,0	10	9	22,0	636	9,9		0,33	0,07
Bwc	55 - 121	10R 3/6	200	420	6,2	6,7	0,2	0	1,4	14	0	3,0	555	12,5		0,17	0,06
<b>P09<sup>(2)</sup> - Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico - campo tropical</b>																	
Ac	0 - 12	3,5YR 3/3	227	351	5,4	4,7	2,2	0	9,8	22	0	31,2	503	11,0	1,1	0,11	0,04
Bwc2	92 - 122	2,5YR 3/4	172	450	5,8	6,2	0,1	0	1,7	6	0	6,2	573	13,2		0,18	0,06

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa.

A situação preferencial de ocorrência dos Latossolos nessa paisagem parece indicar a existência pretérita de uma cobertura de material edafizado, talvez em nível topográfico que se estendesse por sobre as serras itabiríticas, em que esses solos fossem mais expressivos. A presença de alguns topos bastante elevados, entre 1430 e 1480 metros de altitude, quase ao nível das cotas máximas das serras adjacentes, e até suplantando-as em alguns de seus trechos, assim como a ocorrência de camada de canga ferruginosa sobre um deles, ainda que em pequena área, sugerindo certa relação com as condições que determinaram a gênese das cangas que recobrem as serras itabiríticas, parecem também convergir em direção à possibilidade de uma continuidade entre elas em época anterior.

Outro elemento de alguma relevância no contexto geomorfológico regional, embora com expressão territorial bastante restrita, diz respeito à ocorrência residual de materiais com evidências de plintização nas encostas de alguns vales, em situação topográfica bem acima do talvegue atual, ou mesmo como divisor de águas em nível topográfico mais baixo, o que sugere uma paisagem anterior com vales pouco encaixados, de drenagem restrita, condições às quais parece relacionada a origem dos depósitos minerais de argila refratária e de bauxita hoje explorados na região.

Quanto às encostas mais declivosas dos vales, predominam solos rasos, com horizonte A assente sobre a rocha ou sobre um saprolito duro, referentes a Neossolos Litólicos, assim como Neossolos Regolíticos, ao contrário daqueles com um substrato bem mais brando, em alguns casos apresentando exíguo horizonte B (perfil P08; Tabela 3). Sobre esses últimos, em geral relacionados a filitos e filitos dolomíticos do Grupo Piracicaba, é muito comum a ocorrência de voçorocas (Figura 8), mercê da grande friabilidade e profundidade do horizonte C, cuja variabilidade de cores amareladas, plúmbeas e esbranquiçadas dão aspecto peculiar aos desbarrancamentos. A maior expressão desses solos é

verificada nas encostas íngremes dos vales dos ribeirões Capitão da Mata e dos Marinheiros, de cuja junção tem origem o rio do Peixe, que atravessa a serra de Itabirito em direção ao rio das Velhas.

Independente do tipo de solo, em toda essa área central é grande o domínio da vegetação campestre (campos limpos), com presença de floresta subperenifólia, em acentuado contraste, ao redor de algumas cabeceiras de drenagem, ou em faixa estreita adjacente aos talwegues (Figura 8). Apenas ao longo do vale aberto pelo ribeirão Capitão da Mata ocorre uma faixa de floresta mais expressiva, sobre as encostas íngremes que limitam as formações pedimentares à sua margem esquerda, constituídas por uma mistura de materiais ferruginosos provenientes da serra adjacente.

Nessa faixa de terrenos que ladeiam as serras, em geral referidos à Formação Gandarela (Silva et al., 2005), os solos, sob vegetação nativa de campo cerrado ou mesmo campo, caracterizam-se pela intensa cor vermelha, em alguns casos com tonalidade bastante escurecida, e teores de ferro extremamente elevados, distintivos do caráter perférrico (Tabela 3). A ocorrência de pedregosidade, referente a intenso concrecionamento, é também muito comum, principalmente no relevo colinoso, cujos solos apresentam horizonte B incipiente (perfil P04; Figura 9) ou, em menor proporção, B latossólico (perfis XXV CBCS-5 e P09), sobre horizonte C em geral de cor muito escura, relacionada à presença muito expressiva de óxidos de manganês. Em razão dessas características, no mapeamento de solos da APA Sul (Shinzato & Carvalho Filho, 2005), esses solos foram classificados, respectivamente, como Cambissolos Háplicos Perférricos petroplínticos e Latossolos Vermelhos Perférricos petroplínticos, em conformidade com a primeira versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999); porém, a partir da introdução do conceito do horizonte concrecionário na versão atual do sistema (Embrapa, 2006), que tem precedência taxonômica sobre os demais, passaram a

se enquadrar como Plintossolos Pétricos Concrecionários (Tabela 3). No entanto, por ser o conceito desse horizonte diagnóstico um tanto controverso (ver discussão a respeito no capítulo seguinte), e face à necessidade de verificações de campo para uma atualização taxonômica adequada, o mapa de solos aqui apresentado (Figura 4) segue a versão original.

Solos concrecionários semelhantes aos anteriores, mas com participação mais efetiva de materiais transportados, são também comuns nas rampas pedimentares conectadas às serras, com uma certa tendência a se localizarem nas partes superiores dessas encostas suaves (às vezes como espessas massas soldadas por matriz ferruginosa), enquanto nas áreas mais baixas, ou em relevo levemente deprimido, predominam Latossolos Vermelhos Perféricos, nos quais a ocorrência de concreções restringe-se aos horizontes inferiores, em geral de pequeno tamanho (tipo chumbo de caça), como exemplifica o perfil III RCC-1MG (Figura 9).

Essas formações pedimentares são bem distintas na borda oeste, adjacente à serra da Moeda, por onde passa a BR040 (Figura 9), onde Medina et al. (2005) destacam, inclusive, feições relacionadas à elaboração de complexos de rampas, enquanto na terminação norte representam quase toda a área dessa unidade, conectando a borda leste da serra de Itabirito aos topos, aí rebaixados, das serras da Moeda e do Curral. Sua continuidade é parcialmente interrompida apenas em um local, pelo vale de encostas escarpadas, com domínio de Neossolos Litólicos (Figura 4), escavado pelo ribeirão dos Fechos.

Nesse trecho de forte estrangulamento (Figura 3), onde assume a feição mais própria da qualificação geográfica indicada em sua denominação, o desnível entre o topo das serras e o fundo do vale é bastante reduzido, com coalescência suave, caracterizado pela ocorrência de *paleoplayas* que deram origem a importantes depósitos de bauxita, como o de Vargem dos Óculos, cuja sequência estratigráfica, com intercalações de canga horizontalizada, evidencia

alternância de períodos secos e úmidos ao longo da evolução da área (Barbosa & Rodrigues, 1965; Ker & Schaefer, 1995). Nessas suaves depressões sem drenagem aparente, Latossolos Vermelhos de constituição ferruginosa são também dominantes, mas sua observação é hoje bastante dificultada pela ocupação urbana e exploração mineral.

Devido às condições naturais muito pouco propícias à utilização com agricultura, o Platô da Moeda historicamente constituiu uma zona de baixa atividade econômica (Barbosa & Rodrigues, 1967), quadro que tem se alterado de forma acentuada, a partir do incremento da atividade minerária ligada à extração do ferro, principalmente, e em anos recentes com a forte expansão dos projetos imobiliários nos arredores da capital mineira. Com eles crescem também os processos de degradação ambiental, relacionados ao aumento do número de bacias de rejeito de mineração (com seu enorme potencial de contaminação de aquíferos), intensa movimentação de terra e abertura de estradas. Estas constituem um sério problema, principalmente na parte central desse ambiente, onde a conjunção entre manto de intemperismo muito profundo e friável e *solum* (horizontes A + B) pouco espesso torna-a muito suscetível à erosão por fluxo de água concentrado, ao expor-se o horizonte C, via de regra bastante erodível (Resende et al., 1992), o que tem resultado em intenso voçorocamento. Mesmo uma simples cerca divisória entre pastagens, ao canalizar o escoamento de água, pode causar a abertura de sulcos de erosão profundos (Figura 8d) e, em determinadas circunstâncias, levar a danos consideráveis. Tal condição requer, portanto, cuidados especiais na utilização das terras desse ambiente, em especial no que se refere ao traçado e escoamento das estradas.

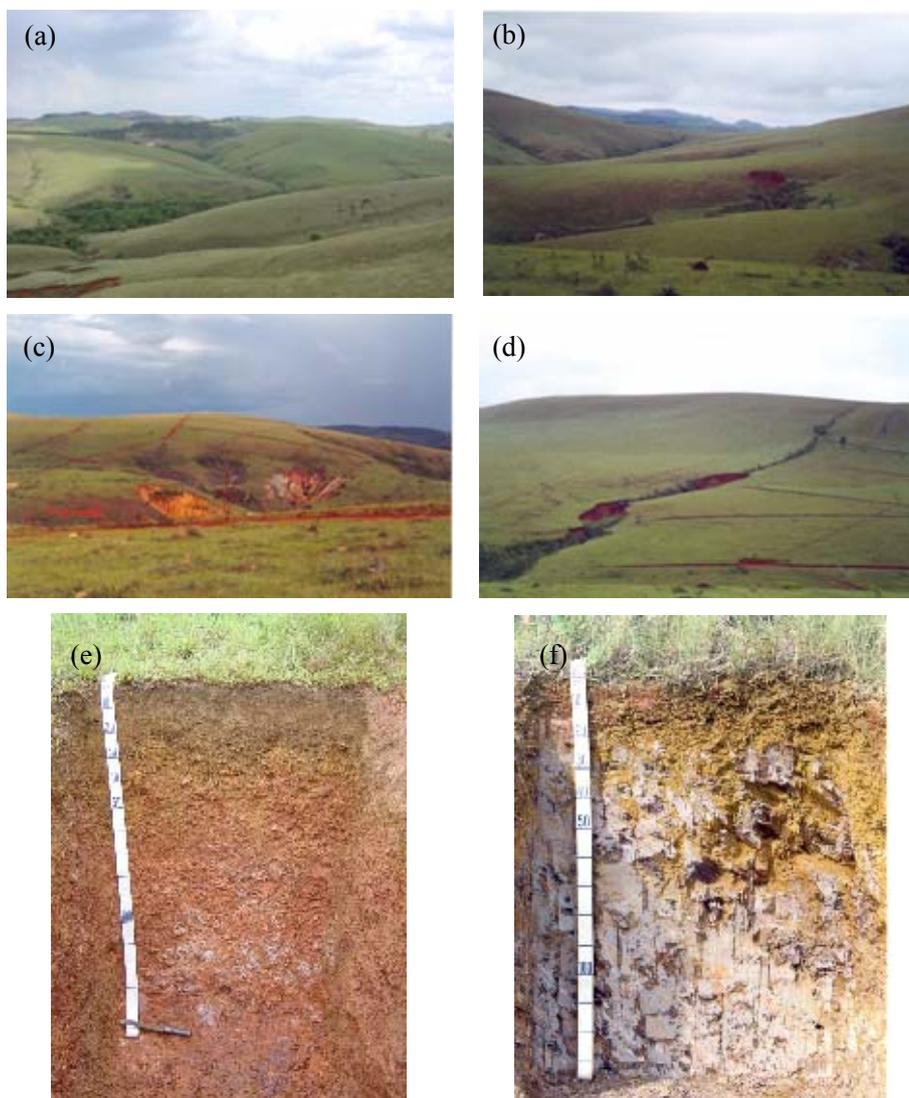


FIGURA 8. Aspecto da paisagem da parte central do Platô da Moeda: vegetação campestre (campo limpo) sobre encostas convexas ravinadas, com rampas coluvionares no terço inferior (a, b), voçorocamento e erosão em sulco (c, d) e perfis de solo representativos: (e) Cambissolo Háplico (P07) e (f) Neossolo Regolítico (P08)



FIGURA 9. Vista das rampas coluvionares (pedimentos) e colinas suaves adjacentes à serra da Moeda (a) e perfis de solos representativos: (b) Latossolos Vermelho Perférico (III RCC-1MG); (c) Plintossolo Pétrico Concrecionário (P04).

#### **IV - Vale do Rio das Velhas**

Ocupando a parte central da APA Sul, o Vale do Rio das Velhas constitui o ambiente de maior amplitude territorial em sua área (Figura 3), e é também, de certa forma, o mais heterogêneo. Nele distinguem-se dois conjuntos principais, com características bastante distintas: a porção centro-ocidental, mais diretamente relacionada ao curso do próprio rio das Velhas, de relevo acidentado, com elevações íngremes entremeadas por vales estreitos, encaixados e profundos, ao longo dos quais expande-se a vegetação florestal, em franco contraste com os campos cerrados e campos que predominam nas posições superiores das encostas, e uma faixa a leste de aspecto bastante característico, dado pela alternância de alinhamentos rochosos, intercalados por patamares escalonados de relevo relativamente suave, à qual Medina et al. (2005) denominaram “Patamares Escalonados da Serra do Jaguará”.

Inclui, além deles, pequena área no limite meridional pertencente ao Complexo Bação (Silva et al., 2005), que embora de grande importância no contexto regional, por sua pequena expressão territorial no perímetro da APA Sul, e pela continuidade física com o Vale do Rio das Velhas, foi englobada nesse ambiente. Corresponde a uma superfície rebaixada em relação às áreas circundantes, de relevo forte ondulado e ondulado, com topos ao redor de 1000 metros de altitude e encostas convexas entremeadas por ravinas anfiteátricas, em geral amplas, além de várzeas muito pouco expressivas, e cuja vegetação nativa de floresta subperenifólia foi em grande parte removida, atualmente substituída por pastagens de braquiária. Predominam Latossolos Vermelhos (perfil P24), que tendem a ocorrer nas encostas de conformação convexa, com menor incidência de Cambissolos Háplicos (perfil P22), relacionados às áreas mais encaixadas e de pedoforma côncava, ambos de textura argilosa e baixa fertilidade natural, em especial os Cambissolos, em que os teores de Al trocável são relativamente elevados (Tabela 4). De forma semelhante à paisagem da

Depressão do Paraopeba, alguns topos em nível mais alto apresentam vegetação de cerrado, sobre Cambissolos e Latossolos pouco profundos; e o processo de voçorocamento é também intenso, favorecido pela grande espessura e friabilidade do horizonte C desses solos (Parzaneze, 1991), resultando em assoreamento dos cursos d'água, o que inclusive levou ao seccionamento de um braço da represa do Rio de Pedras, próximo a Acuruí, isolando-o do corpo principal.

A norte, em compasso com o aprofundamento do nível de base, controlado pelo leito do rio das Velhas, estende-se a área de forte dissecamento promovido por esse rio e seus afluentes, de relevo montanhoso e forte ondulado, cujo padrão de paisagem é bastante expressivo dentro do Quadrilátero Ferrífero como um todo. Moldada, em grande parte, nas rochas xistosas do Grupo Nova Lima (Silva et al., 2005), caracteriza-se por uma sucessão de elevações íngremes, bastante ravinadas, com topos estreitos, estendidos em ramificações divergentes, sob vegetação de campo cerrado, ou mesmo campo com árvores esparsas, em forte contraste com a floresta subperenifólia que avança ao longo das drenagens (Figura 10), e que a jusante tende a apresentar maior amplitude, na medida em que há um rebaixamento gradativo da paisagem e ampliação dos vales. Assim, as maiores extensões florestais justapõem-se aos vales mais amplos, enquanto a vegetação de fácies campestre recobre topos e encostas íngremes, com maior extensão contínua nos remanescentes mais elevados, em geral afastados dos cursos d'água principais, como próximo às serras a oeste (Figura 4), onde alguns topos atingem 1300 metros de altitude (quase ao nível dos afloramentos de quartzito que margeiam a serra de Itabirito), e a floresta resume-se a estreitas faixas adjacentes aos talvegues (Figura 10).

TABELA 4. Coloração e características físicas e químicas de horizontes selecionados de solos do Vale do Rio das Velhas.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m						
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					----- g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>P24<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Ácrico típico - floresta tropical subperenifólia</b>																	
A	0 - 18	2,5YR 3/4	153	388	4,9	4,2	0,7	0,8	8,7	8	53	20,1					
Bw2	89 - 138	1,5YR 4/8	114	508	5,8	6,0	0,1	0	1,1	9	0	3,4	95	16,7		0,64	0,50
<b>P22<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifólia</b>																	
A	0 - 10	7,5YR 3/4	209	410	4,4	3,7	0,5	2,7	10,8	5	84	35,7					
Bi2	38 - 62	2,5YR 4/8	202	404	5,0	4,1	0,1	0,8	3,2	3	89	5,7	60	8,0		1,14	0,98
<b>P03<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - campo cerrado tropical</b>																	
A	0 - 5	6YR 4/4	415	305	5,3	4,3	1,1	0,3	6,5	17	21	18,7					
Bi1	5 - 17	5YR 4/6	331	304	5,1	4,3	0,3	0,4	4,7	6	57	12,7					
Bi2	17 - 35	6YR 5/6	504	304	5,4	4,6	0,3	0,1	2,4	12	25	7,7	165	1,7		1,41	0,87
<b>P10<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - campo cerrado tropical</b>																	
A	0 - 7	5YR 4/4	515	202	4,9	4,1	0,3	0,7	4,4	7	70	11,1					
AB	7 - 16	5YR 4/6	493	222	5,0	4,1	0,2	0,7	4,2	5	78	9,7					
Bi	16 - 33	5YR 5/6	518	243	5,0	4,1	0,1	0,6	3,1	3	86	6,8	75	2,0		1,66	1,18
<b>P23<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - campo cerrado tropical</b>																	
A	0 - 13	7,5YR 4/4	370	366	4,8	4,2	0,5	0,8	5,1	10	62	12,0					
AB	13 - 25	7,5YR 4/5	399	407	5,1	4,3	0,3	0,8	4,4	7	73	11,0					
2Bi1	25 - 42	7,5YR 4/6	446	407	5,2	4,4	0,2	0,6	3,3	6	75	6,8	163	18,2		1,37	0,86
2Bi2	42 - 65	7,5YR 4/4	594	284	5,3	4,5	0,1	0,5	2,2	5	83	4,0	155	15,8		1,43	0,91
<b>P29<sup>(2)</sup> - Neossolo Litólico Distrófico típico - campo tropical</b>																	
A	0 - 9	7,5YR 4/4	403	429	5,1	4,2	1,2	0,6	7,2	17	33	19,9					
AB	9 - 20	7,5YR 4/6	328	429	5,0	4,2	0,3	0,8	4,8	6	73	14,9					
B/C	20 - 40	5YR 4/6	474	265	5,2	4,3	0,3	0,9	4,5	7	75	7,3	153	0,9		1,68	1,08

(...continua...)

TABELA 4, Cont.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m						
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					----- g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>P33<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Perférico latossólico - campo tropical</b>																	
A1	0 - 18	5YR 3/3	232	512	6,0	5,4	1,9	0	6,0	32	0	19,8	438	9,4	3,1	0,44	0,18
A2	18 - 28	3,5YR 3/3	253	532	5,9	5,6	1,0	0	4,1	24	0	15,9	435	9,0	2,9	0,44	0,18
BA	38 - 52	2,5YR 3/4	287	471	6,3	6,6	0,3	0	1,4	21	0	7,5	414	8,8	3,1	0,31	0,14
Bi1	52 - 81	5YR 4/5	305	492	6,5	7,1	0,1	0	0,4	25	0	3,8	410	8,9	3,4	0,25	0,12
<b>Ex09<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho-Amarelo Perférico típico - campo tropical</b>																	
Bw2	80 - 110	5YR 3,5/3	149	755	7,0	6,8	0,3	0	0,3	100	0	1,6	504	8,5	12,5	0,30	0,12
<b>Ex02<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Perférico típico - campo tropical</b>																	
Ap	0 - 21	2,5YR 3/4	240	659	5,1	4,4	0,4	0,2	8,0	5	33	22,8	321	9,7	0,5	0,67	0,35
Bw3	109 - 140	9R 3/4	121	799	5,7	6,2	0,1	0	1,6	6	0	7,6	374	10,2	0,4	0,55	0,27
<b>P30<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifolia</b>																	
A	0 - 9	7,5YR 4/4	460	347	4,6	3,8	0,6	2,4	12,2	5	80	22,9					
AB	9 - 22	6,5YR 4/6	487	346	4,7	4,0	0,3	1,8	7,5	4	86	12,9					
Bi2	62 - 82	6YR 5/6	451	365	5,1	4,3	0,1	0,6	3,6	3	86	3,8	101	1,5		1,42	1,02
<b>P34<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifolia</b>																	
A	0 - 9	5YR 4/4	293	433	4,8	4,1	0,7	1,5	14,1	5	68	35,8					
AB	9 - 20	5YR 4/6	230	472	4,9	4,3	0,3	1,0	8,7	3	77	20,5					
Bi2	32 - 70	5YR 4/8	215	469	5,3	4,7	0,2	0,2	3,9	5	50	8,1	162	6,1		0,71	0,48
<b>P32<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifolia</b>																	
A	0 - 8	7,5YR 4/6	280	517	4,8	3,9	1,4	2,3	15,9	9	62	36,7					
AB	8 - 19	6YR 4/6	237	514	4,8	3,9	0,5	2,3	11,4	4	82	22,8					
Bi	29 - 47	5YR 4/7	236	512	4,9	4,0	0,3	1,5	7,0	4	83	11,5	156	9,7		1,46	0,95

(... continua...)

TABELA 4, Cont.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m						
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					----- g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>P12<sup>(2)</sup> - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbissólico - floresta tropical subperenifólia</b>																	
A	0 - 11	7,5YR 4/4	456	409	4,2	3,6	0,9	3,5	12,6	7	80	23,2					
AB	11 - 28	7,5YR 4/6	420	449	4,3	3,7	0,3	3,5	9,6	3	92	13,4					
Bt1	47 - 70	5YR 4/6	418	427	4,6	3,8	0,1	2,3	5,6	2	96	5,9	71	2,3		1,78	1,39
<b>P11<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Distrófico típico - campo tropical</b>																	
A	0 - 8	2,5Y 5/4	294	101	4,7	4,1	0,4	0,3	3,0	13	43	7,9					
AB	8 - 16	1,5Y 5/6	298	141	4,8	4,1	0,1	0,4	2,9	3	80	7,2					
2Bi2	22 - 53	10YR 7/8	476	141	5,2	4,3	0,1	0,2	2,4	4	67	6,6	53	0,8		1,76	1,11
<b>P13<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - campo cerrado tropical</b>																	
A	0 - 5	10YR 4/3	332	101	6,1	5,1	3,3	0	5,8	57	0	16,8					
AB	5 - 15	10YR 4/4	342	101	5,9	4,4	1,0	0,1	3,5	29	9	8,7					
Bi1	30 - 53	7,5YR 5/8	340	121	6,0	4,5	0,4	0,1	1,9	21	20	4,3	49	1,7		1,74	1,04
<b>P35<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico léptico - campo tropical</b>																	
A	0 - 10	2,5Y 4/4	387	60	5,1	4,3	0,2	0,4	3,0	7	67	9,2					
AB	10 - 18	2,5Y 5/4	323	60	5,2	4,5	0,1	0,3	2,4	4	75	5,7					
2Bi2	22 - 29	2,5Y 6/6	345	60	5,5	4,7	0,1	0,2	1,6	6	67	4,4	25	0,4		2,31	1,41
<b>P38<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico léptico - campo tropical</b>																	
A	0 - 10	7,5YR 4/5	290	430	4,9	4,2	0,3	1,1	7,8	4	79	23,1					
Bi1	10 - 17	6,5YR 4/6	260	368	5,1	4,4	0,2	0,4	4,4	5	67	13,8	260	1,5		1,19	0,54
<b>P14<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifólia</b>																	
A	0 - 12	10YR 3/4	461	307	4,3	3,5	0,8	3,6	18,9	4	82	44,9					
AB	12 - 20	10YR 4/4	460	366	4,0	3,8	0,3	2,8	11,5	3	90	23,2					
2Bi2	33 - 47	7,5YR 5/6	398	366	4,6	4,2	0,3	1,6	6,8	4	84	16,1	121	1,2		1,54	0,95

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa.

Entretanto, independente do tipo de cobertura vegetal, em toda essa área é amplo o domínio de Cambissolos Háplicos (Figura 4), solos por sua própria evolução pedogenética muito variáveis, mas em que certas características evidenciam relação com a condição ambiental específica (definida pelo tipo de vegetação nativa) em que se inserem.

Nas áreas sob campo cerrado e campo, esses solos apresentam textura média ou argilosa, com teores de silte em geral superiores aos de argila, e ocorrência comum de cascalhos, assim como baixa fertilidade natural (perfis P03, P10 e P23; Tabela 4). O horizonte B incipiente, de cores amareladas ou vermelho-amareladas, nos matizes 7,5YR a 5YR, com ocorrência bem menos frequente de matizes mais avermelhados, apresenta, em geral, pequena espessura, que tende a reduzir-se ainda mais nas áreas de relevo montanhoso, caracterizando solos lépticos ou líticos (Embrapa, 2006). Aí encontram-se comumente associados a Neossolos Litólicos, que se distinguem pela presença de um horizonte CR bastante endurecido muito próximo à superfície (perfil P29; Figura 10).

É também muito comum nessas áreas a ocorrência de pedregosidade superficial, além da baixa fertilidade natural, decorrente principalmente da pobreza química do material de origem, mas um aspecto que chama atenção, como regra geral para os solos sob esse tipo de cobertura vegetal, é a pequena espessura e o baixo teor de carbono orgânico do horizonte A, indicado por suas cores bem claras (Tabela 4), como resultado da intensa remoção de material por erosão laminar a que estão submetidos. Sob tal condição erosional, ao lado da deficiência nutricional e dos baixos conteúdos de matéria orgânica na camada superficial, além da própria exposição à luz solar, e por consequência intenso estresse hídrico, a fixação e o desenvolvimento de espécies arbóreas são bastante dificultados, o que parece condicionar a colonização pela vegetação florestal a um avanço gradativo, como um corpo contínuo, provável razão da marcante

descontinuidade no contato entre formações vegetais de características tão díspares nessa área.

No entanto, apesar do baixo recobrimento vegetal e da pequena espessura do *solum*, e em que pese a grande profundidade do manto de alteração, a ocorrência de voçorocas é em geral pouco expressiva. Nesse caso, aliado à própria condição topográfica, a compacidade e firme consistência do substrato geológico alterado, que em geral se refere a um horizonte CR bastante endurecido, no qual se distinguem os estratos orientados dos metassedimentos do Grupo Nova Lima, parece constituir um fator de resistência à erosão em sulcos e dificultar o desenvolvimento de voçorocas de maior dimensão, condicionadas principalmente ao escoamento de água das estradas.

Essa resistência ao voçorocamento, assim como a presença de solos rasos, é indicada também pelo próprio ravinamento natural, em lineamentos estreitos (Figura 10b), ao mesmo tempo em que permite inferir-se uma baixa taxa pedogênese/erosão, responsável pelo pequeno desenvolvimento do horizonte B (Curi et al., 1984). Todavia, apesar do relevo acidentado, a presença de exposições rochosas é bem pouco comum, com maior expressividade apenas em um topo de elevação alinhado em direção leste-oeste, a norte de Itabirito (Figura 4), em que, entremeados a Cambissolos pouco profundos ou rasos (lépticos ou líticos) e Neossolos Litólicos, afloram quartzitos da formação Palmital, do Grupo Maquiné (Silva et al., 2005).

Inserida nesse ambiente, sobressai uma área de dimensões restritas, situada junto à serra de Itabirito, na parte central da APA Sul (Figura 4), que, preservada em parte da erosão remontante, distoa do contexto geral da paisagem, seja pela conformação topográfica, um pouco mais suave, seja pela maior profundidade e desenvolvimento pedogenético dos solos, eles próprios com características peculiares. Sob a influência de rochas máfico-ultramáficas (serpentinitos, metagabros e esteatitos) do complexo Córrego dos Boiadeiros

(Silva et al., 2005), das quais se originam, esses solos apresentam teores de ferro bastante elevados, distintivos de caráter perférrico (perfis P33, Ex09, Ex02; Tabela 4), destacando-se a ocorrência de Latossolos (perfil Ex09) e Cambissolos latossólicos (perfil P33), cujas cores brunado-escuras, de forte intensidade, dos horizontes inferiores (de matiz 5YR ou 4YR) contrastam-se com a tonalidade mais avermelhada dos horizontes mais próximos da superfície (Figura 10e), contrário ao padrão de cores mais comum aos solos brasileiros (Resende et al., 2007). Além dessa característica diferencial expressa na coloração dos barrancos expostos, chama atenção a presença de blocos de rocha (em geral serpentinitos) imersos na massa do solo, apesar do avançado grau de intemperismo do material terroso (indicado pelo baixo índice Ki) e muito baixas soma e saturação por bases (Tabela 4), ou aflorando à superfície em pequenos aglomerados dispersos ao acaso; enquanto logo a norte predominam solos bastante profundos, de intensa cor vermelha e estrutura granular fortemente desenvolvida, referentes a Latossolos Vermelhos Perférricos (perfil Ex02), cujos teores um pouco menores de  $Fe_2O_3$  do ataque sulfúrico parecem indicar alguma contribuição de outros materiais de origem.

Além dessa área, a presença de Latossolos Vermelhos sob vegetação campestre foi verificada apenas em um local de dimensões muito reduzidas, em suave depressão no topo da paisagem, onde aparentam preencher o canal de uma paleovoçoroca.

Já nas áreas sob floresta, há maior variabilidade tanto das características como dos tipos de solos. Nos fundos dos vales, no entanto, a exemplo de constatações semelhantes de Spera et al. (1996), os Cambissolos, aí também dominantes, tendem a apresentar horizonte B um pouco mais espesso que nas áreas sob campo cerrado ou campo, principalmente em condições de relevo menos acidentado, onde ocorrem inclusive materiais de constituição latossólica. É muito frequente também a presença de fragmentos de rocha em diferentes

estádios de intemperização em meio ao material terroso, em muitos casos determinante para a distinção do horizonte B incipiente, uma vez que tanto o incremento de argila, como a cerosidade tendem a ser insuficientes para caracterizar o B textural. Tal condição sugere para esses solos uma forte relação com material coluvionar, talvez proveniente de solos mais intemperizados que ocupavam posições superiores, em uma paisagem pretérita. Embora também muito variáveis, as cores do horizonte B tendem a ser vermelho-amareladas, ou mesmo avermelhadas, essas com maior frequência que nas áreas sob vegetação campestre, mas a característica mais destacada dos solos sob mata em relação àqueles refere-se às maiores profundidade e teor de matéria orgânica do horizonte A, além dos conteúdos mais elevados de Al trocável (Tabela 4), ao que parece relacionados aos compostos orgânicos. Em geral encontram-se associados a Latossolos Vermelho-Amarelos cambissólicos, mas a presença de Latossolos Vermelhos é substancial em algumas áreas (Figura 4), de preferência em relevo mais suave, de conformação convexa, nos fundos de vale.

Ocorrem no entanto solos bastante rasos, referidos a Neossolos Litólicos (Figura 4) em associação com Cambissolos lépticos ou líticos, relacionados a encostas escarpadas ou montanhosas (declives superiores a 45%) em alguns trechos muito encaixados ao longo do rio das Velhas e de seus afluentes principais, como o rio do Peixe, onde os cursos d'água parecem se ajustar a linhas de falhas geológicas (Barbosa & Rodrigues, 1965; Medina et al., 2005).

Além desses, é também expressiva, em algumas áreas, a ocorrência de Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, os primeiros relacionados a encostas declivosas de perfil côncavo, em relevo forte ondulado ou mesmo montanhoso, nas proximidades de Acuruí, e em áreas menores a norte, enquanto os Argissolos Vermelho-Amarelos têm expressão máxima nos arredores de Rio Acima (Figura 4), em uma superfície mais baixa, de relevo forte ondulado e ondulado, bem distinto do padrão dominante na região. Os Argissolos dessa área

(perfil P12; Tabela 4) apresentam textura argilosa, com teores de silte elevados, e cores vermelho-amareladas no horizonte B, em geral no matiz 5YR, com suave tom rosado. Apesar da estrutura em blocos bem expressa nesse horizonte, na maioria desses solos a cerosidade apresenta baixo grau de desenvolvimento, o que, ao lado do pequeno gradiente textural, levou ao reconhecimento de caráter intermediário com a classe dos Cambissolos, a eles associados nessa paisagem, ocupando as encostas mais declivosas, preferencialmente em posição de terço inferior. Entremeio às elevações, algumas baixadas mais amplas apresentam pequenos terraços fluviais, às vezes utilizados com olarias, que têm Cambissolos Flúvicos e Argissolos Vermelho-Amarelos cambissólicos, ao lado de pequenas várzeas com Neossolos Flúvicos, mais expressivas apenas às margens do rio das Velhas (Figura 4).

É também nesse trecho mais rebaixado que a transição para a paisagem de aspecto bastante característico a leste faz-se de forma mais destacada, seja por encostas íngremes, com solos bastante rasos (em geral Neossolos Litólicos), cuja pequena profundidade é indicada pela rugosidade à superfície dos terrenos, evidenciando a estratificação do substrato rochoso (Figura 11), ou até mesmo em paredões abruptos, como por onde se projeta o córrego do Viana.

Condicionada à grande resistência ao intemperismo e à estrutura dobrada com acentuado ângulo de mergulho dos metassedimentos do Grupo Maquiné (quartzitos micáceos, quartzitos sericíticos e metaconglomerados, com intercalações de xistos e filitos), essa porção oriental do Vale do Rio das Velhas é dominada por afloramentos de rocha (Figura 4) que sobressaem em cristas alinhadas em direção sudeste-noroeste, intercaladas por patamares de relevo mais suave, sob rala cobertura vegetal (campo ou campo cerrado).

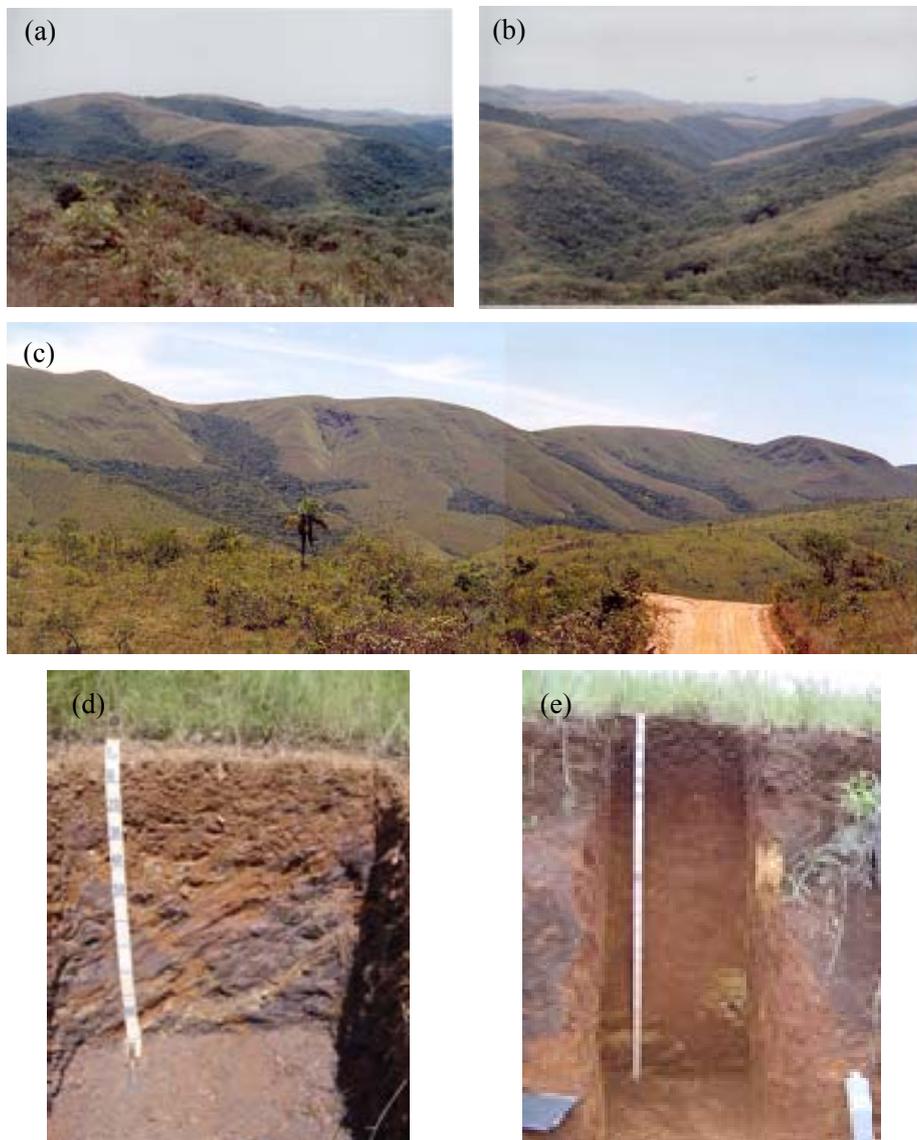


FIGURA 10. Aspectos típicos da paisagem dissecada do Vale do Rio das Velhas: floresta subpernifolia nos fundos de vale, em claro contraste com os topos sob vegetação campestre (a, b), dominante em áreas de relevo íngreme (c), com solos rasos, exemplificados pelo perfil P29 (d); e coloração característica de solos desenvolvidos de serpentinito (P33) (e).

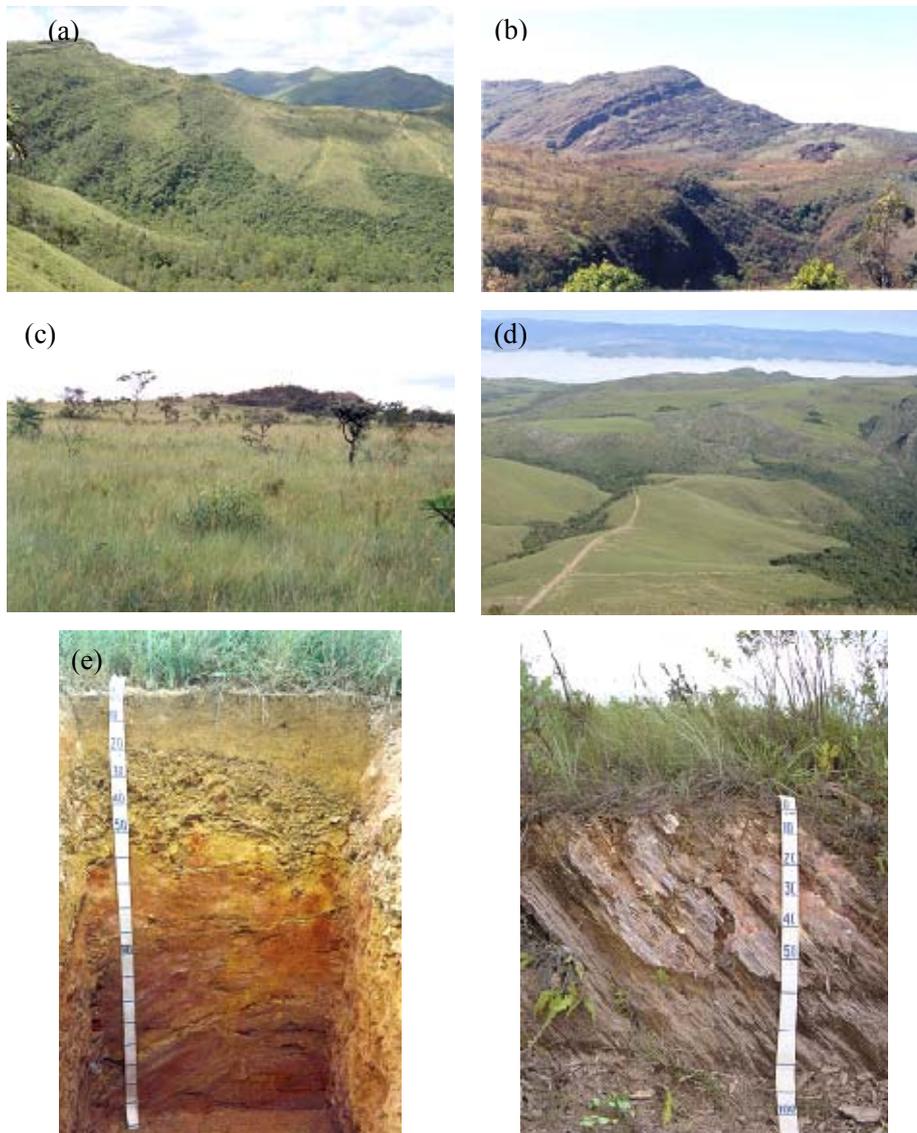


FIGURA 11. Paisagem do Vale do Rio das Velhas, a leste: áreas íngremes com alinhamentos rochosos, de forte inclinação e solos rasos, indicado pelo rugosidade à superfície do terreno (a, b), entremeados a patamares de relevo suave (c), na parte leste com pequeno desnível para as cristas rochosas (d) e solos representativos: (e) Cambissolo Háplico (P11); (f) Neossolo Litólico, sob campo.

Seja em encostas íngremes, ou alinhamentos de pequeno destaque topográfico, os afloramentos rochosos da região apresentam-se bastante fraturados, entremeados por pequenas manchas de solos rasos (Neossolos Litólicos e Cambissolos lépticos ou líticos), sob vegetação campestre, às vezes com pequenos arbustos fixados aos interstícios das lajes dos quartzitos. Essas cristas rochosas alternam-se com vales de profundidade variável, e trechos relativamente extensos de relevo suave, dispostos em patamares que se elevam progressivamente em direção à borda ocidental da serra da Água Limpa, no limite com a bacia do Rio Doce. Nas encostas dos vales ocorrem solos com profundidade um pouco maior, às vezes sob aglomerados de vegetação arbustiva (campo cerrado), mas de dimensões restritas, ao lado de áreas em que a rocha está bem próxima da superfície ou aflorando em pequenos blocos. Mesmo nos trechos mais suaves dos patamares de maior amplitude o horizonte B não chega a um metro de profundidade e é comum pequenos aglomerados com lajes rochosas sobressaindo à superfície. Predominam Cambissolos de cor amarelada, em geral pouco profundos, com ocorrência comum de linha de pedras (Figura 11), e de textura média, com elevados teores de areia (perfis P11, P13 e P35), com ocorrência menor de solos mais argilosos, relacionados às rochas filíticas intercaladas, ou a metaconglomerados, como o perfil P38 (Tabela 4). Nos níveis mais altos, próximos à serra a leste, na medida em que reduz-se a amplitude topográfica das cristas rochosas, os solos tendem a ser ainda mais rasos e a vegetação campestre é amplamente dominante, com ocorrência de Neossolos Litólicos de exígua profundidade mesmo em relevo bastante suave (Figura 11d,f).

Essas condições evidenciam uma taxa de pedogênese/erosão muito baixa, imposta pela grande resistência o intemperismo do substrato rochoso, que ao lado da pobreza química dos solos dificulta o recobrimento vegetal, resultando em erosão superficial intensa. Assim, a vegetação florestal restringe-

se a pequenas áreas em fundos de vales e pequenas grotas, com maior espessão no sopé da serra da Água Limpa, mas sobre solos também bastante rasos (perfil P14), em que sobressai a maior concentração de matéria orgânica, além dos teores de alumínio trocável muito mais elevados, em relação aos solos sob vegetação campestre (Tabela 4).

#### **V - Gandarela**

A região da antiga fazenda do Gandarela corresponde a uma superfície dissecada, fortemente entalhada pelo ribeirão Preto e pelo rio São João (ou Barão de Cocais) e seus afluentes, de relevo forte ondulado e montanhoso, sob densa cobertura florestal, ainda hoje grandemente preservada. É circunscrita por serras itabiríticas, que descrevem um arco em forma de ferradura, fechado na porção sudeste, e progridem em direção nordeste para fora dos limites da APA Sul (Figura 3), até quase convergirem nas proximidades de Barão de Cocais.

Apesar das inúmeras analogias com o sinclinal da Moeda quanto à macroestruturação geomorfológica (Barbosa & Rodrigues, 1967), e de apresentar a mesma sequência estratigráfica, com as rochas do Grupo Piracicaba ocupando o centro e as do Grupo Itabira nas abas da sinclinal, as condições ambientais são muito distintas do Platô da Moeda, evidenciadas tanto pela vegetação nativa como pelas condições do relevo, e também pelas características, distribuição e dominância de solos. Também a transição para as serras faz-se sem a interposição de pedimentos, tão característicos daquele ambiente; senão de todo ausentes, pelo menos de reconhecimento muito difícil (Barbosa & Rodrigues, 1967).

Sob condições de dissecamento bem mais intenso, o relevo apresenta-se bastante acidentado (Figura 12), mas com dois níveis topográficos distintos: uma superfície mais alta, da qual sobressaem cristas aguçadas com altitudes de até 1480 metros, recortada por vales de conformação variada, com algumas rampas

de inclinação suave embutidas, e, em nível topográfico inferior, o conjunto de elevações relacionadas aos vales abertos pelo entalhamento fluvial mais recente, com estreitas rampas colúvio-aluvionares acompanhando alguns trechos dos cursos d'água principais.

Embora em ambas predomine o relevo montanhoso e forte ondulado, o contato entre essas duas superfícies é, na maioria das vezes, bem marcado por encostas íngremes, que interrompem de forma abrupta as rampas coluvionares embutidas entre as elevações da superfície superior. Em alguns locais grandes blocos de dolomitos da Formação Gandarela encontram-se expostos, com maior expressão nas encostas elevadas que margeiam o vale do ribeirão Preto, que corre paralelo à parte fechada do arco de serra a sul, onde promove um forte entalhamento até infletir de forma brusca para leste, rompendo a barreira da serra do Baú, capturado pelo rio Conceição (Barbosa & Rodrigues, 1967; Medina et al., 2005). Já nas adjacências da serra a ocidente, a superfície mais alta apresenta alguns trechos de relevo mais conservado (ondulado e forte ondulado), em geral de conformação convexa, mas recortado por grande número de cursos d'água.

Condicionada à grande diferença na composição das rochas das unidades litológicas da área, individualizam-se dois conjuntos pedológicos de características muito distintas, ressaltadas sobretudo pelas cores escurecidas dos solos relacionados aos dolomitos ferruginosos da Formação Gandarela, em nítido contraste com os provenientes das rochas do grupo Piracicaba, em geral de tonalidade amarelada ou vermelho-amarelada. A transição entre eles é muitas vezes abrupta e de fácil percepção pelo contraste de cor dos solos ao longo das estradas, mesmo sem qualquer desnível topográfico, ou interposição de algum sulco de drenagem, a demarcar-lhes o limite.



FIGURA 12. Vista geral da paisagem do Gandarela, sob densa cobertura florestal de caráter perenifólio (a), típico escurecimento dos solos relacionados a dolomitos ferruginosos, principalmente nos de menor desenvolvimento pedogenético (b), e perfis representativos da área: (c) Cambissolo Háplico Perférico (P01); (d) Latossolo Vermelho Perférico (P25).

De notável escurecimento (Figura 12), os solos relacionados à Formação Gandarela, que ocorrem em faixa adjacente às serras que circunscrevem a região (Figura 4), distinguem-se também pelos teores de óxidos de ferro e de manganês (obtidos pelo ataque sulfúrico) em níveis muito elevados, dos maiores dentre os solos do mundo, com extremos de  $713 \text{ g kg}^{-1}$  e  $48,6 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 5). Aos respectivos minerais desses elementos devem-se as composições de cores que tanto distinguem os solos dessa área: os primeiros responsáveis pela forte intensidade da cor vermelha; e os compostos de manganês pelo típico escurecimento, que se faz sentir mesmo em solos com participação significativa de materiais relacionados às rochas quartzosas do grupo Piracicaba, como inferido dos resultados analíticos e da situação topográfica do perfil Ex03 (Tabela 5). Há um grande predomínio de Cambissolos, de caráter perférico, em geral de textura média, endopedregosos ou pedregosos, por vezes concrecionários (petroplínticos), com ocorrência menor de Latossolos Vermelhos Perféricos, na maioria das vezes com caráter intermediário com os solos daquela classe, conforme inferido pelos valores mais elevados da relação silte/argila. No entanto, em face da dificuldade de dispersão de materiais de natureza ferruginosa (Curi, 1983) é provável que não só os teores de argila, mas também a expressão geográfica dos Latossolos na área como um todo seja maior, posto que em muitos casos a distinção entre essas classes de solo baseia-se tão somente nos valores daquela relação.

TABELA 5. Coloração e características físicas e químicas de horizontes selecionados de solos do Gandarela.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m						
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---					----- g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>P01<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Perférico latossólico - floresta tropical perenifólia</b>																	
Ap	0 - 21	3,5YR 3/2	373	206	5,9	5,5	4,4	0	10,0	44	0	20,1	366	3,3	23,3	0,67	0,11
AB	21 - 40	3YR 3/2	255	206	5,5	5,6	0,6	0	4,2	14	0	6,1	388	5,1	30,1	0,39	0,07
Bi1	62 - 98	2,5YR 3/2	273	266	5,4	6,4	0,2	0	1,7	12	0	1,0	409	5,0	21,5	0,49	0,08
Bi2	98 - 139	2,5YR 3/2	207	307	5,4	6,6	0,2	0	1,2	17	0	0,8	398	4,8	18,3	0,44	0,07
<b>P25<sup>(2)</sup> - Latossolo Vermelho Perférico cambissólico - floresta tropical perenifólia</b>																	
A	0 - 22	1,5YR 3/4	223	368	4,0	3,7	0,5	0,7	10,6	5	58	18,6	664	6,6	0,4	1,70	0,08
Bw	39 - 54	10R 3/4	232	468	4,6	4,4	0,1	0,1	5,3	2	50	9,9	684	6,4	0,4	1,29	0,07
Bwc1	54 - 87	10R 3/3	218	468	4,8	4,7	0,1	0	4,5	2	0	8,4	713	6,1	0,7	1,20	0,07
Bwc2	87 - 103	2,5YR 3/4	282	366	5,0	5,3	0,1	0	2,7	4	0	4,6	701	5,3	0,6	1,40	0,07
<b>P36<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Perférico latossólico - floresta tropical perenifólia</b>																	
A	0 - 8	4YR 3/4	309	229	5,4	4,8	5,0	0,2	15,3	33	4	38,8	322	7,4	5,4	0,32	0,08
AB	8 - 19	3,5YR 3/4	366	186	5,3	4,9	0,2	0,1	6,5	3	33	23,2					
Bi1	45 - 69	2,5YR 3/5	236	267	5,6	6,1	0,1	0	2,5	4	0	7,1	401	9,4		0,19	0,04
Bi2	69 - 100	2,5YR 4/6	211	289	5,9	6,5	0,1	0	1,1	9	0	6,0	380	10,3	3,3	0,21	0,04
<b>P37<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Perférico típico - floresta tropical perenifólia</b>																	
A	0 - 22	5YR 3/2	435	269	5,0	4,3	0,2	0,4	9,4	2	67	13,2	408	4,3	66,6	0,90	0,21
Bi1	42 - 71	2,5YR 3/2	382	288	5,4	5,2	0,1	0	4,8	2	0	2,9	412	3,5	48,6	0,66	0,17
Bi2	71 - 123	5YR 3/2	376	349	5,7	5,6	0,1	0	3,8	3	0	2,0	411	3,5	38,8	0,85	0,21
Bi3	123 - 160	6,5YR 3/3	349	326	5,6	5,7	0,1	0	2,2	5	0	1,2	369	4,5	26,4	1,18	0,26
<b>Ex03<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háplico Distroférico típico - floresta tropical perenifólia</b>																	
A	0 - 13	5YR 3/3	220	246	6,2	5,5	6,4	0	10,8	59	0	21,3					
Bi1	31 - 61	4YR 3/4	241	306	5,4	4,9	0,2	0,1	3,6	6	33	6,0	197	2,7	7,9	0,94	0,39

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa.

Além da tendência a apresentarem cores avermelhadas de tons mais vivos, em comparação com a coloração muito escura (quase preta) dos solos de menor desenvolvimento pedogenético (Figura 12a), os Latossolos, de modo geral, ocorrem em relevos menos acidentados, com destaque para uma área a norte, cuja conformação topográfica lembra uma formação pedimentar, onde são dominantes (Figura 4). Aí apresentam também coloração vermelha purpúrea, típica dos Latossolos Ferríferos (Camargo, 1982; Oliveira et al., 1992), além de se distinguirem pela ausência de material grosseiro na massa do solo, à semelhança do padrão comum de ocorrência desses solos nos pedimentos adjacentes às serras itabiríticas do Quadrilátero Ferrífero. Também os solos localizados nas rampas coluvionares embutidas entre elevações tendem a apresentar cores mais vivas (a exemplo do perfil P36), é provável que em razão da menor concentração de compostos de manganês (Tabela 5), e pequena participação de concreções ou outros materiais do tamanho de cascalhos ou calhaus.

Devido à proximidade com as serras, que circunscrevem a região e constituem um anteparo ao deslocamento das frentes de umidade provenientes do leste, as condições pluviométricas na área de domínio dos solos de constituição ferrífera são bastante intensas, o que possibilita a manutenção de uma densa cobertura florestal, considerada como de caráter perenifólio. No entanto, alguns perfis analisados apresentaram baixo conteúdo de carbono orgânico no horizonte A, talvez mascarados pela interferência dos teores muito elevados de manganês no procedimento metodológico de determinação em laboratório (Embrapa, 1997). Como o  $Mn^{4+}$  é reduzido preferencialmente em relação ao  $Cr^{6+}$  (Bohn et al., 1979) do dicromato de potássio utilizado para oxidação da matéria orgânica espera-se, na presença de  $MnO_2$ , uma menor redução daquele reagente e conseqüentemente maior excedente deste composto na amostra de solo. Desde que o cálculo dos teores de C orgânico é baseado no

consumo de Cr (valência  $6^+$  para  $3^+$ ), os valores serão naturalmente mais baixos, ocorrendo uma subestimação destes, o que indica que nos solos com teores mais elevados de óxidos de Mn, como alguns deste estudo, deve ser utilizado um procedimento analítico alternativo<sup>6</sup>.

Já os solos relacionados às rochas do Grupo Piracicaba referem-se, em geral, a Cambissolos Háplicos de textura média, às vezes com teores muito elevados de areia (observações de campo), e cor pálida, que predominam tanto nos relevos mais íngremes e ravinados como em encostas de sopé e rampas coluvionares de pequena declividade, onde observa-se uma mistura de materiais rolados, com presença frequente de pedregosidade. É observada ainda a ocorrência menor, preferencialmente em áreas de conformação convexa, de Latossolos Vermelho-Amarelos, ou ainda Argissolos Vermelho-Amarelos, ambos com caráter intermediário com os solos da classe dominante (Cambissolos).

Devido ao relevo acidentado e às difíceis condições de acesso, grande parte da vegetação nativa desse ambiente encontra-se ainda preservada, o que parece mesmo ser a sua vocação natural.

## **VI - Vale do Conceição**

Dois unidades de paisagem se distinguem na área dissecada pelo rio Conceição: o alto vale, na junção das serras do Caraça, Ouro Fino e Água Limpa, onde vários córregos promovem, em incisão profunda, o desgaste de uma superfície mais antiga, até convergirem águas em um ponto a partir do qual o quadro natural compõe-se de uma sucessão de elevações íngremes que o acompanham no restante do seu curso, até a confluência com o córrego do Caraça, limite nordeste da APA Sul.

---

<sup>6</sup> Perez, D.V. (Embrapa Solos); Guilherme, L.R.G. (DCS-UFLA). Comunicação pessoal.

Comprimido entre a serra itabirítica que limita o sinclinal Gandarela, a oeste, e o maciço do Caraça, a leste (Figura 3), esse vale corresponde a um anticlinal invertido, todo escavado sobre litologias do Supergrupo Rio das Velhas (Barbosa & Rodrigues, 1967).

Em suas cabeceiras, em um patamar elevado situado abaixo das escarpas quartzíticas do Caraça, subsiste uma superfície aplainada, constituída por colinas convexas de topos relativamente amplos, recobertos por vegetação campestre (Figura 13), que lembra, em muito, partes da paisagem do Platô da Moeda, inclusive em nível topográfico equivalente (1300-1450 m de altitude); e dá a impressão de corresponderem à mesma superfície de erosão. Encontra-se bastante dissecada, recortada por uma rede de pequenos córregos, que abriam vales estreitos de encostas íngremes, nessa parte superior também sob vegetação campestre, que ainda resiste ao avanço da floresta, dominante logo a jusante. Em toda essa área predominam Cambissolos Háplicos, de textura média, que nos trechos de maior declividade tendem a ser cascalhentos e pedregosos, além de mais rasos, com ocorrência de solos de caráter léptico ou lítico, ou mesmo, de forma mais restrita, Neossolos Litólicos. Nos topos mais conservados, com relevo ondulado e suave ondulado, por outro lado, o manto de alteração atinge grandes profundidades, mas o horizonte B, de cores amareladas e com linha de pedras indicando descontinuidade litológica, embora um pouco mais espesso, em geral não vai além de um metro, a exemplo do perfil P17 (Figura 13). Devido a isso, é comum a ocorrência de sulcos de erosão muito profundos, que em alguns locais evoluem para grandes voçorocas (Resende et al., 1992).

Embora tenha sido observada, a ocorrência de Latossolos é apenas localizada, ao que parece referente a material pré-edaforizado que preencheu irregularidades de uma superfície pretérita. Registre-se, por exemplo, a área a oeste, entre as encostas quartzíticas marginais à serra da Água Limpa e do Ouro Fino, trecho em que essa superfície elevada, aí em nível um pouco mais baixo

(1300 metros), marca o limite suave entre as bacias do rios das Velhas e Conceição, onde foi amostrado o perfil P16, solo de expressão geográfica muito restrita, cujas características evidenciam a influência de materiais ferruginosos e de fina granulometria em sua constituição (Tabela 6), condizente com a natureza do material de origem, atribuído a depósitos de tálus (Silva et al., 2005).

O prolongamento dessa superfície elevada é bem perceptível a norte, bordejando as encostas rochosas do Caraça, porém em nível topográfico um pouco mais baixo e com relevo mais movimentado, dominado por encostas forte onduladas e em menor proporção onduladas, com solos um pouco mais desenvolvidos, sob vegetação de floresta subperenifólia (Figura 13c). Predominam Latossolos Vermelho-Amarelos (Figura 4), de textura argilosa e caráter ácrico (perfil P19; Tabela 6), em geral com estágio de desenvolvimento intermediário com Cambissolos, com os quais encontram-se associados, esses predominantes nas encostas mais dissecadas. Em proporção bem inferior ocorrem ainda Latossolos Vermelhos, que em uma área de pequena dimensão apresentam teores elevados de óxidos de ferro, distintivos do caráter férrico (perfil P21), ao que parece sob a influência de formações ferríferas e rochas metabásicas nos metaconglomerados da Formação Casa Forte, do Grupo Maquiné (Silva et al., 2005).

TABELA 6. Coloração e características físicas e químicas de horizontes selecionados de solos do Vale do Conceição.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m						
-- g kg <sup>-1</sup> --      --- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---      ---% ---      ----- g kg <sup>-1</sup> -----																	
<b>P17<sup>(2)</sup></b> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - campo tropical																	
A	0 - 15	10YR 4/4	125	161	5,0	4,2	0,3	0,4	3,9	8	57	8,8					
AB	15 - 28	10YR 4/5	120	181	5,1	4,3	0,1	0,3	3,1	3	75	6,6					
2Bi2	62 - 71	9YR 5/8	153	242	5,5	5,8	0,1	0	0,9	11	0	3,4	76	0,7		0,97	0,63
<b>P16<sup>(2)</sup></b> - Latossolo Vermelho Acriférrico petroplintico - campo tropical																	
A	0 - 10	4YR 3/4	286	513	5,1	4,4	0,5	0,4	9,1	5	44	29,7	200	11,1	0,1	0,23	0,15
2Bw1	50 - 76	2,5YR 4/7	106	716	5,9	5,7	0,2	0	2,8	7	0	11,4	225	14,0		0,23	0,16
<b>P18<sup>(2)</sup></b> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifólia																	
A	0 - 10	10YR 3/4	321	327	3,6	3,4	0,5	4,6	20,0	2	90	41,5					
Bi1	24 - 35	10YR 4/6	380	325	4,5	4,2	0,3	2,0	8,7	3	87	17,1					
2Bi2	35 - 57	10YR 5/8	291	324	4,9	4,4	0,1	0,8	5,3	2	89	8,6					
<b>P20<sup>(2)</sup></b> - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - floresta tropical subperenifólia																	
A	0 - 12	10YR 4/4	357	455	3,9	3,8	0,4	3,9	16,5	2	91	32,4					
Bi	26 - 59	9YR 5/8	373	489	4,5	4,1	0,3	1,8	7,3	4	86	13,3					
2Bi2	59 - 74	7,5YR 5/6	354	488	4,9	4,1	0,3	1,3	5,0	6	81	8,2					
<b>P19<sup>(2)</sup></b> - Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico câmbico - floresta tropical subperenifólia																	
A	0 - 14	10YR 3/3	229	369	3,9	3,6	0,4	4,1	20,7	2	91	44,4					
Bw2	61 - 91	5YR 5/8	199	446	5,2	4,7	0,2	0,1	2,7	7	33	5,6	116	1,6		0,92	0,67
<b>P21<sup>(2)</sup></b> - Latossolo Vermelho Acriférrico petroplintico - floresta tropical subperenifólia																	
A	0 - 13	5YR 3/3	212	438	5,0	4,2	0,5	1,6	15,6	3	76	39,8	203	23,2	0,3	0,44	0,27
AB	13 - 24	5YR 3/4	178	437	5,0	4,4	0,3	0,6	10,9	3	67	28,9					
Bw2	45 - 68	1,5YR 4/6	152	616	5,2	4,9	0,1	0	3,2	3	0	9,3	244	24,6	0,2	0,41	0,24

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa.

Pequenas várzeas suspensas, com predominância de Gleissolos, sob vegetação de campo higrófilo, ocorrem às margens do córrego do Engenho (Figura 13c) e de um tributário de margem esquerda, que drenam do interior do Caraça, para em seguida lançar-se em queda d'água de grande desnível topográfico, marcando o limite da superfície mais elevada, nessa área definido em grande parte por encostas abruptas, com solos bastante rasos (Neossolos Litólicos), e não raro exposições rochosas. Em direção às cabeceiras, essa transição, embora não tão brusca, é também muito acentuada, com os formadores do Conceição escavando vales muito íngremes, sob densa cobertura florestal, em que predominam Cambissolos, em geral com *solum* pouco espesso, de textura média ou argilosa e elevados teores de silte, como exemplificado pelos perfis P18 e P19 (Tabela 6).

Merecem destaque, nos solos sob floresta dessa área, os altos teores de alumínio trocável, principalmente nos horizontes mais superficiais, em conjunto com elevado conteúdo de carbono orgânico (Tabela 6), contrastando-se com os solos sob campo, nos quais as concentrações daquele cátion no complexo de troca são inferiores ao limite definido para distinção do caráter álico ( $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), fenômeno que parece configurar-se quase como uma regra geral para toda a região estudada. Pelo contraste entre os horizontes superficiais dos perfis P17 e P19 (Figura 13), já é possível inferir-se a acentuada diferença quanto ao conteúdo de matéria orgânica dos solos sob esses dois tipos de cobertura vegetal.

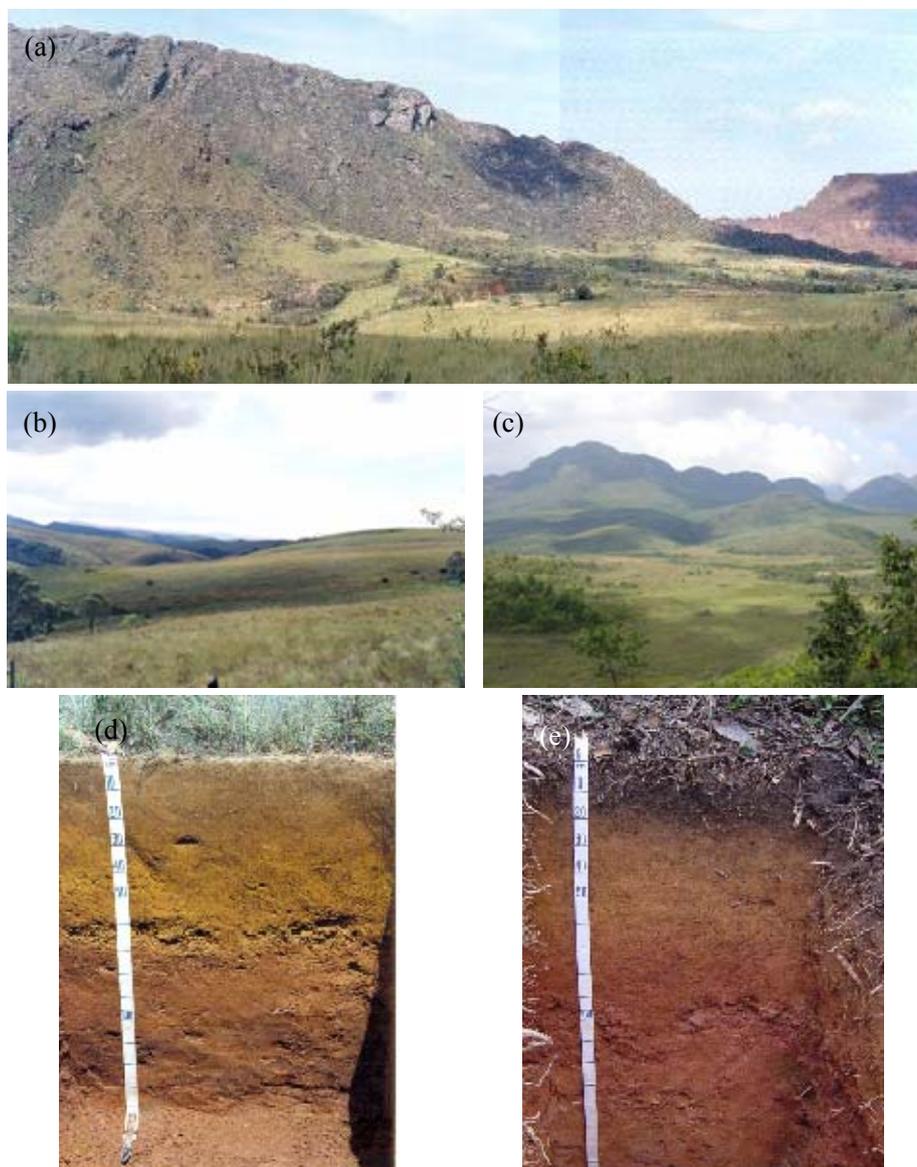


FIGURA 13. Relevo suave com vegetação campestre (a, b) no alto vale do rio Conceição (ao fundo escarpas da serra do Caraça e à direita mina de Capanema, na serra do Ouro Fino); área de floresta em relevo ondulado (c), e respectivos solos dominantes: (d) Cambissolo Háplico (P17); (e) Latossolo Vermelho-Amarelo câmbico (P19).

Logo após as cabeceiras, o rio Conceição prossegue em trajeto quase retilíneo, em direção nordeste, ladeado por uma sucessão de elevações de cumes estreitos, dispostos de forma aproximadamente perpendicular ao seu curso, reduzindo-se em altitude em direção a ele. Essa área apresenta um padrão de distribuição de solos de pequena expressividade territorial na APA Sul, e mais representativo da porção leste do Quadrilátero, dissecada pelos afluentes do rio Doce, em que se destaca a exuberância da Mata Atlântica. Predominam Cambissolos, sobretudo nas encostas côncavas e trechos mais íngremes, com ocorrência menor de Latossolos Vermelho-Amarelos, em alguns topos um pouco mais amplos e encostas convexas, que têm expressão territorial um pouco maior nos terrenos mais rebaixados adjacentes ao curso do rio. Próximo a Vigário da Vara, distingue-se, um conjunto de elevações de conformação convexa, embora íngremes (relevo montanhoso e forte ondulado), em que Latossolos Vermelhos encontram-se associados com Argissolos Vermelho-Amarelos, ambos de textura argilosa ou muito argilosa, estes com preferência pelas partes mais baixas do relevo. Pouco além desse ponto, o rio é margeado por pequenos terraços, onde, no início da colonização, desenvolveu-se intensa atividade minerária, com ocorrência de Latossolos Vermelhos entremeados a cascalheiras, remexidas pelo garimpo no período colonial, onde é visível a atuação dos processos erosivos.

Esse padrão estende-se a jusante, até à confluência com o rio Caraça, que tem um depósito aluvial bem mais expressivo, onde ocorrem Neossolos Flúvicos, e áreas um pouco maiores de Latossolos Vermelhos, em encostas de relevo ondulado ou forte ondulado que antecedem as várzeas.

## **VII - Serra do Caraça**

Na extremidade oriental da área, encontra-se o maciço do Caraça, cujo ponto culminante eleva-se acima dos 2000 metros de altitude. Forma um conjunto serrano de grandes dimensões, divisado ao longe, com vales intermontanos embutidos, estruturado em rochas da Formação Moeda, do Grupo Caraça (quartzitos com camadas de filito intercaladas), numa sucessão de pequenos sinclinais e anticlinais, que uma tectônica de falhamentos posterior moldou em complicado estilo de blocos imbricados (Barbosa & Rodrigues, 1965, 1967; Medina et al., 2005), cujas suturas encontram-se preenchidas por materiais básicos (Silva et al., 2005).

A maior parte de sua área é representada por exposições rochosas (Figura 4) com intercalações de solos muito rasos, sob campo rupestre, num arranjo de serras com cristas em altitudes variadas, seccionadas por uma densa rede de fraturamentos, aos quais se ajustou a drenagem. O topo da serra, quase todo em rocha nua, onde Harder e Chamberlain, em 1915, identificaram pela primeira vez no Brasil os restos de uma antiga superfície geomórfica resultante de períodos de erosão paleo-mesozóicos (Barbosa & Rodrigues, 1967; Ab'Saber, 2000), encontra-se dessa forma bastante recortado, sulcado por uma série de talwegues de encaixe acentuado (Barbosa & Rodrigues, 1967), e com algum desnivelamento. Apenas em áreas menores distingue-se um aplainamento mais característico, onde escassa vegetação campestre, sobre solos muito delgados (Neossolos Litólicos), ocorre em alguns trechos. A conexão com a superfície embutida no interior do conjunto serrano, onde fica o Colégio do Caraça (Figura 14), é feita por encostas íngremes, por vezes escalonadas, em que os blocos de quartzito predominam.

Bordas escarpadas, com grandes desnivelamentos topográficos, que superam 1000 metros no imenso paredão sub-vertical nas faces leste e sul, já fora da área de estudo, marcam também os limites com as paisagens adjacentes,

seccionadas apenas em alguns pontos pelos córregos que drenam de seus níveis internos, e por onde é hoje possível o acesso a eles.

No contato com as cabeceiras do rio Conceição, essas bordas são recobertas por vegetação campestre, sobre Neossolos Litólicos entre grande número de blocos de rocha (Figura 13a), enquanto em toda a face norte é a floresta subperenifólia que coloniza os espaços entre as lajes de quartzito. A tensão entre formações florestais e campestres reproduz-se também em nível interno, com a mata recobrando, nitidamente, as estreitas linhas de falha geológica, relacionadas a rochas básicas intrusivas, cuja intemperização deu origem a Cambissolos Háplicos, em geral de textura argilosa, e em faixas estreitas ao longo dos cursos d'água, ou sobre encostas adjacentes a eles.

No vale intramontano, de relevo suave, predomina no entanto a vegetação de campo tropical, ou uma flora arbustiva constituída quase exclusivamente por espécies de candeia. Essa área é também dominada por Cambissolos Háplicos, que em contraste com os anteriores, apresentam cores bastante pálidas (Figura 14) e textura média, com teores de argila muito baixos, assim como de matéria orgânica. No entanto, ao contrário dos demais solos sob vegetação campestre amostrados na APASul, os teores de alumínio trocável são bastante elevados nesse perfil (Tabela 7).

Além da área central de maior amplitude, há ainda outro nível aplainado em posição superior, de características semelhantes, mas com maior expressão de solos mais rasos (Cambissolos e Neossolos Litólicos), sob campo tropical, com a floresta restrita a áreas muito pequenas.

Devido às condições bastante particulares dessa região, a Serra do Caraça deve ser mantida como área de preservação e refúgio ecológico.

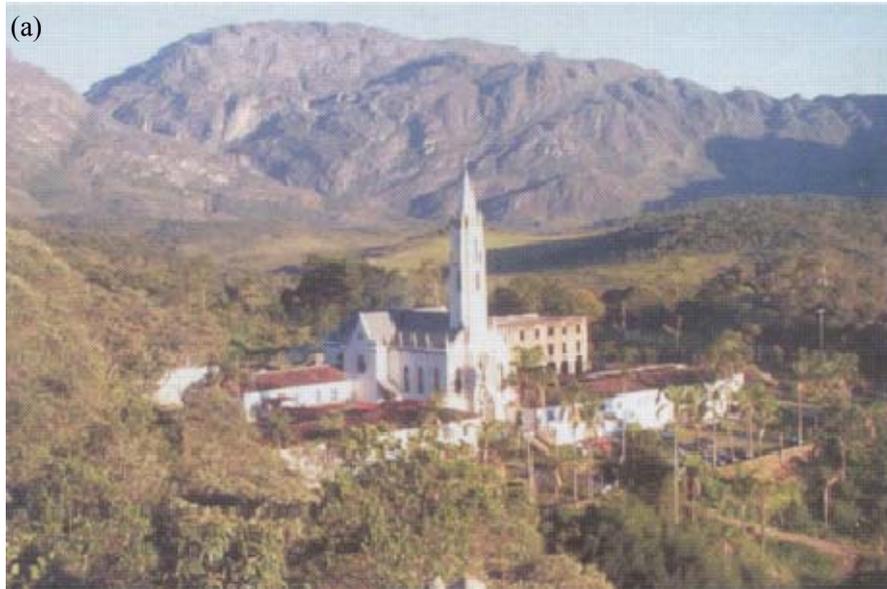


FIGURA 14. Superfície interna da Serra do Caraça (foto do Pe. Lauro Palu, tomada do Boletim Informativo Santuário do Caraça), embutida entre maciços rochosos (a); vista externa da feição indicada em seu nome (b); e (c) perfil de Cambissolo Háplico (P31) dominante na área de relevo suave, sob vegetação campestre, da primeira foto.

TABELA 7. Coloração e características físicas e químicas de um perfil de solo da Serra do Caraça.

Hori- zonte	Profun- didade (cm)	Cor (úmida)	Silte	Argila	pH		Complexo Sortivo <sup>(1)</sup>					C org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
					H <sub>2</sub> O	KCl	S	Al <sup>3+</sup>	T	V	m					
			-- g kg <sup>-1</sup> --		--- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---							----- g kg <sup>-1</sup> -----				
<b>P31<sup>(2)</sup> - Cambissolo Háptico Tb Distrófico - campo tropical</b>																
A	0 - 10	10YR 4/2	210	142	5,1	3,6	2,0	2,2	10,0	20	52	14,8				
BA	10 - 19	2,5Y 6/4	185	162	5,2	3,7	0,5	2,0	5,1	10	80	6,1				
Bi1	19 - 30	2,5Y 7/6	226	141	5,0	3,7	0,1	1,5	3,2	3	94	3,3	14	1,7	1,79	1,66
Bi2	30 - 42	1Y 7/6	289	100	5,0	3,8	0,1	1,1	2,4	4	92	1,3	14	1,8	1,54	1,44
BC	42 - 56	10YR 7/6	374	80	5,2	3,9	0,1	0,9	1,9	5	90	0,8				
C	56 - 170	variegada	382	40	5,3	4,3	0,1	0,7	1,6	6	87	0,4				

<sup>(1)</sup> S: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;

<sup>(2)</sup> número de campo, classificação atual (Embrapa, 2006) e vegetação nativa.

## 7 Considerações Finais

Marcada por um forte dissecamento e enorme variabilidade litológica, sobressai na área em estudo a grande influência do material de origem sobre as características dos solos, em que se destaca o conjunto de solos de constituição ferrífera, distinguidos pelos teores de óxidos de ferro muito elevados e intensa cor vermelha, em alguns casos de notável escurecimento, (condicionado à alta concentração de compostos de manganês), e pela constituição mineralógica oxidica, independente do grau de desenvolvimento pedogenético. Porém, a regionalização de ambientes apresentada salienta uma série de outros aspectos relevantes para a interpretação das condições ecológicas vigentes. Muitas situações de degradação ambiental na área, por exemplo, estão relacionadas de forma direta a características dos solos, cujo conhecimento é portanto imprescindível para a definição de estratégias de uso e manejo sustentável das terras da região.

## 8 Referências Bibliográficas

AB'SABER, A.N. Summit surfaces in Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v.30, n.3, p.515-516, 2000.

BARBOSA, G.V. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p.89-101, 1980.

BARBOSA, G.V.; RODRIGUES, D.M.S. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. **Boletim Mineiro de Geografia**, Belo Horizonte, v.10/11, p.3-35, 1965.

BARBOSA, G.V.; RODRIGUES, D.M.S. **Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte: UFMG, 1967. 126p.

BOHN, H.; McNEAL, B.; O'CONNOR, G. **Soil chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 329p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 780p. (Levantamento de recursos naturais, 32).

CAMARGO, M.N. Proposição preliminar de conceituação de Latossolos Ferríferos. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Conceituação sumária de algumas classes de solos recém-reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS**. Rio de Janeiro, 1982. p.29-31. (Circular técnica, 1).

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CHEMALE JUNIOR, F.; ROSIÈRE, C.A.; ENDO, I. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. **Pesquisas**, Porto Alegre, v.18, n.2, p.104-127, 1991.

COSTA, S.A.D. **Caracterização de solos desenvolvidos de itabirito no Quadrilátero Ferrífero - MG**. 2003. 71p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais states, Brazil**. 1983. 158f. Thesis (Ph.D.)-Purdue University, West Lafayette, Indiana.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, v.51, p.153-158, 1987.

CURI, N.; KÄMPF, N.; RESENDE, M. Mineralogia, química, morfologia e geomorfologia de solos originados de rochas efusivas das Encostas Superior e Inferior do Nordeste, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.269-276, 1984.

DAVIS, E.G.; PINTO, E.J. de A.; PINTO, M.C.F. Hidrologia. In: **PROJETO APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. Parte A, 178p. (Série programa informações básicas para a gestão territorial – GATE, 9).

DORR II, J.V.N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, DC: U.S. Geological Survey, 1969. 110p. (Geological survey professional paper, 641-A).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p. (Documentos, 11).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Estudos integrados de recursos naturais**: bacia do Alto São Francisco e parte central da área mineira da SUDENE: pedologia. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia/CETEC, 1983. 301p. Relatório final e mapas.

KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v.18, n.2, p.147-265, 1956.

KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.R. Roteiro da excursão pedológica Viçosa - Sete Lagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1995. 47p.

MEDINA, A.I. de M.; DANTAS, M.E.; SAADI, A. Geomorfologia. In: **PROJETO APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 54p. 1 mapa. (Série programa informações básicas para a gestão territorial – GATE, 6).

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PARZANEZE, G.A.C. **Gênese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitóides na região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais**. 1991. 117f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A. de; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1992, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.32-67.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5.ed. rev. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. 425p. (Documentos, 12).

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A. de. Pedologia. In: **PROJETO APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005. Partes A-B. (Série programa informações básicas para a gestão territorial – GATE, 5).

SILVA, S.L. da; MONTEIRO, E.A.; BALTAZAR, O.F.; ZUCCHETTI, M. Geologia. In: **PROJETO APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 64p. 1 mapa. (Série programa informações básicas para a gestão territorial – GATE, 1).

SPERA, S.T.; FERREIRA, M.M.; CURI, N. Inter-relações propriedades físico-hídricas de solos e vegetações adjacentes de mata e campo no Alto Rio Grande (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.20, n.2, p.178-182, 1996.

VARAJÃO, C.A.C. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG**: micromorfologia, geoquímica, geomorfologia e sensoriamento remoto. 1988. 212f. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação)-Universidade de São Paulo, São Paulo.

VARAJÃO, C.A.C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v.21, n.2, p.138-145, 1991.

## **CAPÍTULO 2**

### **Solos de Constituição Ferruginosa**

## 1 Resumo

CARVALHO FILHO, Amaury de. Solos de constituição ferruginosa. In: \_\_\_\_\_. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros**. 2008. Parte I, Cap. 2, p. 76-155. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

No intuito de ampliar o conhecimento sobre as características físicas, químicas e mineralógicas de solos com teores de óxidos de ferro muito elevados do Quadrilátero Ferrífero (MG), e estabelecer parâmetros para sua distinção taxonômica, foram analisados solos dessa região relacionados ao intemperismo de três materiais de origem principais: itabirito, dolomito ferruginoso (respectivamente das formações Cauê e Gandarela, ambas do Grupo Itabira) e serpentinitos (do Complexo Córrego dos Boiadeiros), a cujo acervo foram incluídos solos de outras regiões brasileiras, desenvolvidos de diferentes materias de origem, com destaque para tufito, basalto e rochas básico-ultrabásicas. Nessa caracterização, atenção especial foi dispensada aos óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos) de ferro e ao conteúdo de elementos-traço na terra fina e na fração argila, e sua relação com os materiais de origem. Ao lado dos teores muito elevados de óxidos de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico, os solos estudados diferenciam-se pela intensa cor vermelha e expressiva concentração de maghemita (das mais elevadas em solos brasileiros), que ao lado de hematita e goethita constituem os minerais dominantes na fração argila. Em vista desse fato, é questionada a utilização da cor como critério exclusivo de distinção taxonômica de Latossolos em nível de subordem, conforme adotado pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, que tem como parâmetro a relação hematita/goethita indicada pelo matiz, e sugerido que, à semelhança da diferenciação desses solos pelo esquema de classificação anteriormente adotado no Brasil, o teor de óxido de ferro do ataque sulfúrico seja considerado em conjunto com a cor nesse segundo nível categórico. A concentração de manganês em alguns dos solos estudados, sobretudo os relacionados aos dolomitos ferruginosos da Formação Gandarela, que se distinguem por uma coloração notadamente escurecida, é extremamente alta, tendo sido registrada a presença de todoroquita, óxido de manganês cuja identificação em solos é muito pouco comum. Quanto ao conteúdo total de elementos-traço, foi observada uma clara diferenciação entre solos relacionados a itabirito e a dolomito ferruginoso, de um lado, com teores muito inferiores aos daqueles desenvolvidos de tufito e basalto, e de outro os derivados de rochas

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS)

básico-ultrabásicas, sobretudo dos serpentinitos do Complexo Córrego dos Boiadeiros, em que alguns dos elementos analisados, em especial cromo e níquel, encontram-se em concentrações extremamente elevadas, indicando potencial poluidor. O valor 0,10 da relação molecular entre o conteúdo de óxidos de titânio e de ferro ( $TiO_2/Fe_2O_3$ ) obtidos pelo ataque sulfúrico mostrou ser um limite adequado para a distinção dos solos desenvolvidos de tufito e de basalto daqueles relacionados a materiais ferríferos e a rochas básico-ultrabásicas. De modo geral, as concentrações dos elementos-traço na fração argila seguem a mesma tendência observada para a fração terra fina. Outro aspecto que se destaca refere-se ao enquadramento taxonômico dos solos com expressiva concentração de concreções ferruginosas, que pelo critério atual são classificados como Plintossolos Pétricos, a despeito das condições serem muito distintas em relação ao ambiente de formação da plintita e da nítida diferenciação entre muitos deles quanto à evolução pedogênica. Dessa forma, é também questionada a figura do horizonte concrecionário como horizonte diagnóstico, conforme definido pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, frente à incongruência com o caráter morfogenético considerado como princípio básico da classificação pedológica.

## 2 Abstract

CARVALHO FILHO, Amaury de. Soils of ferruginous constitution. In: \_\_\_\_\_. **Soils and environments of the Ferriferous Quadrangle (MG) and forestry suitability of the Coastal Plains**. 2008. Part I, Cap. 2, p. 76-155. Thesis (Doctorate in Soil Science)-Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil<sup>1</sup>.

With the intention of extending knowledge on the physical, chemical and mineralogical characteristics of soils with very high iron oxides amounts from the Ferriferous Quadrangle (MG), and to establish parameters for their taxonomic distinction, soils of that region were analyzed related to the weathering of three main parent materials: itabirite, ferroan dolomite (from the Cauê and Gandarela formations respectively, both of the Itabira group) and serpentinites (from the Córrego dos Boiadeiros complex), to which collection it were included soils of different Brazilian regions, developed from other parent materials, with prominence for tuffite, basalt and basic-ultrabasic rocks. In that characterization, special consideration was shown to the oxides (a general expression which includes oxides, oxihydroxides and hydroxides) of iron and to the trace element content in the fine earth and the clay fraction, and their relationship with the parent materials. Besides the very high iron oxides levels obtained by the sulphuric acid digestion, the studied soils differ by the intense red color and expressive maghemite concentration (the highest in Brazilian soils), which besides hematite and goethite, constitute the dominant minerals in the clay fraction. In view of that fact, the use of color is questioned as an exclusive criterion of taxonomic distinction of Latosols at the suborder level, as adopted by the current Brazilian Soil Classification System, which has as a parameter, the hematite/goethite relationship indicated by hue, and it is suggested that, for the similarity of the differentiation of those soils by the classification scheme previously adopted in Brazil, the amount of iron oxides from the sulphuric acid digestion should be considered together with the color in that second categorical level. The concentration of manganese in some of the studied soils, mainly those related to ferroan dolomites from the Gandarela formation, which stand out due to their especially darkened coloration, is extremely high; todorokite presence having been registered, a manganese oxide whose identification in soils is very uncommon. As for the total content of trace elements, a clear differentiation was observed between soils related to the itabirite and the ferroan dolomite, on one hand, with amounts very inferior to those developed from tuffite and basalt, on the other hand those derived from

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS)

ultrabasic-basic rocks, notably the serpentinites from the Córrego dos Boiadeiros complex, in which some of the analyzed elements, especially chrome and nickel, are in extremely high concentrations, indicating pollutant potential. The 0.10 value for the molecular ratio between the content of titanium and iron oxides ( $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) obtained by the sulphuric acid digestion showed to be an adequate limit for the distinction of the soils developed from tuffite and basalt and those related to ferruginous materials and ultrabasic-basic rocks. In general, the concentrations of the trace elements in the clay fraction follow the same tendency observed for the fine earth fraction. Another aspect that is highlighted refers to the taxonomic placement of the soils with expressive concentration of ferruginous concretions, that by the current criterion, are classified as Petric Plinthosols, in spite of the conditions being very different in relation to the environment of plinthite formation and of the clear differentiation among many of them as to their pedogenic evolution. Therefore, the figure of the concrecionary horizon as a diagnostic horizon is also questioned, as defined by the current Brazilian System of Soil Classification, in view of the incongruity with the morphogenetic character considered as a basic principle of pedologic classification.

### 3 Introdução

Desde o mapeamento exploratório de solos realizado na região do Quadrilátero Ferrífero pelo Projeto Radambrasil (Brasil, 1983), em que solos de natureza ferrífera foram caracterizados pela primeira vez no País, a necessidade de sua distinção taxonômica daqueles originados de rochas básicas, também com elevados teores de ferro, tem sido considerada. É argumentado que tal separação se justifica devido a características diferenciais relacionadas ao material de origem, dentre as quais, a partir dos resultados obtidos por Curi (1983), em trabalho pioneiro, os teores de elementos-traço muito distintos entre eles parece ser a principal (Curi & Franzmeier, 1984; Resende et al., 1988, Costa, 2003).

Também em termos taxonômicos, apesar dos esforços realizados no sentido de se estabelecer um critério de distinção mais satisfatório (Reunião..., 1988), não se avançou além da proposição preliminar de conceituação de Latossolos Ferríferos apresentada por Camargo (1982), que tem como parâmetro distintivo o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (superior a  $360 \text{ g kg}^{-1}$ ), obtido pelo ataque sulfúrico, ainda utilizado pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2006) para reconhecimento do caráter perférrico.

Além disso, as pesquisas realizadas sobre o tema em geral contemplam pequeno número de perfis, assim como até pouco tempo não havia sido realizada uma caracterização mais abrangente de solos do Quadrilátero Ferrífero, que pudesse confirmar as tendências observadas. Falta também um melhor entendimento das relações desses solos com o material de origem, em geral considerados como derivados de itabirito, embora outras rochas da região apresentem conteúdos elevados de ferro, como observado por Moukarika et al. (1991), que identificaram a associação direta entre dolomitos ferruginosos e materiais de solo de constituição ferrífera, com forte magnetização.

Em vista disso, de modo a possibilitar um melhor conhecimento sobre os solos de constituição ferruginosa do Quadrilátero Ferrífero, em comparação com solos afins de outras regiões brasileiras, derivados de diferentes materiais de origem, foi desenvolvido este trabalho, que teve como objetivos específicos:

- caracterizar física, química e mineralogicamente os solos com elevados teores de ferro do Quadrilátero Ferrífero (MG);
- estudar suas relações com as características ambientais;
- identificar parâmetros para diferenciação e ordenamento taxonômico desses solos, com vistas a contribuir para o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; e
- avaliar as interações entre elementos-traço e características de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem.

## **4 Material e Métodos**

### **4.1 Seleção e amostragem de solos**

Com base nas informações do levantamento de solos da APA Sul RMBH (Shinzato & Carvalho Filho, 2005) e em observações de campo das relações entre características de solos e condições ambientais em toda a região do Quadrilátero Ferrífero, perfis de solos descritos no citado trabalho foram selecionados para estudo, cujos materiais foram obtidos junto à Embrapa Solos, e realizada complementação de amostragem em locais específicos, de acordo com os procedimentos preconizados por Reunião... (1979) e Lemos & Santos (1996). Devido à indisponibilidade de materiais dos perfis III RCC-1MG (Reunião..., 1988) e XXV CBCS-5 (Ker & Schaefer, 1995), foi realizada coleta de amostras de horizontes específicos (mas sem obedecer aos limites de

profundidade da descrição original), nos respectivos locais de amostragem desses solos, aqui identificados respectivamente por Ex04 e Ex08.

Essa seleção foi direcionada para a caracterização de solos com elevada concentração de ferro, relacionados a três materiais de origem distintos: itabiritos, dolomitos ferruginosos (das Formações Cauê e Gandarela, respectivamente, ambas do Grupo Itabira) e serpentinitos (do Complexo Córrego dos Boiadeiros), tendo sido incluídos ainda alguns solos de características relacionadas, provenientes de outros materiais de origem dentro do Quadrilátero. Para efeito comparativo, foram incluídas também amostras de solos de diferentes regiões do Brasil, preferencialmente com altos teores de ferro, em grande parte referentes a Latossolos, relacionados a materiais de origem diversos, mas com ênfase aos desenvolvidos de tufito, basalto e rochas básico-ultrabásicas.

Para efeito de organização, devido à grande variabilidade de solos e condições ambientais envolvidas, foram constituídos agrupamentos, balizados pela natureza do material de origem e subordinadamente pela posição na paisagem. A relação completa dos solos estudados, e respectivos grupamentos estabelecidos, é apresentada na Tabela 1.

#### **4.2 Análises físicas, químicas e mineralógicas**

As amostras de solo foram submetidas a análises físicas e químicas para caracterização completa de perfis, referentes às seguintes determinações: composição granulométrica, argila dispersa em água, densidade do solo e de partículas, pH em água e em KCl 1N, carbono orgânico, nitrogênio total, fósforo disponível, cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ), alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e acidez ( $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$ ) extraíveis e teor de óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{MnO}$ ) pelo ataque sulfúrico, de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997), cujos resultados completos são apresentados no Apêndice A.

Para horizontes selecionados, foi realizada a separação das frações areia, por peneiragem, e argila, por sifonamento, e em alguns casos silte, após dispersão da terra fina seca ao ar (TFSA) com NaOH e agitação em coqueteleira. As amostras de argila foram submetidas a diálise e liofilização.

Na avaliação da composição mineralógica, a fração argila foi analisada por difratometria de raios-X, em montagem orientada, no intervalo de 4 a 45° 2 $\theta$ , com velocidade de varredura de 0,02° 2 $\theta$  por segundo e espaçamento entre leituras de 0,01° 2 $\theta$ , em equipamento Phillips do tipo PW 1840, equipado com tubo de cobalto e filtro de ferro, em voltagem de 35 kV e corrente de 30 mA, comandado pelo software APD.

Para caracterização dos óxidos de ferro da fração argila, foi realizada concentração desses constituintes por tratamento com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup> (Kämpf & Shwertmann, 1982b), e posterior análise por difratometria de raios-X, em montagem em pó, utilizando radiação de Fe K $\alpha$  e filtro de Fe, voltagem de 30 kV e corrente de 30 mA, no intervalo de 25 a 48° 2 $\theta$ . A substituição de ferro por Al<sup>3+</sup> na goethita foi estimada pela regressão Al (mol mol<sup>-1</sup>)=17,30-57,2c (nm), onde  $c=1/[(1/d_{111}^2)-(1/d_{110}^2)]^{1/2}$  (Schulze, 1984); e na hematita pela regressão Al (mol mol<sup>-1</sup>)=31,09-61,71 a<sub>0</sub> (nm), onde a<sub>0</sub>=2xd<sub>110</sub> (Schwertmann et al., 1979). A posição dos reflexos foi corrigida pelo reflexo da halita, utilizada como padrão interno. A cristalinidade foi avaliada através do diâmetro médio do cristal (DMC) perpendicular aos planos hkl 110 e 111 da goethita e 012 e 110 da hematita, estimada pela fórmula de Scherrer (Schulze & Schwertmann, 1984). A área superficial específica da goethita foi estimada através da fórmula ASE-Gt=(1049/DMC<sub>100</sub>)-5 (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), onde DMC<sub>100</sub>=0,42 DMC<sub>110</sub> nm (Schulze & Schwertmann, 1984), e da hematita pela fórmula ASEHm= 2(r+h)103/rhd (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), onde r=0,71/2(DMC<sub>110</sub>); h=0,59DMC<sub>012</sub>; d=5,26 g cm<sup>-3</sup> (Schwertmann & Kämpf, 1985).

Na fração argila foram realizadas extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (as quatro primeiras em temperatura ambiente, com tempo de agitação de 4, 8, 12 e 16 horas, e as subseqüentes com aquecimento a 75°C em banho-maria por 15 minutos) e oxalato ácido de amônio (três extrações com tempo de agitação de duas horas), para extração dos óxidos de ferro (Mehra & Jackson, 1960; Canadian Society of Soil Science, 1978), na proporção solo:solução 1:200. Nos respectivos extratos foram determinados os teores de ferro, manganês, cromo, níquel, cobre e zinco, por espectroscopia de absorção atômica.

#### **4.3 Elementos-traço e magnetização**

Por meio de digestão com ataque triácido ( $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , e solubilização do resíduo com HF), foram determinados os teores de Cd, Cr, Cu, Zn, Mo, Mn, Ni, e Pb na fração terra fina passada em peneira de 0,1 mm de abertura de malha, por espectroscopia de absorção atômica, e da fração argila por espectroscopia de emissão de plasma (ICP). A magnetização das frações terra fina seca ao ar, silte e argila foi determinada por meio de um magnetômetro portátil, em campo magnético fixo de 0,3 tesla (Coey et al., 1992). Na avaliação dos resultados foi empregada a análise de componentes principais (ACP), através do programa PC-ORD 4.0 (McCune & Mefford, 1999).

TABELA 1. Relação dos solos estudados, agrupamentos adotados, características ambientais e localização.

Solo	Posição na paisagem	Material de origem	Vegetação nativa	Localização	Altitude (metros)
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>					
P02	topo de serra	itabirito (área de extração de bauxita)	floresta perenifólia (altimontana)	Santa Bárbara - MG	1555
Ex14	topo de serra	itabirito (área de exposição de canga)	vegetação arbustiva (altimontana)	Rio Acima - MG	1590
Ex17	topo de serra	itabirito	campo cerrado (altimontano)	Brumadinho - MG	1460
Ex20	topo de serra	itabirito	campo tropical altimontano	Brumadinho - MG	1465
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>					
Ex06	rampa coluvionar em encosta de serra	itabirito	campo tropical (altimontano)	Itabirito - MG	1410
Ex15	encosta de serra	itabirito	campo tropical (altimontano)	Itabirito - MG	1400
Ex19	encosta de serra	itabirito	campo tropical (altimontano)	Nova Lima - MG	1410
Ex18	encosta de serra	itabirito	campo tropical (altimontano)	Ouro Preto - MG	1320
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>					
Ex04	pedimento	itabirito	campo cerrado (altimontano)	Nova Lima - MG	1300
Ex16	pedimento	itabirito	cerrado subcaducifólio (altimontano)	Itabirito - MG	1220
Ex12	rampa coluvionar (pedimento)	itabirito	floresta subperenifólia	Barão de Cocais - MG	770
Ex13	topo de elevação	itabirito	floresta subperenifólia (altimontana)	Santa Bárbara - MG	1165
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>					
P09	terço superior de encosta	dolomito ferruginoso	campo tropical (altimontano)	Nova Lima - MG	1365
P04	terço médio de encosta	dolomito ferruginoso	campo cerrado (altimontano)	Itabirito - MG	1360
Ex08	topo de elevação	dolomito ferruginoso	campo cerrado (altimontano)	Nova Lima - MG	1260
Ex05	terço inferior de encosta	dolomito ferruginoso e filito	campo tropical (altimontano)	Itabirito - MG	1290

(...continua...)

TABELA 1, Cont.

Solo	Posição na paisagem	Material de origem	Vegetação nativa	Localização	Altitude (metros)
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>					
P01	terço superior de encosta	dolomito ferruginoso	floresta perenifólia	Santa Bárbara - MG	1270
P25	terço inferior de encosta	dolomito ferruginoso	floresta perenifólia	Santa Bárbara - MG	1160
P36	rampa coluvionar	dolomito ferruginoso	floresta perenifólia	Santa Bárbara - MG	1270
P37	terço superior de encosta	dolomito ferruginoso	floresta perenifólia	Santa Bárbara - MG	995
Ex03	terço superior de encosta	dolomito ferruginoso e quartzito	floresta perenifólia	Santa Bárbara - MG	1230
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>					
P33	terço médio de encosta	serpentinito	campo tropical	Nova Lima - MG	1020
Ex09	terço médio de encosta	serpentinito	campo tropical	Nova Lima - MG	1020
Ex02	terço médio de encosta	serpentinito, metagabros e esteatitos	campo tropical	Nova Lima - MG	1020
Ex10	terço inferior de encosta	serpentinito, metagabros e esteatitos	campo cerrado	Nova Lima - MG	1030
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>					
P16	terço superior de encosta (rampa coluvionar)	depósito de tálus (com influência de itabirito)	campo tropical (altimontano)	Santa Bárbara - MG	1320
P21	terço médio de encosta	metaconglomerado quartzo-sericítico, com seixos de formação ferrífera e rocha metabásica	floresta subperenifólia (altimontana)	Santa Bárbara - MG	1300
Ex11	terço inferior de encosta	metagabros	floresta subcaducifólia	Itatiaiuçu - MG	865
P24	terço superior de encosta	migmatitos e gnaisses	floresta subperenifólia	Itabirito - MG	970

(...continua...)

TABELA 1, Cont.

Solo	Posição na paisagem	Material de origem	Vegetação nativa	Localização	Altitude (metros)
<b>Solos desenvolvidos de tufo</b>					
MG07	terço superior de encosta	tufo	cerrado subcaducifólio	Patos de Minas - MG	890
MG16	terço inferior de encosta	tufo	cerradão subcaducifólio	Patos de Minas - MG	942
MG17	terço inferior de encosta	tufo	floresta subcaducifólia	Patos de Minas - MG	960
LR03	terço médio de encosta	tufo	floresta subcaducifólia	Patos de Minas - MG	950
MG02	terço inferior de encosta	tufo	floresta subcaducifólia	Patos de Minas - MG	870
MG10	borda de chapada	material detrítico com influência de tufo	floresta subcaducifólia	Patos de Minas - MG	1040
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>					
AE20	terço superior de encosta	basalto	cerrado subcaducifólio	São Gabriel Oeste - MS	
RP36	terço médio de encosta	basalto	cerrado subcaducifólio	Jataí - GO	790
RP29	área plana	basalto	cerradão subcaducifólio	Porteirão - GO	820
LR05	topo de elevação	basalto	floresta subcaducifólia	Ipiaçu - MG	
RP41	terço superior de encosta	basalto	floresta subcaducifólia	Tupaciguara- MG	600
RS15	terço superior de encosta	basalto	campo subtropical	Vacaria - RS	1000
AE10	terço superior de encosta	basalto e diabásio	campo cerrado	Arenápolis- MT	460
AE17	terço médio de encosta	diabásio e gabro	floresta subcaducifólia	Reserva do Cabaçal- MT	500
UFLA	topo de elevação	gabro	floresta subperenifólia	Lavras- MG	918
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>					
RP12	terço médio de encosta	rocha básico-ultrabásica	cerradão subcaducifólio	Ouvidor - GO	950
CL01	terço superior de encosta	rocha máfico-ultramáfica	floresta subperenifólia	Conselheiro Lafaiete- MG	1050
CV11	terço inferior de encosta	rocha ultramáfica	cerrado subcaducifólio	Nazareno- MG	964
RP17	terço médio de encosta	serpentinito	cerrado subcaducifólio	Cromínia - GO	740

(...continua...)

TABELA 1, Cont.

Solo	Posição na paisagem	Material de origem	Vegetação nativa	Localização	Altitude (metros)
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>					
LR02	terço superior de encosta	arenito vulcânico	cerrado subcaducifólio	Uberaba- MG	
PT09	terço superior de encosta	metaparaconglomerado polimítico (tilito)	cerradão subcaducifólio	Jangada - MT	260
CB02	encosta de serra	jaspelito ferruginoso	campo tropical	Corumbá- MS	1000
RP46	chapada	material detrítico, com provável contribuição de rochas básico-ultrabásicas	cerrado subcaducifólio	Patrocínio - MG	1250
RP03	chapada	material detrítico	cerrado subcaducifólio	Brasília - DF	1120

## 5 Resultados e Discussão

### 5.1 Os solos no contexto do ambiente

Além de abrangerem uma gama muito variada de materiais de origem, as condições ambientais em que se inserem os solos estudados expressam também diferenças marcantes, seja quanto ao clima, relevo e vegetação, ou mesmo à situação geográfica.

Na região do Quadrilátero Ferrífero, os solos relacionados aos itabiritos da Formação Cauê representam as condições predominantes no ambiente das serras itabiríticas, situados em três posições distintas: topo, encosta íngreme e rampas coluvionares de sopé (pedimentos), sob diferentes coberturas vegetais (Tabela 1).

No topo da serra da Água Limpa (a 1550-1600 metros de altitude) o perfil P02 representa áreas sob vegetação florestal, de caráter perenifólio, que ocorrem entremeadas a extenso capeamento de canga, em geral em posição topográfica levemente deprimida, e que são exploradas pela mineração de bauxita, enquanto o Ex14, na mesma serra, refere-se a áreas de vegetação arbustiva sobre uma estreita camada de material terroso que recobre a canga (horizonte F, com espessura de 50 cm no local de coleta), abaixo da qual ocorre material pedogenizado avermelhado. Também em posição de topo de serra, em nível altimétrico um pouco inferior (1450-1470 m), o Ex17 corresponde aos solos concrecionários adjacentes às cangas expostas, e o Ex20 é característico de áreas levemente deprimidas, sob vegetação campestre, que ocorrem no alto da serra da Moeda. Próximo a eles, na parte inferior da encosta íngreme, o Ex19 refere-se aos solos extremamente pedregosos sob vegetação campestre dessas bordas de serra, assim como o Ex18, de aspecto morfológico muito semelhante, mas localizado bem mais a sul, já fora dos limites da APA Sul. Ainda na serra da Moeda, o Ex06 ocorre na parte superior de rampa coluvionar adjacente à

encosta, que é dominada por solos mais rasos, alguns com estreito horizonte A sobre a rocha fragmentada, representados pelo Ex15.

Às formas pedimentares, em rampas que se estendem a partir dos sopés das serras itabiríticas, corresponde o Ex04 — refere-se ao perfil III RCC-1MG, de Reunião... (1988), descrito inicialmente por Oliveira et al. (1983) —, sob vegetação de campo cerrado, que completa a sequência topográfica da serra da Moeda, formada pelo Ex17, Ex20 e Ex19, e mais a sul o Ex16, localizado num dos mais característicos pedimentos preservados na região, que é recoberto por cerrado de pequeno porte. A oeste, nas proximidades de Barão de Cocais, o Ex12 encontra-se na parte inferior de rampa suavemente inclinada, sob vegetação florestal, já próximo à transição para o relevo de colinas convexas em nível altimétrico inferior, e parece refletir a influência de outros materiais de origem, como indicado pela atração ao ímã de mão bem menos intensa que a dos solos logo a montante na encosta. Em condição um pouco distinta, o Ex13, também com vegetação de floresta subperenifólia, situa-se em topo de elevação rebaixada, adjacente ao prolongamento nordeste da serra que limita a região do Gandarela a oriente (sob a denominação local de serra do Baú), portanto sem constituir propriamente uma encosta pedimentar. Há também dúvidas quanto ao material de origem desse solo; pelo mapa geológico da APA Sul (Silva et al., 2005), talvez em razão de problemas cartográficos, a área corresponderia a exposição de cangas, ausentes no local. Desse modo, pela proximidade da serra, foi considerado como proveniente do intemperismo de itabiritos, embora uma possível relação com os dolomitos ferruginosos da Formação Gandarela não possa ser descartada.

Os solos relacionados a essa formação geológica representam dois conjuntos fisiográficos bem distintos: o ambiente do Platô da Moeda, dominado por vegetação campestre (campo e campo cerrado), e a região recoberta por vegetação florestal de caráter perenifólio do Gandarela. No Platô da Moeda, em

altitudes ao redor de 1300 metros, os solos P04, Ex08 (corresponde ao perfil XXV CBCS-5; Ker & Schaefer, 1995) e P09, além de ocuparem posição topográfica semelhante, correspondente a elevações de pequena amplitude nas proximidades das serras itabiríticas, por vezes entremeadas por formações pedimentares, têm como característica comum a expressiva ocorrência de concrecionamento. Há dúvidas no entanto quanto ao material de origem do P09, referido como depósitos lacustres e de enchimento de vales (argila e grãos de quartzo, hematita e goethita) pelo mapeamento geológico da APA Sul (Silva et al., 2005), mas por situar-se em posição distinta das áreas deprimidas que caracterizam esses depósitos, e dada a proximidade com áreas atribuídas à Formação Gandarela, foi considerado como a ela relacionado. Já o Ex05, embora localizado dentro dos limites dessa unidade litológica (Silva et al., 2005), e a apenas algumas centenas de metros do Ex08, encontra-se na transição para áreas da Formação Cercadinho, constituída por quartzitos com intercalação de filitos (fragmentos de material intemperizado semelhante a essa rocha foram encontrados em profundidade durante a amostragem do solo).

Na região do Gandarela o relevo é mais acidentado, com encostas de topografia variável entre forte ondulado e montanhoso, e com menor frequência ondulado, e os solos amostrados encontram-se em nível altimétrico um pouco mais baixo (entre 900 e 1270 m) em relação aos do Platô da Moeda. Nessa área, de densa cobertura florestal, localizam-se os perfis P01, P25, P37 e P36, este em rampa coluvionar de topografia suave, e ainda o Ex03, cujas características evidenciam influência significativa de materiais provenientes do intemperismo de quartzitos da Formação Cercadinho.

Dos solos relacionados às rochas ultramáficas do Complexo Córrego dos Boiadeiros, três perfis (P33, Ex09 e Ex10) ocorrem muito próximos, sob vegetação de campo tropical, sendo bem distinta, principalmente para os dois primeiros, a forte relação com o intemperismo de serpentinitos, enquanto o

Ex02, afastado algumas centenas de metros, encontra-se em área de transição para outra formação geológica (do Grupo Nova Lima), atualmente sob pastagem de braquiária.

Também inseridos na área da APASul, os perfis P16, P21 e P24, referem-se a materiais de origem distintos dos três grupos principais considerados neste estudo (Tabela 1), ainda que o primeiro pareça guardar alguma relação com solos relacionados ao intemperismo de rochas ferríferas do Grupo Itabira.

Quanto aos solos de outras regiões brasileiras (preferencialmente Latossolos), referem-se em geral a materiais com altos teores de ferro. A grande maioria deles insere-se no bioma cerrado do Planalto Central, relacionados ao intemperismo de diferentes tipos de rocha (Tabela 1).

Os solos de tufitos (Formação Mata da Corda) são da região de Patos de Minas (MG), situados em áreas de relevo suave de amplas extensões, originalmente recobertas por vegetação de cerrado (MG07) ou cerradão subcaducifólio (MG16), ou ainda sob floresta subcaducifólia (MG17, LR03 e MG02), em relevo um pouco mais encaixado. Incluem também um solo de borda de chapada (MG10), influenciado por materiais detríticos, que se caracteriza por expressivo concrecionamento, e representa a parte final de uma sequência topográfica em que o LR03 e o MG02 constituem os termos médio e inferior, respectivamente.

Já os solos relacionados a material basáltico (Grupo São Bento), distribuem-se por uma área bem mais ampla, nos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, em ambiente típico do Planalto Central, caracterizado pela topografia de conformação suave com amplos interflúvios, clima Aw, e vegetação de caráter subcaducifólio representada pelo cerrado (AE20 e RP36), cerradão (RP29), ou mesmo pela floresta (LR05 e RP41), que ocorre ao longo dos vales da região. Em condição bastante diversa, o solo RS15 refere-se ao

ambiente subtropical de vegetação campestre dos planaltos sulinos. Além desses, incluem-se solos do estado de Mato Grosso, relacionados à Formação Tapirapuã (basaltos e diabásios), também do Grupo São Bento, em área de vegetação campestre (AE10), e a diabásios e gabros do Grupo Rio Branco (intrudidos na Formação Aguapeí), esse sob floresta subcaducifólia (AE17); e ainda um solo da região de Lavras (MG), também relacionado ao intemperismo de gabros, em ambiente de floresta subperenifólia (UFLA).

Quanto aos solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas é grande a diversidade de condições ambientais. Dois deles apresentam vegetação nativa de cerrado subcaducifólio: RP17, relacionado a serpentinitos da região de Cromínia (GO), e CV11, localizado em Nazareno (MG); um de cerradão (RP12), proveniente do intemperismo de rochas do Grupo Iporá, e outro, situado no município de Conselheiro Lafaiete (MG), encontra-se em área de floresta subperenifólia (CL01).

São incluídos ainda solos relacionados a materiais de origem diversos, como: arenito vulcânico da formação Uberaba, no Triângulo Mineiro, com vegetação nativa de cerrado (LR02); metaparaconglomerados polimíticos, da região de Jangada (MT), sob cerradão (PT09), e jaspelito ferruginoso (CB02), recoberto por vegetação de campo tropical no topo da Morraria do Urucum, em Corumbá (MS), a 1000 metros de altitude. Por fim, os solos RP46 e RP03, localizados respectivamente em Patrocínio (MG) e Brasília (DF), encontram-se em altitudes acima de 1100 m, em áreas de chapada sob cerrado, referidas à superfície Sul-Americana (King, 1956; Braun, 1971), relacionados a materiais detríticos cuja origem é ainda indefinida, para o primeiro deles com provável influência de rochas básico-ultrabásicas.

## 5.2 Características morfológicas e físicas

Ao lado das cores avermelhadas, em geral de tonalidade bastante escurecida, refletida na dominância de valores  $\leq 3$  e cromas  $\leq 4$  (Tabela 2), uma característica comum à grande maioria dos solos do Quadrilátero Ferrífero refere-se ao forte desenvolvimento da estrutura granular, independente mesmo do grau de desenvolvimento pedogenético. Ainda que, muitas vezes, a fração terrosa encontre-se entremeada a grande quantidade de fragmentos do material de origem, ou a material concrecionário de natureza diversa, os horizontes B apresentam estrutura granular em geral fortemente desenvolvida, e mesmo quando subordinada à estrutura em blocos, não se verifica presença de cerosidade. A relação textural é também invariavelmente baixa. Portanto, na ausência de outras características distintivas, são reconhecidos para esses solos a presença de horizontes B latossólico ou B incipiente (a qualificação do horizonte subjacente às camadas de canga do solo Ex14, todavia, é um tanto controversa), conforme os critérios anteriormente em vigor (Embrapa, 1988, 1999), mas a distinção entre eles é com frequência determinada pela presença de fragmentos do material de origem (ainda que concrecionado), ou tão somente pela relação silte/argila, que tende a ser elevada (Tabela 2). Desse modo, apesar de identificados no campo como B latossólico (a exemplo do perfis P01 e P36), os altos valores dessa relação conduzem à distinção de B incipiente. É provável que a elevada concentração de óxidos de ferro esteja contribuindo para o aumento da estimativa dos teores de silte, na medida em que dificultam a dispersão do material de solo no laboratório (Curi, 1983; Santana, 1984). Fato semelhante parece ocorrer também com os solos desenvolvidos de outros materiais de origem, em especial no caso dos relacionados a tufito (Tabela 2). Para melhor caracterizar solos dessa natureza talvez seja necessário o desenvolvimento de um procedimento metodológico específico para o fracionamento granulométrico. Na tentativa de identificar possíveis desvios relativos ao método de rotina

empregado (Embrapa, 1997), para materiais selecionados foi realizada análise granulométrica pelo método da pipeta, com dispersão ultrassônica e correção do tempo de sedimentação em função da densidade de partículas da terra fina seca ao ar. Os resultados, no entanto, não mostraram diferenças significativas em relação aos obtidos pelo procedimentos de rotina. Apesar da dispersão dos agregados do tamanho de areia ter sido bastante eficiente, pode não ter sido suficiente para romper microagregados do tamanho de silte, cuja resistência a tratamentos de dispersão é significativa e tem sido registrada em diferentes Latossolos (Vitorino et al., 2003), em especial naqueles de constituição mais oxidica (Lima et al., 1990; Donagemma et al., 2003).

No entanto, para alguns solos de caráter concrecionário (P02, Ex17, P09, P04, Ex08 e MG10), a partir da edição mais recente do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), passou a ser reconhecida a presença de horizonte concrecionário, com precedência taxonômica sobre os demais, que é caracterizado pela presença de concreções do tamanho de calhaus e cascalhos em quantidade superior a 50% em volume (aspectos relativos à distinção desse horizonte diagnóstico são discutidos em seção posterior).

Os teores de argila dos horizontes B são bastante variáveis, mas na grande maioria dos solos do Quadrilátero excedem  $350 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 2), o que caracteriza domínio de textura argilosa, com menor incidência de solos muito argilosos. De maneira geral, os desenvolvidos de serpentinitos tendem a apresentar maiores teores de argila (com máximo de  $804 \text{ g kg}^{-1}$  no horizonte Bw3 do Ex09) e menores de areia, ao passo que nos solos do Gandarela, relacionados a dolomito ferruginoso, há predominância de textura média (com mínimo de  $288 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), mas o menor teor dessa fração corresponde aos perfis Ex06 e Ex15 (horizonte A1), ambos situados na encosta da serra da Moeda. Já nos solos das outras regiões brasileiras há um franco predomínio de textura argilosa ou muito argilosa.

TABELA 2. Coloração e resultados de análises físicas<sup>1</sup> de horizontes selecionados dos solos estudados.

Solo	Profundidade	Cor úmida (Munsell)	Frações da amostra total			Composição granulométrica					Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part.
			Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Areia total	Silte	Arg.				
cm		g kg <sup>-1</sup>											%	g cm <sup>-3</sup>
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>														
P02 - Bwc2	74 - 120	2,5YR 3/5	385	302	313	308	146	454	135	411	247	40	0,33	3,04
Ex14 - B(?)c	100 - 120	1,5YR 3/6			1000	360	109	469	154	377	0	100	0,41	
Ex17 - Bic	27 - 70	2,5YR 4/6*			1000	237	85	322	43	635	106	83	0,07	
Ex20 - Bw	40 - 70	1,5YR 3/5			1000	130	100	230	107	663	21	97	0,16	
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>														
Ex06 - Bi	50 - 70	10R 3/3				389	180	569	288	143	0	100	2,01	3,97
Ex15 - A1	0 - 15	4YR 3/3			1000	291	450	741	138	121	40	67	1,14	
Ex19 - Bi	45 - 90	9R 3/4			1000	218	45	263	188	549			0,34	
Ex18 - Bi	42 - 65	1,5YR 3/4			1000	185	154	339	197	464	0	100	0,42	
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>														
Ex04 - Bw	70 - 95	1,5YR 3/4				298	53	351	202	447	21	95	0,45	3,64
Ex16 - Bw	50 - 70	2,5YR 3/4	0	177	823	265	106	371	181	448	0	100	0,40	
Ex12 - Bw	120 - 150	1,5YR 3/5			1000	108	73	181	46	773	0	100	0,06	
Ex13 - Bw	50 - 70	10R 3/4			1000	233	152	385	224	391	0	100	0,57	
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>														
P09 - Bwc1	36 - 92	2,5YR 3/6	0	651	349	281	55	336	151	513	0	100	0,29	
P04 - Bic	32 - 58	10R 3/4	279	504	217	277	124	401	289	310	0	100	0,93	3,50
Ex08 - Bwc	55 - 121	1,5YR 3/4	300	630	70	160	130	290	270	440	270	39	0,61	
Ex05 - Bw	75 - 110	2,5YR 3/6				200	42	242	105	653	105	84	0,16	2,94

(...continua...)

TABELA 2, Cont.

Solo	Profundidade	Cor úmida (Munsell)	Frações da amostra total			Composição granulométrica					Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part.
			Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Areia total	Silte	Arg.				
cm		g kg <sup>-1</sup>											%	g cm <sup>-3</sup>
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>														
P01 - Bic1	62 - 98	2,5YR 3/2	0	213	787	241	218	459	235	306	0	100	0,77	3,29
P01 - Bic2	98 - 139	2,5YR 3/2	0	154	846	204	282	486	207	307	0	100	0,67	3,43
P25 - Bw	39 - 54	10R 3/4	0	119	881	204	96	300	232	468	244	48	0,50	3,77
P25 - Bwc2	87 - 103	2,5YR 3/4	197	396	407	250	102	352	282	366	0	100	0,77	3,77
P36 - Bi2	69 - 100	2,5YR 4/6	0	48	952	244	256	500	211	289	0	100	0,73	3,05
P37 - Bi1	42 - 71	2,5YR 3/2	0	160	840	208	122	330	382	288	0	100	1,33	3,51
P37 - Bi3	123 - 160	6,5YR 3/3	30	68	902	140	185	325	349	326	0	100	1,07	3,23
Ex03 - Bi1	31 - 61	4YR 3/4	0	26	974	271	182	453	241	306	0	100	0,79	2,88
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>														
P33 - Bi1	52 - 81	5YR 4/5	0	32	968	131	72	203	305	492	0	100	0,62	3,22
P33 - Bi2	81 - 132	5YR 4/6**	0	0	1000	103	62	165	280	555	0	100	0,50	3,17
Ex09 - Bw2	80 - 110	5YR 3,5/3				60	36	96	149	755	0	100	0,20	3,33
Ex09 - Bw3	110 - 140	6,5YR 4/4				33	38	71	125	804	0	100	0,16	3,41
Ex02 - Bw1	37 - 75	10R 3/4	0	0	1000	68	29	97	223	680	62	91	0,33	2,94
Ex10 - Bw	50 - 80	7,5R 3/2				202	62	264	198	538	0	100	0,37	3,58
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>														
P16 - 2Bw1	50 - 76	2,5YR 4/7	0	271	729	139	39	178	106	716	0	100	0,15	
P21 - Bw2	45 - 68	1,5YR 4/6	0	265	735	160	72	232	152	616	0	100	0,25	2,86
P21 - 2Bwc	68 - 92	2,5YR 4/8	0	219	781	315	106	421	193	386	0	100	0,50	2,94
Ex11 - Bw	100 - 120	2,5YR 3/5			1000	58	106	164	150	686	0	100	0,22	
P24 - Bw2	89 - 138	1,5YR 4/8	0	87	913	167	211	378	114	508	0	100	0,22	

(...continua...)

TABELA 2, Cont.

Solo	Profundidade	Cor úmida (Munsell)	Frações da amostra total			Composição granulométrica					Arg. disp.	G.F.	Silte/Arg.	Dens. part.
			Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Areia total	Silte	Arg.				
cm		g kg <sup>-1</sup>											%	g cm <sup>-3</sup>
<b>Solos desenvolvidos de tufito</b>														
MG07 - Bw1	63 - 122	2,5YR 3/6	0	0	1000	86	53	139	83	778	0	100	0,11	2,98
MG16 - Bw1	70 - 122	2,5YR 3/4	0	0	1000	111	109	220	268	512	0	100	0,52	3,39
MG17 - Bw2	68 - 115	3,5YR 3/4	0	0	1000	139	135	274	248	478	0	100	0,52	3,45
LR03 - Bw1	82 - 150	4YR 3/3	0	0	1000	110	110	220	220	560	0	100	0,39	
MG02 - Bi2	104 - 163	4YR 4/4	0	0	1000	137	141	278	246	476	0	100	0,52	
MG10 - Bwc2	59 - 92	5YR 4/6	160	661	179	165	88	253	130	617	0	100	0,21	
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>														
AE20 - Bw	75 - 120	2,5YR 3/4	0	0	1000	140	120	260	110	630	0	100	0,17	
RP36 - Bw	80 - 120	2,5YR 3/6	0	0	1000	66	120	186	128	686	0	100	0,19	
RP29 - Bw	80 - 120	10R 3/4	0	0	1000	145	120	265	94	641	0	100	0,15	
LR05 - Bw	90 - 110	2,5YR 2,5/4	0	0	1000	30	100	130	160	710	0	100	0,23	
RP41 - Bw	60 - 80	2,5YR 3/2	0	0	1000	138	100	238	274	488	0	100	0,56	
RS15 - Bw2	100 - 130	6YR 4/4	0	0	1000	21	19	40	148	812	0	100	0,18	
AE10 - Bw	75 - 120	2,5YR 3/4	0	0	1000	50	90	140	120	740	0	100	0,16	
AE17 - Bt	60 - 100	10R 3/4	0	0	1000	100	170	270	130	600	450	25	0,22	
UFLA - Bw	140 - 160	2,5YR 3/4				81	47	128	101	771	0	100	0,13	2,87

(...continua...)

TABELA 2, Cont.

Solo	Profundidade	Cor úmida (Munsell)	Frações da amostra total			Composição granulométrica					Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part.	
			Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Areia total	Silte	Arg.					
cm			g kg <sup>-1</sup>											%	g cm <sup>-3</sup>
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>															
RP12 - Bw	80 - 125	4YR 4/4	0	0	1000	134	68	202	99	699	0	100	0,14		
CL01 - Bw	80 - 120	2,5YR 3/6	0	0	1000	90	50	140	120	740	290	61	0,16		
CV11 - Bw	75 - 110	1,5YR 3/4	0	107	893	113	95	208	194	598	41	93	0,32		
RP17 - Bi	35 - 70	2,5YR 2,5/4	0	0	1000	389	174	563	212	225	10	96	0,94		
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>															
LR02 - Bw	80 - 120	3,5YR 3/5	0	0	1000	140	420	560	80	360	0	100	0,22		
PT09 - Bw2	72 - 128	1,5YR 3/4	0	70	930	190	240	430	110	460	0	100	0,24		
PT09 - Bwc2	170 - 192	1,5YR 3/4	170	260	570	210	190	400	130	470	0	100	0,28		
CB02 - Bi	50 - 80	3,5YR 3/3				114	33	147	354	499	0	100	0,71	3,06	
RP46 - Bw	80 - 125	2,5YR 4/6	0	0	1000	77	44	121	106	773	0	100	0,14		
RP03 - Bw	80 - 120	2,5YR 4/6	0	0	1000	52	41	93	142	765	0	100	0,19		

<sup>1</sup>Calh.: calhaus; Casc.: cascalhos; TFSA: terra fina seca ao ar; A.G.: areia grossa; A.F.: areia fina; Arg.: argila; disp.: dispersa em água; G.F.: grau de floculação; Dens. part.: densidade de partículas.

\* coloração variegada composta de 2,5YR 4/6 e 5YR 3/4.

\*\*mosqueado comum, grande e difuso (7,5YR 5/6).

O horizonte A apresenta, via de regra, menores teores de argila e maiores de silte em relação ao B, mas em nenhum dos solos do Quadrilátero o incremento em profundidade daquela fração mostrou-se suficiente para caracterização de horizonte B textural. Apenas no caso do perfil P02 a análise granulométrica realizada pelo método do hidrômetro (Embrapa, 1997) indicava um gradiente textural muito acentuado (Shinzato & Carvalho Filho, 2005), mas que a determinação pelo método da pipeta, com dispersão ultrassônica, mostrou tratar-se de problema de dispersão do material de solo.

A densidade de partículas tende a ser bastante elevada, em geral superior a  $3,0 \text{ g cm}^{-3}$ , embora valores um pouco inferiores a esse sejam também observados, é provável que devido à contribuição de materiais de natureza menos ferruginosa. Essa característica mostrou-se satisfatória para distinção entre solos desenvolvidos de basalto e de itabirito (Curi & Franzmeier, 1984), mas alguns dos solos de tufito do presente estudo apresentaram valores de densidade de partículas da mesma ordem de grandeza dos solos do Quadrilátero Ferrífero.

### **5.3 Características químicas**

Em todos os solos do Quadrilátero Ferrífero, a soma dos cátions básicos do complexo de troca é extremamente baixa ( $<0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) no horizonte B, em geral sendo também desprovidos de Al trocável, o que, em conjunto com valores de pH quase sempre iguais ou superiores a 5,0, caracteriza-os como ácidos (Embrapa, 2006). O baixo potencial nutricional dos solos do Quadrilátero se expressa também nas características químicas dos horizontes A, em sua grande maioria com menos de 50% de saturação por bases e soma de cátions básicos muito reduzida (Apêndice A). Apenas dois solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso apresentaram altos teores de bases trocáveis à superfície, o que sugere maior reciclo pela vegetação florestal, mas ainda assim

pouco eficiente, com brusca redução logo a seguir. Aos componentes orgânicos devem-se também o predomínio de carga líquida negativa nos horizontes superficiais e a maior CTC, além de pH mais baixo. O Al trocável tende também a ser mais alto, mas ainda em níveis reduzidos ( $<0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), com caráter álico observado em poucos solos.

Dos resultados do ataque sulfúrico (Tabela 3) infere-se uma constituição mineralógica oxidica para todos os solos do Quadrilátero Ferrífero estudados, independentemente da natureza do material de origem, ou do tipo de horizonte B diagnóstico, como indicam os valores muito baixos do índice Kr (relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sempre inferiores a 0,75 (Resende et al., 1988), além da pequena contribuição de argilas silicatadas, refletida no índice Ki (relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ), em geral também reduzido. Apenas em três perfis, relacionados a dolomitos ferruginosos da região do Gandarela (P25, P37-Bi3 e Ex03), o índice Ki é superior a 0,75 no horizonte B. Mas como os teores dos óxidos de Si e Al determinados no extrato do ataque sulfúrico são mínimos, esses valores podem ser não ser representativos; mostram-se no entanto bastante consistentes ao longo da sequência de horizontes de cada perfil. Interessante notar que é justamente esse o grupo de solos com mais baixos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tabela 3). Em comparação com os solos relacionados à mesma formação geológica, localizados no Platô da Moeda, esses resultados parecem indicar para os últimos alguma influência de materiais de outras fontes, o que se ajusta à condição de maior preservação desse ambiente (menor dissecação pela erosão geológica). Tal interpretação parece aplicável também aos solos relacionados às rochas itabiríticas, seja nas partes de topo, como em posição de aba coluvionar (pedimento), os quais tendem a apresentar teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bem superiores aos situados nas encostas. Possíveis diferenças na composição da rocha de origem não podem porém ser descartadas.

Quanto aos solos de outras regiões brasileiras, também predominam os de natureza oxidica, com valores de Kr em nível semelhante aos dos solos do Quadrilátero, mas com relação Ki mais variável, e em geral superior à unidade naqueles com horizonte B incipiente (exceto no CB02). Dentre eles destaca-se o RP17, com valor dessa relação igual a 2,41 (Tabela 3), embora tanto os teores de sílica como de alumina sejam bastante baixos.

Mas a característica mais marcante do conjunto de solos estudados deve-se, sem dúvida, aos teores muito elevados de ferro, que chegam a extremos de  $774 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pelo ataque sulfúrico (Tabela 3), no horizonte B de um solo da encosta da serra da Moeda (Ex19). No entanto, nem todos os solos relacionados a itabirito ou dolomito ferruginoso apresentam teores superiores a  $360 \text{ g/kg}$ , limite para enquadramento como perférricos pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Por outro lado, em alguns solos desenvolvidos de tufito e de rochas ultrabásicas os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  excedem esse limite. Não é possível, portanto, a distinção entre os solos desenvolvidos de tão diferentes materiais de origem por esse critério. No entanto, como observado por outros autores (Curi, 1983; Curi & Franzmeier, 1984; Resende et al., 1988), os teores de titânio tendem a ser muito mais elevados nos solos de tufito e de basalto. O valor 16 da relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  sugerido por Curi & Franzmeier (1984) mostrou-se adequado para a distinção entre esses e os solos do Quadrilátero Ferrífero relacionados tanto às rochas de constituição ferrífera (itabirito e dolomito ferruginoso) quanto ao serpentinito, mas os separa também dos solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas (CV11). Desse modo, tal parâmetro distintivo deve merecer avaliação posterior, mais abrangente.

TABELA 3. Teores de óxidos obtidos pelo ataque sulfúrico e respectivas relações em horizontes selecionados dos solos estudados.

Solo	Ataque Sulfúrico						Relação Molecular				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / TiO <sub>2</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
----- g kg <sup>-1</sup> -----											
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>											
P02 - Bwc2	25	288	307	13,7	1,8	0,4	0,15	0,09	1,47	0,09	22,4
P02 - BCc	28	263	372	15,4	1,4	0,6	0,18	0,09	1,11	0,08	24,2
Ex14 - B(?)c	16	240	458	12,4	<0,1	1,4	0,11	0,05	0,82	0,05	36,9
Ex17 - Bic	10	168	614	2,6	<0,1	0,3	0,1	0,03	0,43	0,01	236
Ex20 - Bw	24	231	393	14,1	<0,1	0,2	0,18	0,08	0,92	0,07	27,9
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>											
Ex06 - Bi	5	43	682	2,6	<0,1	14,4	0,2	0,02	0,1	0,01	262
Ex19 - Bi	11	53	774	3,5	<0,1	0,3	0,35	0,03	0,11	0,01	221
Ex18 - Bi	13	194	553	3,6	<0,1	1,1	0,11	0,04	0,55	0,01	154
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>											
Ex04 - Bw	6	152	634	21	<0,1	0,4	0,07	0,02	0,38	0,07	30,2
Ex16 - Bw	11	174	574	2,6	<0,1	0,6	0,11	0,03	0,48	0,01	221
Ex12 - Bw	35	257	370	4,3	1,9	0,3	0,23	0,12	1,09	0,02	86
Ex13 - Bw	9	74	647	3,4	<0,1	3,1	0,21	0,03	0,18	0,01	190
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>											
P09 - Bwc1	19	204	520	13,9			0,16	0,06	0,62	0,05	37,4
P04 - Bic	19	114	610	6,7	0,2	7,8	0,28	0,06	0,29	0,02	91
P04 - Cc	24	38	651	2,5	<0,1	10	1,07	0,09	0,09	0,01	260
Ex08 - Bwc	13	194	558	9,6			0,11	0,04	0,55	0,03	58,1
Ex08 - Cc	16	159	458	4,8			0,17	0,06	0,54	0,02	95,4
Ex05 - Bw	8	259	343	13,3	0,3	0,2	0,05	0,03	1,19	0,08	25,8
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>											
P01 - Bic1	14	49	409	5	1,1	21,5	0,49	0,08	0,19	0,02	81,8
P01 - Bic2	13	50	398	4,8	1,1	18,3	0,44	0,07	0,2	0,02	82,9
P25 - Bw	19	25	684	6,4	0,1	0,4	1,29	0,07	0,06	0,02	107
P25 - Bwc2	19	23	701	5,3	<0,1	0,6	1,4	0,07	0,05	0,02	132
P36 - Bi2	8	64	380	10,3	1,1	3,3	0,21	0,04	0,26	0,05	36,9
P37 - Bi1	36	93	412	3,5	1,4	48,6	0,66	0,17	0,35	0,02	118
P37 - Bi3	46	66	369	4,5	2	26,4	1,18	0,26	0,28	0,02	82
Ex03 - Bi1	50	90	197	2,7	0,7	7,9	0,94	0,39	0,72	0,03	73
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>											
P33 - Bi1	35	239	410	8,9	0,7	3,4	0,25	0,12	0,92	0,04	46,1
P33 - Bi2	48	232	418	9,1	0,7	3,4	0,35	0,16	0,87	0,04	45,9
P33 - BC	128	209	354	7,9	0,6	3,4	1,04	0,5	0,93	0,04	44,8
Ex09 - Bw2	37	208	504	8,5	<0,1	12,5	0,3	0,12	0,65	0,03	59,3
Ex09 - Bw3	45	203	502	9,2	<0,1	14,9	0,38	0,15	0,63	0,04	54,6
Ex02 - Bw1	85	226	337	9,7	1	0,4	0,64	0,33	1,05	0,06	34,7
Ex10 - Bw	20	170	608	6,8	<0,1	5,1	0,2	0,06	0,44	0,02	89,4

(...continua...)

TABELA 3, Cont.

Solo	Ataque Sulfúrico						Relação Molecular				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / TiO <sub>2</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
----- g kg <sup>-1</sup> -----											
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>											
P16 - 2Bw1	40	292	225	14			0,23	0,16	2,04	0,12	16,1
P21 - Bw2	54	225	244	24,6	2,8	0,2	0,41	0,24	1,45	0,2	9,92
P21 - 2Bwc	60	200	306	20	0,1	0,2	0,51	0,26	1,03	0,13	15,3
Ex11 - Bw	127	230	166	9,6	1	0,2	0,94	0,64	2,18	0,12	17,3
P24 - Bw2	81	216	95	16,7			0,64	0,5	3,57	0,35	5,69
<b>Solos desenvolvidos de tufo</b>											
MG07 - Bw1	44	236	281	58,2	3,1	0,3	0,32	0,18	1,32	0,41	4,83
MG16 - Bw1	30	142	425	107	18	1,2	0,36	0,12	0,52	0,5	3,96
MG17 - Bw2	43	132	417	106	28,5	2,2	0,55	0,18	0,5	0,51	3,93
LR03 - Bw1	42	153	467	130			0,47	0,16	0,51	0,55	3,61
MG02 - Bi2	86	131	367	109	24,2	7	1,12	0,4	0,56	0,59	3,38
MG10 - Bwc2	81	185	312	51	11,8	0,6	0,74	0,36	0,93	0,33	6,12
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>											
AE20 - Bw	139	186	273	42,6			1,27	0,66	1,07	0,31	6,41
RP36 - Bw	136	213	297	45,6			1,09	0,57	1,13	0,31	6,51
RP29 - Bw	70	220	333	58,9			0,54	0,27	1,04	0,35	5,65
LR05 - Bw	115	241	323	74,8			0,81	0,44	1,17	0,46	4,32
RP41 - Bw	131	134	382	62,7			1,66	0,59	0,55	0,33	6,09
RS15 - Bw2	202	213	189	30,6			1,61	1,03	1,77	0,32	6,18
AE10 - Bw	42	251	289	29,3			0,28	0,16	1,36	0,2	9,86
AE17 - Bt	115	158	267	50,2			1,24	0,59	0,93	0,38	5,32
UFLA - Bw	123	265	243	16,1	1,1	0,6	0,79	0,5	1,71	0,13	15,1
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>											
RP12 - Bw	87	245	223	40,7			0,6	0,38	1,72	0,36	5,48
CL01 - Bw	81	237	259	24,3			0,58	0,34	1,44	0,19	10,7
CV11 - Bw	69	194	380	17,9	<0,1	1,8	0,6	0,27	0,8	0,09	21,2
RP17 - Bi	71	50	467	1,3			2,41	0,35	0,17	0,01	359
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>											
LR02 - Bw	45	98	226	68,5			0,78	0,32	0,68	0,61	3,3
PT09 - Bw2	102	130	149	8			1,33	0,77	1,37	0,11	18,6
PT09 - Bwc2	112	158	190	8,4			1,21	0,68	1,31	0,09	22,6
CB02 - Bi	49	191	322	6,5	1,6	0,2	0,44	0,21	0,93	0,04	49,5
RP46 - Bw	94	295	201	17,9			0,54	0,38	2,3	0,18	11,2
RP03 - Bw	137	325	143	12,8			0,72	0,56	3,57	0,18	11,2

Ainda que a citada relação tenha se mostrado eficiente, observa-se uma grande diferença entre os valores obtidos pelo cálculo direto, o que talvez possa dificultar a avaliação dos dados. Desse modo, com o objetivo de reduzir a enorme amplitude de valores, foi testado o uso da relação inversa, expressa em fração molar, à semelhança dos índices  $K_i$  e  $K_r$ , cujos resultados parecem mais ajustados a avaliações de tendência (Tabela 3). É proposto assim, o emprego da relação molecular  $TiO_2/Fe_2O_3$ , tendo como limite o valor de 0,10 para a distinção dos solos relacionados a materiais ferríferos.

Outro aspecto que se destaca dos resultados do ataque sulfúrico, refere-se aos teores de MnO muito elevados em alguns dos solos estudados, principalmente os relacionados aos dolomitos da Formação Gandarela, com significativa influência em suas cores (Tabela 1), mas também em solos derivados de serpentinito, ou mesmo de itabirito (neste caso apenas o Ex06). Um solo desenvolvido de tufito (MG02) apresenta também concentração expressiva desse óxido, mas são os teores de  $TiO_2$ , e em especial de  $P_2O_5$  que impressionam nos solos relacionados a esse material, o que reforça a importância de distingui-los dos solos do Quadrilátero.

#### **5.4 Mineralogia da fração argila**

Em acordo com os elevados teores de óxido de ferro extraídos pelo ataque sulfúrico, os difratogramas de raios-X (figuras no Anexo B) evidenciam a presença marcante de hematita, goethita e maghemita, que, em conjunto, tendem a predominar na fração argila da grande maioria dos solos estudados. Gibbsita é outro mineral bastante comum, ocorrendo em proporções variadas, por vezes bem expressiva, assim como a caulinita; esta porém com pequena participação nos solos mais ferruginosos. Diferenças quanto ao material de origem parecem refletir-se, principalmente, na presença de constituintes de menor expressividade.

Dentre os solos relacionados ao itabirito, os situados nos topos das serras e nos pedimentos a elas adjacentes distinguem-se pela presença marcante de gibbsita no horizonte B, em contraste com os solos das encostas, nos quais, à exceção do Ex18, esse mineral é muito pouco expressivo (Figuras B1, B2 e B3). Comum a todos eles, porém, é o predomínio de hematita e goethita, com reflexos bem distintos, além de maghemita, cuja presença é indicada pela reflexão a 0,295 nm, ou inferida pela intensidade relativa dos reflexos a 0,251 e 0,269 nm (Fey & Le Roux, 1977), assim como pela atração magnética da fração argila. Outro aspecto comum a esses solos são as proporções bastante reduzidas de caulinita, um pouco mais expressiva apenas no Ex12, talvez devido à contribuição de outros materiais de origem, como sugere sua posição na paisagem, ao fim de uma encosta pedimentar. Além desses minerais, foi identificada a ocorrência restrita de anatásio, rutilo, mica e mesmo quartzo, esse sobretudo nos solos das encostas, nos quais a menor presença de gibbsita parece indicar um grau de evolução menos avançado, condizente com o aspecto morfológico intrínseco a eles, que sobressai da presença abundante de fragmentos do material de origem do tamanho de calhaus e cascalhos em sua constituição.

Merece destaque ainda a nítida dominância da goethita na fração argila do solo concrecionário situado no topo da serra da Moeda (Ex17), refletida pela coloração do horizonte B<sub>ic</sub>, e também a expressiva ocorrência desse mineral em dois solos de pequeno desenvolvimento pedogenético situados na encosta dessa mesma serra (Ex19 e Ex15), principalmente no horizonte A1 desse último (Figura B2), o que parece indicar a formação preferencial de goethita nos estádios iniciais de intemperização do itabirito (Curi, 1983), a despeito da grande concentração de ferro, favorável à gênese da hematita (Kämpf & Curi, 2000). Em que pese a presença de alguma gibbsita, e ainda caulinita, em solos com tão estreita relação com o material de origem, a mineralogia da fração argila

dos solos das encostas parece servir como comprovação adicional da pobreza generalizada em alumínio no itabirito, insuficiente, ao que parece, mesmo considerando condições de extrema concentração residual por intemperismo e lixiviação, para justificar a presença de gibbsita em níveis semelhantes aos verificados na fração argila dos solos de pedimento e de topo, e menos ainda a ponto de permitir sua exploração comercial com extração de bauxita, como ocorre no topo da serra da Água Limpa (local do P02). Por tal razão, a contribuição de outros materiais de origem é sempre considerada, seja em termos de evolução pedogenética (Costa, 2003), ou como hipótese geomorfológica para a origem dessas jazidas minerais (Varajão, 1988). A respeito da mineralogia dos solos do topo da serra da Água Limpa, registra-se ainda, como curiosidade, a indicação, dada por reflexão muito sutil próximo a 0,611 nm, de vestígios de bohemita, óxido de alumínio cuja identificação inequívoca em solos até pouco tempo não havia sido conseguida (Hsu, 1989).

A composição mineralógica da fração argila dos solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso também revela algumas diferenças entre os localizados no platô da Moeda, em que, ao lado dos óxidos de ferro (hematita, goethita e maghemita), a presença de gibbsita é também marcante (Figura B4), e os solos do Gandarela, nos quais, mesmo nos de maior desenvolvimento pedogenético (com horizonte B latossólico), esse mineral tende a ser pouco significativo (Figura B6). Nesse ambiente, o menor grau de intemperismo dos perfis P37 e Ex03, conforme inferido do aspecto morfológico e dos resultados da análise granulométrica, é também evidenciado nos difratogramas de raios-X da fração argila pelos reflexos bem distintos na faixa de ângulos  $2\theta$  menores, atribuídos a interestratificados vermiculita-esmectita (~1,4 nm), vermiculita com hidróxi-entrecamadas (~1,2 nm) e mica (~1,0 nm). Em proporções mais restritas ocorrem ainda anatásio, rutilo e quartzo, além de caulinita, cuja participação é um pouco mais destacada no horizonte Bi3 do P37, que se distingue pela

presença dominante de goethita, conforme indica sua cor amarelada. Essa constituição sugere, em época anterior, uma condição de drenagem mais restrita em profundidade, desfavorável à preservação da hematita, presente apenas em pequena quantidade (Kämpf & Curi, 2000).

Nos solos desse ambiente foram também identificados minerais de manganês: representados por todoroquita, litioforita (este apenas no Ex03), e ainda pirolusita, considerada a forma mais estável de óxidos desse elemento (McKenzie, 1989), cuja presença, indicada pelo reflexo a 0,312 nm, foi verificada apenas no P01, com maior concentração na fração argila do horizonte A. Da mesma forma, a expressão do principal reflexo da todoroquita (0,953 nm) é bem mais intensa no horizonte superficial desse solo, sem que haja no entanto um aumento significativo dos teores de Mn obtidos pelo ataque sulfúrico. A inferir-se pela expressividade da gibbsita, a presença exclusiva de litioforita no Ex03 talvez esteja relacionada à maior disponibilidade de alumínio, cuja presença em altas concentrações é considerada necessária para sua formação (Golden et al., 1993, citados por Dowding & Fey, 2007).

Desde que todoroquita e litioforita apresentam linhas de difração bastante próximas nos espectros dos difratogramas (0,95, 0,47 e 0,23 nm), a identificação desses minerais teve como parâmetro principal a intensidade relativa dos reflexos. Seja pela pequena concentração em que normalmente ocorrem, ou pela baixa cristalinidade, grande número de defeitos e pequeno tamanho de partícula, ou por estarem em geral segregados em nódulos e concreções, a identificação por difratometria de raios-X na fração argila ao natural, sem qualquer tratamento de concentração, é em geral pouco comum (Kämpf & Azevedo, 1993; Dowding & Fey, 2007), o que reforça a natureza peculiar desses solos.

Nos solos do Platô da Moeda, apenas no horizonte C de dois solos de caráter concrecionário (P04 e Ex08) foi identificada a presença de todoroquita,

com destaque para esse último, em que predomina na fração argila (Figura B5), que apresenta também alguma pirolusita. Em contraste com os horizontes B (Figura B4), goethita é o principal óxido de ferro, ainda que a hematita encontre-se presente, e mesmo maghemita, essa porém em proporções bastante restritas; mica, quartzo, rutilo e ilmenita são também muito pouco significativos. No horizonte C do P04 um reflexo bastante proeminente a 0,717 nm (Figura B5) indica presença de caulinita de maior grau de cristalinidade, em claro contraste com os horizontes superiores desse e dos outros solos da área, nos quais esse mineral é muito pouco expressivo.

Apesar dos teores de manganês muito inferiores, nos solos relacionados a serpentinitos do Complexo Córrego dos Boiadeiros, a presença de todoroquita e pirolusita na fração argila é indicada por reflexos bem definidos a 0,95 e 0,31 nm (Figura B7). Esses espaçamentos, apesar de poderem corresponder às linhas de difração do talco e da pirofilita, minerais comumente associados a rochas de natureza ultramáfica (Zelazny & White, 1989; Kämpf & Curi, 2003), foram atribuídos aos respectivos óxidos de manganês, com base nos teores desse elemento extraídos por ditonito-citrato-bicarbonato de sódio na fração argila, e devido à baixa estabilidade daqueles minerais nas condições de intemperismo-lixiviação vigentes nesses solos, o que parece ser consubstanciado pela intensidade equivalente daqueles reflexos na fração argila de todos os horizontes do P33, além de não terem sido identificados em difratogramas de raios-X de materiais da rocha e do halo de intemperismo associado. Os minerais dominantes são todavia goethita, que é o óxido de ferro quase exclusivo nos solos de cor mais amarelada (P33 e Ex09), e hematita, predominante nos solos vermelhos, que também apresentam maghemita. A presença de gibbsita é também significativa, com ocorrência menor de caulinita, cujo reflexo principal (0,717 nm) é bastante amplo nos solos de cor amarelada, sugerindo uma associação com serpentina, conforme inferido dos difratogramas de raios-X, ao

longo da sequência de horizontes do P33. A presença de pequenas quantidades de interestratificados mica-vermiculita e esmectita-vermiculita é também indicada (Figura B7).

Nos demais solos do Quadrilátero Ferrífero, a mineralogia da fração argila é constituída pelos minerais de ocorrência mais comum nos outros solos da região, com destaque para a presença um pouco mais expressiva de caulinita, ao lado de gibbsita, goethita e hematita, e em alguns solos, ainda que de forma muito restrita, maghemita, além de anatásio e rutilo, também muito pouco expressivos (Figura B8); composição essa compatível com materiais de natureza latossólica (Schaefer et al., 2008).

Quanto aos solos de outras regiões brasileiras, à exceção daqueles de menor desenvolvimento pedogenético, a mineralogia da fração argila é também tipicamente latossólica (Schaefer et al., 2008), constituída principalmente por hematita, goethita, maghemita, gibbsita e caulinita, em proporções variáveis (Figuras B9, B10, B11 e B12). Algumas peculiaridades são no entanto observadas. Assim, nos solos relacionados a tufito, destaca-se a ocorrência significativa de anatásio, e também de maghemita, indicada pelos bem destacados reflexos a 0,252 e 0,295 nm, respectivamente (Figura B9), e a pequena participação de goethita nos solos vermelhos. São também baixos os teores de caulinita; ela, em geral, tende a ser mais expressiva nos solos desenvolvidos de materiais basálticos (Figura B10) e de natureza básico-ultrabásica (Figura B11), por vezes dificultando a identificação do anatásio. Distinguem-se ainda os solos RS15 (horizonte Bw) e AE17 (horizonte Bt), ambos desenvolvidos de basalto mas com características e ambientes de ocorrência bastante contrastantes, pela presença de um reflexo a 1,45 nm, que foi atribuído à vermiculita com hidroxí-entrecamadas (Figura B10), como é comum nos solos brunados do ambiente subtropical do Sul do Brasil (Palmieri, 1986; Ker, 1987), que o primeiro perfil representa. A ocorrência de vermiculita é

também indicada pelo difratograma da fração argila do PT09, solo derivado de metaparaconglomerados polimíticos, da região de Jangada (MT), em que é bem destacada também a presença de mica (Figura B12). Mas as principais variações ficam por conta dos solos menos evoluídos, como o RP17, desenvolvido de serpentinito, com presença marcante de maghemita, e principalmente do CB02, derivado de jaspelitos ferruginosos. Merece destaque ainda a intensidade do reflexo a 0,295 nm, indicativo da presença de maghemita na fração argila dos solos MG10 e RP12 (Figuras B9 e B11), em contraste com as cores pouco avermelhadas do material de solo e a fraca atração magnética dessa fração granulométrica (Anexo A). Além disso, a presença desse mineral não é indicada pelos difratogramas de raios-X referentes a essas mesmas amostras de argila, após tratamento para concentração de óxidos de ferro.

#### **5.4.1 Óxidos de ferro**

Para horizontes selecionados de alguns dos solos estudados, foi realizada caracterização e estimativa da proporção dos minerais de óxidos de ferro presentes na fração argila por meio de difratometria de raios-X, após tratamento com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup> (Kämpf & Schwertmann, 1982), e de extrações químicas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) e oxalato ácido de amônio, cujos resultados indicam ampla dominância de formas cristalinas.

Em acordo com as cores de matiz avermelhado da grande maioria dos solos, a hematita predomina sobre a goethita; esse mineral é entretanto muito comum, presente em proporções significativas mesmo nos solos mais vermelhos do Quadrilátero Ferrífero (Tabela 4); apenas em três solos, relacionados a tufito (MG17), basalto (LR05) e serpentinito (RP17), não foi possível, com base nos reflexos das linhas de difração, estimar sua participação, considerada assim insignificante. A presença de hematita, por outro lado, só não foi confirmada no horizonte inferior (Bi3) do P37, de cor 6,5YR 3/3; e encontra-se em proporções

bastante reduzidas nos horizontes de cor brunada dos solos desenvolvidos de serpentinito (P33 e Ex09), em acordo com modelo de ampla aceitação, que prevê a ausência ou proporção insignificante de hematita em solos de matiz mais amarelado (Resende, 1976; Schwertmann, 1993; Cornell & Schwertmann, 1996; Resende et al., 2007). No entanto, para dois solos, de cor 5YR 4/6 (MG10) e 4YR 4/4 (RP12), os valores estimados para a relação  $Hm/(Hm + Gt)$  na fração argila, respectivamente 0,43 e 0,68, contrariam de forma acentuada esse modelo. A possibilidade da interferência de sodalita (com linha de difração próxima à do plano 012 da hematita), formada em consequência do tratamento com NaOH, parece não se aplicar, uma vez que não ocorre nas outras amostras submetidas ao mesmo procedimento; ademais a estimativa realizada por equações que não consideram esse plano de difração da hematita (Torrent et al., 1980; Jones, 1981), indicam valores próximos aos mencionados. Um aspecto que chamou atenção, junto com intenso avermelhamento verificado após ebulição com NaOH em uma dessas argilas (RP12), refere-se à presença de um reflexo de considerável intensidade indicativo da ocorrência de maghemita (0,295 nm) nos difratogramas de raios-X da fração argila ao natural de ambos os solos (RP12 e MG10; Figuras B9 e B11), que entretanto não ocorre, ou somente com fraca expressão, nos difratogramas das amostras ferro-concentradas. A temperatura atingida no tratamento para concentração dos óxidos de ferro não é suficiente, porém, para a transformação de maghemita em hematita, nem parece haver qualquer registro de tal fato<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Kämpf, N. Informação pessoal.

TABELA 4. Proporção relativa e características mineralógicas dos óxidos de ferro<sup>1</sup> presentes na fração argila de horizontes selecionados de alguns dos solos estudados.

Solo	Hm/ (Hm+Gt)	Mh/(Mh+ Hm+Gt)	Mh/ (Mh+Hm)	DMC <sub>hkl</sub>		ASE- Gt	DMC <sub>hkl</sub>		ASE- Hm	DMC <sub>hkl</sub> Mh-220	Substituição isomórfica		
				Gt-110	Gt-111		Hm-012	Hm-110			Al-Gt	Al-Hm	Al-Mh
				nm	nm	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	nm	nm	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	nm	mol mol <sup>-1</sup>		
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>													
P02 - Bwc2	0,84	0,06	0,07	39	31	59	39	61	34		0,17	0,04	0
P02 - BCc	0,84	0	0	39	23	59	96	61	24		0,17	0,04	
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>													
Ex06 - Bi	0,88	0,13	0,15	22	23	109	18	26*	77*	94	0,06	0,10*	0,05 (n-0,16)
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>													
Ex04 - Bw	0,67	0,39	0,49	18	37	134	21	37*	60*	17	0,17	0,15*	0,21 (0-0,23)
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>													
P09 - Ac	0,76	0,24	0,29	21	22	114	20	29*	69*	43	0,17	0,10*	0,14
P09 - Bwcl	0,78	0,20	0,24	28	26	84	39	46*	40*	63	0,17	0,09*	0,23
P04 - Bic	0,78	0,20	0,24	65	26	33	96	37*	36*	63	0,09	0,10*	n
Ex05 - Bw	0,55	0,10	0,17	32	46	73	28	37*	52*		0,30	0,14*	0,29

(...continua...)

TABELA 4, Cont.

Solo	Hm/ (Hm+Gt)	Mh/(Mh+ Hm+Gt)	Mh/ (Mh+Hm)	DMC <sub>hkl</sub>		ASE- Gt m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	DMC <sub>hkl</sub>		ASE- Hm m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	DMC <sub>hkl</sub> Mh-220 nm	Substituição isomórfica		
				Gt-110	Gt-111		Hm-012	Hm-110			Al-Gt	Al-Hm	Al-Mh
				nm	nm		nm	nm			mol	mol <sup>-1</sup>	mol <sup>-1</sup>
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>													
P01 - Ap	0,72	0,35	0,43	19	23	126	18	26*	77*	19	0,09	0,05*	0,14 (0,01-0,23)
P01 - Bic1	0,72	0,07	0,10	14	19	173	15	28*	81*	73	0,07	0,09*	0
P01 - Bic2	0,60	0,23	0,33	24	17	99	24	23*	73*	47	0,06	0,14*	0,01
P25 - A	0,54	0,14	0,22	32	37	73	21	31*	65*	94	0,06	0,14*	0,07 (n-0,21)
P25 - Bw	0,53	0,11	0,19	32	31	73	18	23*	82*	38	0,05	0,10*	0 (n-0,09)
P36 - A	0,59	0,15	0,23	19	20	126	21	26*	72*	63	0,08	0,10*	n
P36 - Bi2	0,55	0,10	0,18	15	23	162	24	20*	80*		0,10	0,18*	n
P37 - A	0,66	0,41	0,51	39	23	59	19	15*	105*	17	0,11	0,01*	n
P37 - Bi1	0,57	0,47	0,60	22	26	109	28	15*	94*	21	0,06	0,04*	n
P37 - Bi3	0	0		28	20	84					0,11		
Ex03 - Bi1	0,67	0,27	0,35	32	31	73	32	31*	55*	189	0,18	0,09*	n
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>													
P33 - Bi2	0,08	0,13	0,65	22	20	109					0,20	0,20*	n
Ex09 - Bw2	0,13	0,23	0,69	49	37	46				189	0,23		n
Ex02 - Bw1	0,86	0,14	0,16	24	31	99	32	37*	49*		0,18	0,10*	n
Ex10 - Bw	0,70	0,35	0,43	32	26	73	18	23*	82*	17	0,27	0,23*	0,37 (0,19-0,45)

(...continua...)

TABELA 4, Cont.

Solo	Hm/ (Hm+Gt)	Mh/(Mh+ Hm+Gt)	Mh/ (Mh+Hm)	DMC <sub>hkl</sub>		ASE- Gt	DMC <sub>hkl</sub>		ASE- Hm	DMC <sub>hkl</sub>	Substituição isomórfica		
				Gt-110	Gt-111		Hm-012	Hm-110			Mh-220	Al-Gt	Al-Hm
				nm	nm	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	nm	nm	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	nm	mol mol <sup>-1</sup>	mol mol <sup>-1</sup>	mol mol <sup>-1</sup>
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>													
P16 - 2Bw1	0,54	0,08	0,14	19	20	126	39	37	45		0,28	0,10	n
P21 - Bw2	0,64	0,06	0,09	28	46	84	32	46	43		0,20	0,14	0,09
P21 - 2Bwc	0,67	0,14	0,20	24	31	99	19	46*	57*	189	0,19	0,14*	0,28
P24 - Bw2	0,49	0,07	0,14	28	31	84	39	61	34		0,27	0,14	n
<b>Solos desenvolvidos de tufito</b>													
MG07 - Bw1	0,96	0,23	0,23				28	34*	55*	47	0,18	0,18*	0,09
MG16 - Bw1	0,82	0,39	0,44	49		46	39	31*	51*	73	0,17	0,14*	0,05
MG17 - Bw2	~ 1	0,51	0,51					23*		94		0,08*	0
MG10 - Bwc2	0,43**	0,07	0,15	24	20	99			80		0,20	0,14	0,20
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>													
RP29-Bw	0,89	0,29	0,32				39	61*	34*	86	0,28	0,10*	0,23
													(0,11-0,33)
LR05 - Bw	~ 1	0,32	0,32				28	46*	46*	63		0,10*	0,01
													(n-0,11)
RP41 - Bw	0,85	0,33	0,37	65		33	39	26*	58*	94		0,15*	0,25
													(0,11-0,34)
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>													
RP12 - Bw	0,68**	0	0	54	19	41	25	28	64		0,18	0,15	
CL01 - Bw	0,58	0,25	0,36	32	20	73	28	31*	58*	31	0,26	0,14*	0,19
RP17 - Bi	~ 1	0,52	0,52				11	20*	112*	19		0,13*	0,07
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>													
PT09 - Bw2	0,82	0,07	0,09	24		99	48	37	42		0,06	0,08	n

<sup>1</sup> - Hm: hematita; Gt: goethita; Mh: maghemita; DMC: diâmetro médio do cristal; ASE: área superficial específica.

\* - interferência de reflexo da maghemita; \*\* - proporção de hematita muito acima do esperado com base na cor (matiz) do solo.

Além de hematita e goethita, a presença de maghemita é também bastante comum nos solos estudados, como indicado pela magnetização da fração argila (Apêndice A). Em alguns casos encontra-se em proporções bastante expressivas (Tabela 4), por vezes superiores aos outros minerais ferruginosos, o que talvez possa justificar uma separação de classes mineralógicas em quinto nível categórico, à semelhança da proposição de Kämpf et al. (1988) para distinção de *Oxisols*, ao mesmo tempo em que torna questionável a utilização da cor como critério exclusivo de distinção taxonômica em nível de subordem (segundo nível categórico), conforme adotado pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), critério que se fundamenta, em suma, na proporção de goethita e hematita indicada pelo matiz (Embrapa, 1999).

Com relação aos parâmetros cristalográficos, as dimensões estimadas para o diâmetro médio do cristal (DMC) ao longo dos planos 110 e 111 da goethita, que variaram de 14 a 65 e de 17 a 46 nm, respectivamente, encontram-se dentro da faixa de valores normalmente observados em solos brasileiros (Curi, 1983; Santana, 1984; Ker, 1995; Fernandes, 2000; Inda Junior, 2002), mas sem uma relação definida entre si (Figura 1), e embora para a maioria das amostras a razão entre  $DMC_{111}$  e  $DMC_{110}$  esteja próxima da unidade, em outras encontra-se bem distante desse valor (amplitude entre 0,35 e 2,06), contrariando a tendência considerada comum para goethitas naturais quanto à equidimensionalidade, ao longo dos três eixos cristalográficos (Schwertmann, 1988). Para quatro solos (Ex04, Ex05, P36 e P21), os valores dessa relação (superiores a 1,4) sugerem forma acicular para os cristais de goethita.

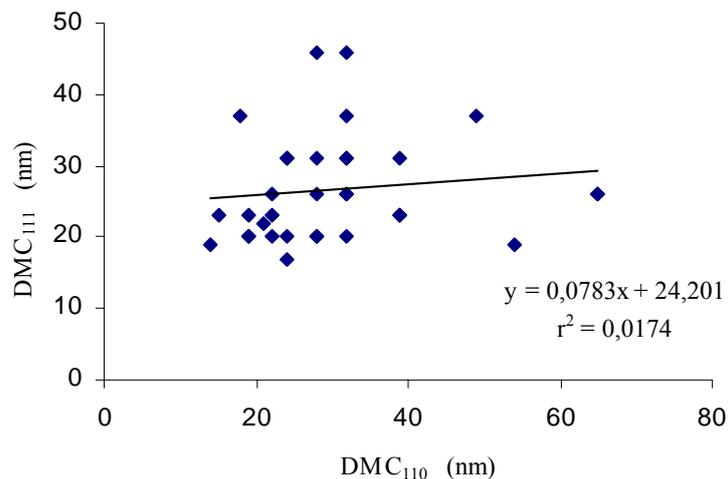


FIGURA 1. Relação entre DMC<sub>110</sub> e DMC<sub>111</sub> das goethitas dos solos estudados.

No caso da hematita, para a grande maioria das amostras a posição coincidente das linhas de difração referentes aos planos 110 desse mineral e 313 da maghemita (0,251 nm), esse com reflexão de máxima intensidade, impede inferências seguras a respeito da forma dos cristais, assim como compromete as estimativas da substituição isomórfica em alumínio e mesmo da área superficial específica, que baseiam-se também em características do reflexo dessa linha de difração (na Tabela 4 são destacados os valores desses parâmetros que supõe-se sejam mais influenciados pela presença da maghemita). Talvez a esse fato estejam relacionadas algumas divergências entre os resultados obtidos e as tendências gerais referentes ao predomínio da morfologia em forma de placas para os cristais de hematita (inferida pela razão  $DMC_a/DMC_c = DMC_{110} \cdot 0,72 / DMC_{012} \cdot 0,59$  maior que a unidade) e menor área superficial específica em relação à goethita coexistente (Schwertmann & Kämpf, 1985; Schwertmann &

Latham, 1986; Ker, 1995; Inda Junior, 2002), nem sempre verificadas nos solos estudados.

É grande a amplitude dos valores estimados para a área superficial da goethita (entre 33 e 173 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), assim como para a substituição isomórfica em alumínio (0,05 a 0,30 mol mol<sup>-1</sup>), ambos dentro da faixa de valores comuns em ambientes pedogênicos, mas apesar da reconhecida influência desse elemento sobre o tamanho do cristal de goethita (Schulze & Schwertmann, 1984) não se constatou uma boa correlação entre essas características (Figura 2), ou mesmo do tamanho do cristal com os valores de DMC<sub>110</sub> (r<sup>2</sup>=0,0621) ou DMC<sub>111</sub> (r<sup>2</sup>=0,0733) estimados para esse mineral, a exemplo de outros estudos (Fitzpatrick & Schwertmann, 1982; Singh & Gilkes, 1992; Ker, 1995). Há todavia uma boa correlação entre substituição isomórfica em Al e teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do ataque sulfúrico (Figura 3), com ajuste um pouco melhor após descontar-se o alumínio alocado à caulinita (Resende et al., 1987), o que sugere que ambientes com maior disponibilidade desse elemento sejam favoráveis à sua incorporação na estrutura dos óxidos de ferro, assim como à formação de gibbsita. Com efeito, são os solos menos gibbsíticos, conforme indicado pelos difratogramas de raios-X da fração argila, que tendem a apresentar goethitas com menor grau de substituição em alumínio, com destaque para os desenvolvidos de dolomitos ferruginosos da região do Gandarela (Tabela 4), nos quais é comum o grau de substituição isomórfica ser maior na hematita; mas a proporção considerável de maghemita constitui um fator de incerteza quanto a esses resultados.

Da Figura 2 sobressai ainda a distinção de pelo menos duas populações de goethitas quanto ao grau de substituição em Al: a primeira com baixa substituição (< 0,12 mol mol<sup>-1</sup>) e a segunda com bem maior proporção em alumínio (0,15 - 0,30 mol mol<sup>-1</sup>). A baixa substituição isomórfica indica menor disponibilidade de Al para ser incorporado na estrutura desse mineral, que pode

estar relacionada a pedoambientes de pior drenagem (agora ou no passado), com maior potencial redox, enquanto a segunda população é característica de ambientes oxidantes e mais dessilicificados (Fitzpatrick & Schwertmann, 1982; Schwertmann, 1985; Kämpf & Curi, 2000; Resende et al., 2005).

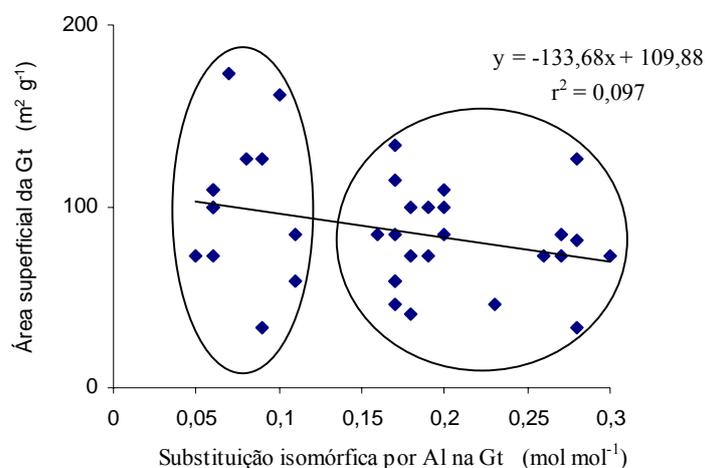


FIGURA 2. Relação entre substituição isomórfica em alumínio e área superficial específica da goethita na fração argila de horizontes selecionados dos solos estudados (estimativa realizada por difratometria de raios-X).

Para a maghemita, os resultados da estimativa da substituição em alumínio parecem confirmar a incerteza das curvas de calibração experimental (Schwertmann & Latham, 1986), com indicação de valores tanto negativos como extremamente altos (Tabela 4), que excedem o máximo até agora registrado na literatura (Schertmann & Fechter, 1984; Schwertmann & Latham, 1986; Fontes & Weed, 1991; Costa et al., 1999), embora Fontes & Weed (1991) tenham observado em uma de suas amostras um valor de substituição considerado bem

acima do usual ( $0,26 \text{ mol mol}^{-1}$ ). Além disso, é bastante comum nos difratogramas de raios-X o reflexo referente ao plano 220 desse mineral (em  $0,295 \text{ nm}$ ), utilizado para tal estimativa, apresentar ápice dissimétrico, com frequência segmentado em duas ou mais pontas, algumas vezes bem individualizadas, o que parece sugerir a coexistência de diferentes populações desse óxido de ferro, possivelmente relacionadas ao caráter poligenético da maioria dos solos estudados, a exemplo do observado para a goethita (Motta & Kämpf, 1992; Muggler, 1998; Inda Junior & Kämpf, 2005). Por essa razão, quando bem distintas, foi estimada a substituição em Al referente aos espaçamentos mínimos e máximos, além do correspondente à posição central dos reflexos (Tabela 4). Todavia, como há uma relativa escassez de resultados referentes à substituição isomórfica em alumínio na maghemita, os valores obtidos aqui servem apenas como referencial para estudos futuros, em que outros parâmetros devem ser considerados, como por exemplo efeitos do tamanho de partículas muito pequenas sobre a posição da linha de difração, como é suposto ocorrer com a hematita (Fontes & Weed, 1991), ou ainda a possibilidade da incorporação de outros íons influenciando o tamanho do cristal .

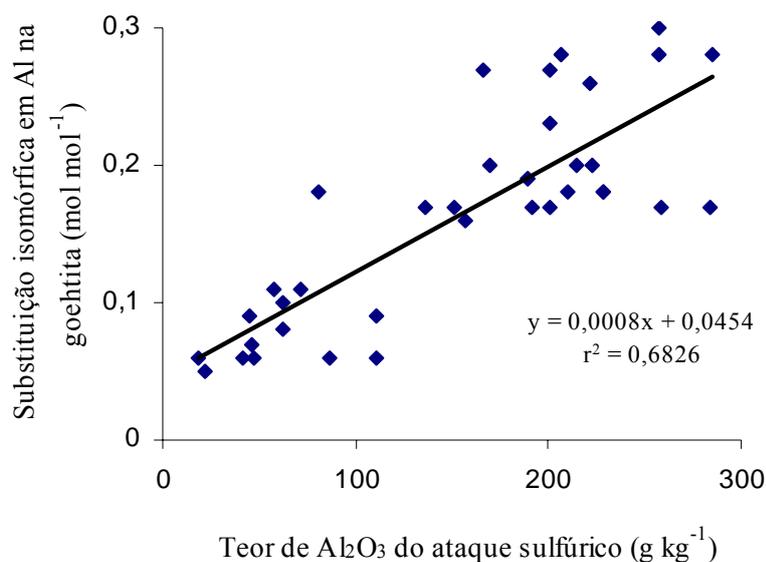


FIGURA 3. Relação entre substituição isomórfica em alumínio na goethita e teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtido pelo ataque sulfúrico.

### 5.5 Extrações com ditionito e oxalato na fração argila

Como reflexo da presença marcante dos óxidos de ferro na fração argila, os teores desse elemento extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) são em geral bastante elevados, com máximo de 621 g kg<sup>-1</sup> de argila (Tabela 5). Os valores mais altos referem-se aos solos do Quadrilátero Ferrífero desenvolvidos de itabirito, dolomito ferruginoso e serpentinito, quase sempre superiores a 300 g kg<sup>-1</sup> de argila, com exceção do Ex05 (248 g kg<sup>-1</sup>) e Ex02 (206 g kg<sup>-1</sup>). Dentre os demais solos estudados, valores dessa magnitude ocorrem

apenas no RP17 (horizonte Bi), desenvolvido de rocha ultrabásica (serpentinito), e, em nível um pouco inferior, nos derivados de tufito. Nos solos relacionados a rochas basálticas, os teores de ferro extraído com DCB ( $Fe_d$ ) são, com apenas uma exceção, inferiores a  $200 \text{ g kg}^{-1}$ . A baixa relação entre os teores desse elemento solubilizado na primeira extração com oxalato de amônio e o total extraído pelo DCB ( $Fe_o/Fe_d$ ), com poucas exceções inferior a 0,02 (Tabela 5), indica a predominância de formas cristalinas, mesmo em solos de desenvolvimento pedogenético incipiente.

Na sequência de extrações com DCB, praticamente todo o ferro (95% ou mais) foi solubilizado nas quatro primeiras (realizadas à temperatura ambiente, num total de 40 horas de agitação), com exceção de poucas amostras em que essa proporção é um pouco menor. Grande parte delas apresenta também menor taxa de dissolução na primeira extração, em que se destaca a participação dos solos mais amarelados, ou com maior proporção de goethita, e daqueles com maior substituição isomórfica em Al na goethita, cujo efeito estabilizante frente à dissolução por DCB tem sido verificado em vários trabalhos (Torrent et al., 1987; Schwertmann & Taylor, 1989; Bryant & Macedo, 1990; Jeanroy et al., 1991; Inda Junior & Kämpf, 2005). Ao contrário do observado por Motta (1999), a concentração total de ferro na argila não implicou em redução da taxa de dissolução, conforme também constatado por Inda Junior (2002), fator esse que pode ser significativo em se tratando de populações de solo mais homogêneas.

TABELA 5. Teores de ferro e manganês obtidos em extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>) e com oxalato ácido de amônio (Fe<sub>o</sub>, Mn<sub>o</sub>), e de manganês por extração multiácida (Mn<sub>i</sub>), na fração argila de horizontes selecionados dos solos estudados.

Solo	Cor úmida (Munsell)	Fe <sub>d</sub>		Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>t</sub>	Mn <sub>d</sub>		Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>o</sub> /Mn <sub>d</sub>
		1a. extr	Total				1a. extr	Total <sup>1</sup>		
		g kg <sup>-1</sup>	%	----- g kg <sup>-1</sup> -----		g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	--- mg kg <sup>-1</sup> ---	
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>										
P02 - Bwc2	2,5YR 3/5	409	(86)	477	2,9	0,01	499	(80)	626	tr
P02 - BCc	10R 3/4	483	(86)	564	3,1	0,01	855	(85)	1006	55
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>										
Ex06 - Bi	10R 3/3	549	(88)	621	12,0	0,02	25071	(98)	25478	9926
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>										
Ex04 - Bw	1,5YR 3/4	332	(90)	369	5,6	0,02	< 0,1	76	(100)	76
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>										
P09 - Bwc1	2,5YR 3/6	238	(85)	282	3,3	0,01	0,4	718	(91)	793
P04 - Bic	10R 3/4	361	(83)	434	4,2	0,01	4,3	5656	(88)	6439
P04 - Cc	5YR 3/4 *	284	(56)	511	2,2	0		22819	(87)	26270
Ex05 - Bw	2,5YR 3/6	173	(70)	248	2,1	0,01	< 0,1	33	(100)	33
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>										
P01 - Bic2	2,5YR 3/2	536	(93)	578	17,1	0,03	26	37763	(98)	38518
P25 - Bw	10R 3/4	417	(94)	447	8,1	0,02		436	(93)	467
P25 - Bwc2	2,5YR 3/4	421	(92)	460	5,9	0,01	< 0,1	697	(94)	740
P36 - Bi2	2,5YR 4/6	383	(95)	404	4,8	0,01	2,4	3093	(97)	3180
P37 - Bi1	2,5YR 3/2	336	(91)	370	27,6	0,07	72	81334	(97)	84033
P37 - Bi3	6,5YR 3/3	352	(86)	409	18,1	0,04	47	48625	(96)	50814

(...continua...)

TABELA 5, Cont.

Solo	Cor úmida (Munsell)	Fe <sub>d</sub>		Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>t</sub>	Mn <sub>d</sub>		Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>o</sub> / Mn <sub>d</sub>		
		1a. extr	Total				1a. extr	Total <sup>1</sup>				
		g kg <sup>-1</sup>	%	---- g kg <sup>-1</sup> ----	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	%	--- mg kg <sup>-1</sup> ---				
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>												
P33 - Bi2	5YR 4/6 **	141	(39)	366	2,0	0,01	0,8	1421	(92)	1540	497	0,3
Ex09 - Bw2	5YR 3,5/3	164	(35)	474	1,4	0	< 0,1	499	(78)	643	81	0,1
Ex02 - Bw1	10R 3/4	176	(86)	206	3,6	0,02	< 0,1	210	(90)	233	41	0,2
Ex10 - Bw	7,5R 3/2	240	(61)	393	4,2	0,01	0,5	807	(80)	1009	275	0,3
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>												
P32 - Bi	5YR 4/7	76	(58)	132				341	(77)	444		
P16 - A	4YR 3/4	84	(60)	142	3,4	0,02		61	(100)	61	95	1,6
P16 - 2Bw1	2,5YR 4/7	100	(65)	154	1,7	0,01		37	(100)	37	46	1,3
P21 - A	5YR 3/3	97	(68)	142	3,9	0,03		112	(100)	112	130	1,2
P21 - Bw2	1,5YR 4/6	127	(79)	160	2,0	0,01	< 0,1	32	(100)	32	tr	1,1
P21 - 2Bwc	2,5YR 4/8	126	(79)	160	1,7	0,01		67	(100)	67	42	0,6
P24 - Bw2	1,5YR 4/8	55	(58)	96	0,8	0,01		94	(100)	94	tr	
<b>Solos desenvolvidos de tufito</b>												
MG07 - Bw1	2,5YR 3/6	206	(89)	232	2,7	0,01	< 0,1	143	(100)	143	50	0,4
MG16 - Bw1	2,5YR 3/4	209	(85)	247	7,7	0,03		600	(88)	679	312	0,5
MG17 - Bw2	3,5YR 3/4	259	(90)	289	13,2	0,05	1,7	2310	(95)	2445	1130	0,5
MG02 - Bi2	4YR 4/4	220	(86)	255	8,9	0,04	1,1	1761	(95)	1850	922	0,5
MG10- Bwc2	5YR 4/6	116	(64)	182	3,7	0,02		84	(100)	84	tr	

(...continua...)

TABELA 5, Cont.

Solo	Cor úmida (Munsell)	Fe <sub>d</sub>		Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Mn <sub>t</sub>	Mn <sub>d</sub>		Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>o</sub> / Mn <sub>d</sub>		
		la. extr	Total				la. extr	Total <sup>1</sup>				
		g kg <sup>-1</sup>	%				mg kg <sup>-1</sup>	%				
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>												
AE20 - Bw	2,5YR 3/4	142	(96)	149	2,3	0,02	< 0,1	304	(100)	304	91	0,3
RP36 - Bw	2,5YR 3/6	129	(92)	141	2,5	0,02	< 0,1	286	(100)	286	137	0,5
RP29 - Bw	10R 3/4	204	(88)	232	2,9	0,01	< 0,1	276	(90)	306	tr	
LR05 - Bw	2,5YR 2,5/4	167	(95)	177	3,1	0,02		492	(95)	519	154	0,3
RP41 - Bw	2,5YR 3/2	131	(90)	145	4,1	0,03	0,4	520	(93)	557	265	0,5
AE10 - Bw	2,5YR 3/4	163	(87)	187	2,4	0,01		203	(89)	229	100	0,4
AE17 - Bt	10R 3/4	170	(94)	180	2,5	0,01		391	(100)	391	272	0,7
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>												
RP12 - Bw	4YR 4/4	82	(62)	134	2,2	0,02	< 0,1	47	(100)	47	tr	
CL01 - Bw	2,5YR 3/5	113	(59)	193	1,7	0,01	< 0,1	174	(100)	174	tr	
RP17 - Bi	2,5YR 2,5/4	291	(88)	331	4,6	0,01	2,4	3651	(93)	3947	988	0,3
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>												
PT09 - Bw2	1,5YR 3/4	120	(73)	165	2,2	0,01		199	(100)	199	138	0,7
RP46 - Bw	2,5YR 4/6	77	(55)	140	1,5	0,01	< 0,1	110	(48)	228	114	0,5

<sup>1</sup> - total de três extrações sucessivas; tr - traços.

\* - coloração variegada composta de 5YR 3/4; N 2,5/; 7,5YR 5/6 e N 3/;

\*\* - mosqueado comum, grande e difuso (7,5YR 5/6)

Embora encontre-se em proporção bem inferior ao ferro, na fração argila de alguns solos, relacionados principalmente a dolomitos ferruginosos e itabirito, foram extraídas quantidades bastante elevadas de manganês pelo ditionito. É expressivo também em alguns solos relacionados a tufito, e ainda nos desenvolvidos de serpentinitos, tanto do Quadrilátero Ferrífero, nesses em nível um pouco inferior, como de Goiás (RP17). Há, no entanto, uma grande variabilidade nas concentrações desse elemento, independente do material de origem, assim como do teor de ferro (Tabela 5). A relação  $Mn_o/Mn_d$ , por outro lado, tende a ser elevada, indicando, em comparação com os óxidos de ferro, presença de formas de menor grau de cristalinidade, ou maior suscetibilidade dos compostos de Mn à dissolução ácida. Para algumas amostras, por efeito talvez de concentrações muito baixas, os valores dessa relação são mesmo superiores à unidade. Vale destacar ainda a diferença entre os teores de Mn determinados por ICP (espectroscopia de emissão de plasma) após extração multiácida, considerados como teor total ( $Mn_t$ ), em relação aos medidos no extrato do DCB por absorção atômica, invariavelmente superiores àqueles, o que parece indicar divergências entre métodos de determinação, corroborando observações de Curi & Franzmeier (1987).

Quanto aos outros elementos analisados, não houve maiores discrepâncias entre os teores totais determinados por ICP e aqueles extraídos por DCB e oxalato (Tabela 6), mas devido às baixas concentrações em que ocorrem, em grande parte das amostras não foi possível sua quantificação, principalmente para Cu e Zn. O primeiro foi determinado apenas em cinco delas no extrato do oxalato (em proporção correspondente a menos de 40% do teor total), mas não foi detectado na extração por DCB, o que talvez esteja relacionado à precipitação desse elemento na forma de sulfeto (Abreu et al., 2002). No caso do Zn, ao contrário, já na primeira extração com DCB foram solubilizadas proporções consideráveis em relação ao teor total (exceto para dois solos

desenvolvidos de tufito), enquanto a concentração no extrato do oxalato esteve sempre abaixo dos limites de detecção. Por isso, não é possível inferir sobre sua associação com os compostos de ferro, ainda que em uma amostra (Ex09-Bw2), na qual encontra-se em maior concentração, os teores solubilizados na segunda extração com DCB tenham sido da mesma ordem de grandeza, e até um pouco mais elevados que os da primeira, o que parece indicar a possibilidade de tal associação, tanto mais que a relação  $Zn_d/Fe_d$  mantém-se praticamente constante (respectivamente  $0,70E^{-3}$  e  $0,68E^{-3}$  para a primeira e segunda extrações). Mas considerando todo o universo das amostras, não se observa correlação significativa entre esses elementos, nem entre zinco e manganês.

Também apenas em poucas amostras foi possível a determinação dos teores de Ni nos extratos do DCB, mas em concentrações bem mais elevadas que as de Cu e Zn (Tabela 6), e em clara associação com o material de origem dos solos: sobretudo serpentinito, e em menor extensão tufito. Nos solos relacionados a essa rocha, a exemplo do que ocorre com o zinco, a proporção solubilizada por esse extrator em relação ao teor total (cerca de 50%) é bem inferior à verificada nos derivados de serpentinito, nos quais supera 70%, o que indica a ocorrência de uma fração considerável desses dois elementos incorporada à estrutura de minerais não solubilizados pelo DCB nos solos desenvolvidos de tufito.

TABELA 6. Teores de metais extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (d), oxalato ácido de amônio (o) e ataque triácido (t) na fração argila de horizontes selecionados de alguns dos solos estudados.

Solo	Cu <sub>t</sub>	Cu <sub>o</sub>	Zn <sub>t</sub>	Zn <sub>d</sub>	Zn <sub>d</sub> / Zn <sub>t</sub>	Ni <sub>t</sub>	Ni <sub>d</sub>	Ni <sub>o</sub> <sup>1</sup>	Ni <sub>d</sub> / Ni <sub>t</sub>	Cr <sub>t</sub>	Cr <sub>d</sub>	Cr <sub>o</sub>	Cr <sub>d</sub> / Cr <sub>t</sub>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			----- mg kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
	<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>												
P02 - Bwc2		-		92,0			-				198,1	-	
P02 - BCc		-		66,9			-				187,4	-	
	<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>												
Ex06 - Bi				96,5			-				-	45,3	
	<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>												
Ex04 - Bw	3,5	-	29	-		< 3	-	-		9,7	42,2	-	4,35
	<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>												
P09 - Bwc1	7,6	-	19			< 3	-	-		53	40,7	-	0,77
P04 - Bic	48		96	73,7	0,77	13	-			< 3	41,8	-	
P04 - Cc				120,4			-				-	-	
Ex05 - Bw	6,3	-	11			4,1	-			180	-	-	
	<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>												
P01 - Bic2	18	-	69	78,5	1,14	< 3	-			< 3	-	-	
P25 - Bwc2	7,7	-	28			< 3	-			< 3	-	-	
P36 - Bi2	7,8	-	27			< 3	-	-		< 3	-	-	
P37 - Bi1	122	27	85	70,3	0,83	60	-	-		37	44,2	-	1,19
P37 - Bi3	76		106	67,9	0,64	40	-			18	-	-	

(...continua...)

TABELA 6, Cont.

Solo	Cu <sub>t</sub>	Cu <sub>o</sub>	Zn <sub>t</sub>	Zn <sub>d</sub>	Zn <sub>d</sub> / Zn <sub>t</sub>	Ni <sub>t</sub>	Ni <sub>d</sub>	Ni <sub>o</sub>	Ni <sub>d</sub> / Ni <sub>t</sub>	Cr <sub>t</sub>	Cr <sub>d</sub>	Cr <sub>o</sub>	Cr <sub>d</sub> / Cr <sub>t</sub>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			----- mg kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>													
P33 - Bi2	157	-	123	-		2045	1773,1	41,8	0,87	> 10000	17566,5	181,2	
Ex09 - Bw2	43	-	281	336,4	1,2	1096	1138,1	30,4	1,04	> 10000	23997,5	250,3	
Ex02 - Bw1	34	-	36			210	209,6		1,00	4259	2502,5	66,8	0,59
Ex10 - Bw	64		117	77,6	0,66	436	320,3		0,73	> 10000	17337,8	700,8	
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>													
P16 - 2Bw1		-					-	24,2			192,7	-	
P21 - Bw2	25	-	30	-	-	25	-	-		207	50,8	-	0,25
P21 - 2Bwc		-					-	24,7			52,6	-	
<b>Solos desenvolvidos de tufito</b>													
MG07 - Bw1	55	-	11			28	-			180	69,2	-	0,38
MG17 - Bw2	301	-	113	41,0	0,36	300	141,7	35,4	0,47	75	-	-	
MG02 - Bi2	336	37,9	115	40,5	0,35	399	189,1	22,1	0,47	33	-	-	
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>													
RP36 - Bw	165		36			51	-			5,2	-	-	
RP29 - Bw	88	-	39			40	-			49	-	-	
LR05 - Bw		33,1					-				75,8	-	
RP41 - Bw	129	26,4	73			36	-			< 3	-	-	
AE10 - Bw							-				68,8	-	
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>													
RP12 - Bw	67	-	47			27	-			75	-	-	
CL01 - Bw	65	-	46			68	-			1009	327,3	-	0,32
RP17 - Bi	62	23,7	146	117,4	0,8	7710	6012,3	609,5	0,78	5048	4608,3	799,9	0,91
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>													
RP46 - Bw	20		18			23	-			356	63,4	50,1	0,18

- valores inferiores ao limite de detecção.

Quanto ao Cr, é igualmente destacada sua relação com solos provenientes do intemperismo de serpentinitos, e mesmo de outras rochas ultrabásicas, mas não com os solos derivados de tufito. A própria concentração desse elemento em relação à do Ni indica características distintas entre as rochas serpentínicas do Quadrilátero Ferrífero e da região de Cromínia (GO), representadas pelo RP17, em que o Ni predomina (Tabela 6). No caso desses metais, a incorporação na estrutura dos óxidos de ferro fica bem evidente, como observado por outros autores (Schwertmann & Latham, 1986; Schwertmann et al., 1989; Trolard et al., 1995; Pinto & Kämpf, 1996), mas há divergência quanto à tendência sugerida por Schwertmann & Latham (1986) de maior afinidade do Ni pela goethita e do Cr pela hematita.

#### **5.6 Elementos-traço na fração terra fina**

Embora com certas variações, algumas tendências gerais são observadas entre os solos estudados com relação ao conteúdo total dos elementos-traço determinados na terra fina (extração multiácida), que sugerem uma forte relação com o material de origem, conforme também observado em outros trabalhos (Curi, 1983; Curi & Franzmeier, 1987; Ker et al., 1993; Ker, 1995; Oliveira, 1996). Nesse contexto, o Mn constitui um elemento divergente, dada à sua grande variabilidade (Tabela 7); sua natureza suscetível à solubilização frente a condições ácidas e redutoras (Mckenzie, 1989), junto com a tendência a se acumular em nódulos e concreções, talvez possam explicar a ocorrência de concentrações muito distintas na terra fina de solos afins, ou mesmo entre horizontes de um mesmo perfil. Em vista disso, a pedogênese deve desempenhar um papel preponderante no determinar sua distribuição em solos, o que restringe as possibilidades de comparação com outros elementos a condições pedogenéticas similares. Não obstante, é notável a elevada concentração desse elemento em alguns solos do Quadrilátero Ferrífero, conforme também indicado

pelos resultados do ataque sulfúrico, principalmente naqueles relacionados aos dolomitos da formação Gandarela, cujos teores de manganês na fração terra fina são dos maiores dentre os solos do mundo (Dowding & Fey, 2007), com extremos de 69.000 mg kg<sup>-1</sup> no horizonte Bi1 do P37, ou 73.000 mg kg<sup>-1</sup> no horizonte C do Ex08 (Tabela 7). A participação desse elemento é ainda expressiva em solos relacionados a serpentinitos, tufito, rochas ultramáficas e basalto.

Em contraste com concentrações tão elevadas de manganês, em grande parte dos solos o molibdênio encontra-se em nível inferior ao limite de detecção (5 mg.kg<sup>-1</sup>). Esse, no entanto, corresponde a um teor alto, em vista da concentração normal desse micronutriente em ambientes terrestres, estimada em cerca de 3 mg.kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Há necessidade portanto de um método mais sensível para melhor avaliação do conteúdo desse elemento nos solos estudados, embora alguns resultados indiquem concentrações relativamente elevadas (próximas a 15 mg kg<sup>-1</sup>), com destaque para o horizonte C do Ex08, com 30 mg kg<sup>-1</sup>, que parece corresponder ao valor mais elevado até agora registrado em solos sob condições naturais (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Concentrações abaixo do limite de detecção são também comuns para o cádmio, que foi determinado somente em alguns solos (dados não mostrados), dos quais apenas um situado no Quadrilátero Ferrífero (Ex08), único dentre eles em que esse elemento pôde ser quantificado, mas ainda assim em concentração correspondente ao limite de detecção do método (5 mg kg<sup>-1</sup>), tanto no horizonte Bwc como no Cc; para as demais amostras encontra-se sempre abaixo desse limite.

TABELA 7. Teores totais de elementos-traço (ataque triácido) nas frações terra fina seca ao ar e argila (valores entre parênteses) de horizontes selecionados de alguns dos solos estudados.

Solo	Cu	Co	Zn	Soma <sup>1</sup>	Cr	Ni	Soma <sup>2</sup>	Mn <sup>3</sup>	Mo	Pb
----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>										
P02 - Bwc2	13	5	39	57	159	< 2	159	251	< 5	11
Ex20 - Bw	15	2	31	48	201	< 2	201	88	6	9
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>										
Ex06 - Bi	9	5	37	51	38	< 2	38	14000	< 5	< 5
Ex19 - Bi	9	< 2	38	47	39	< 2	39	192	< 5	< 5
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>										
Ex04 - Bw	11	3	32	46	120	< 2	120	302	< 5	< 5
	(3,5)	(14)	(29)		(9,7)	(< 3)		(< 0,10)	(< 3)	(< 8)
Ex12 - Bw	20	3	41	64	186	< 2	186	198	7	6
Ex13 - Bw	10	4	35	49	52	< 2	52	1388	< 5	11
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>										
P09 - Bwc1	10	4	36	50	213	< 2	213	574	< 5	< 5
	(7,6)	(13)	(19)		(53)	(< 3)		(0,4)	(3,4)	(< 8)
P04 - Bic	27	28	94	149	67	14	81	8600	< 5	17
	(48)	(26)	(96)		(< 3)	(13)		(4,3)	(< 3)	(14)
Ex08 - Bwc	17	56	56	129		68		4545	11	86
Ex08 - Cc	97	106	220	423		292		73000	30	80
Ex05 - Bw	14	3	24	41	234	< 2	234	113	10	< 5
	(6,3)	(14)	(11)		(180)	(4,1)		(< 0,10)	(3,1)	(< 8)

(...continua...)

TABELA 7, Cont.

Solo	Cu	Co	Zn	Soma <sup>1</sup>	Cr	Ni	Soma <sup>2</sup>	Mn <sup>3</sup>	Mo	Pb
----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>										
P01 - Bic1	16	9	37	62	32	< 2	32	24000	< 5	10
P25 - Bw	11	3	45	59	33	< 2	33	362	< 5	< 5
P25 - Bwc2	12	5	47	64	29	< 2	29	552	< 5	< 5
	(7,7)	(9,5)	(28)		(< 3)	(< 3)		(< 0,10)	(< 3)	(18)
P36 - Bi2	10	11	27	48	73	< 2	73	2295	< 5	< 5
	(7,8)	(23)	(27)		(< 3)	(< 3)		(2,4)	(< 3)	(< 8)
P37 - Bi1	87	54	63	204	72	50	122	69000	< 5	40
	(122)	(50)	(85)		(37)	(60)		(72)	(< 3)	(53)
P37 - Bi3	42	22	66	130	47	24	71	36000	< 5	17
	(76)	(29)	(106)		(18)	(40)		(47)	(< 3)	(58)
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>										
P33 - Bi2	143	628	180	951	13000	2109	15109	1803	< 5	< 5
	(157)	(327)	(123)		(>10000)	(2045)		(0,8)	(< 3)	(21)
Ex09 - Bw2	61	1293	399	1753	18000	2123	20123	9500	< 5	< 5
	(43)	(113)	(281)		(>10000)	(1096)		(< 0,10)	(< 3)	(< 8)
Ex02 - Bw1	35	32	73	140	4560	220	4780	366	< 5	< 5
	(34)	(15)	(36)		(4259)	(210)		(< 0,10)	(< 3)	(17)
Ex10 - Bw	49	439	181	669	18000	1026	19026	2430	< 5	13
	(64)	(109)	(117)		(>10000)	(436)		(0,5)	(< 3)	(< 8)
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>										
P16 - 2Bw1	12	4	32	48	426	< 2	426	49	7	< 5
P21 - Bw2	31	15	76	122	266	19	285	133	< 5	33
	(25)	(13)	(30)		(207)	(25)		(< 0,10)	(< 3)	(< 8)
Ex11 - Bw	45	11	49	105	759	223	982	209	< 5	17
P24 - Bw2	13	7	42	62	45	10	55	94	< 5	29

(...continua...)

TABELA 7, Cont.

Solo	Cu	Co	Zn	Soma <sup>1</sup>	Cr	Ni	Soma <sup>2</sup>	Mn <sup>3</sup>	Mo	Pb
----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
<b>Solos desenvolvidos de tufito</b>										
MG07 - Bw1	54 (55)	8 (54)	41 (11)	103	434 (180)	31 (28)	465	164 ( $< 0,10$ )	5 ( $< 3$ )	51 (23)
MG17 - Bw2	209 (301)	133 (121)	173 (113)	515	489 (75)	277 (300)	766	2170 (1,7)	$< 5$ ( $< 3$ )	34 (26)
LR03 - Bw1	202	126	182	510	536	271	807	1880	$< 5$	31
MG02 - Bi2	256 (336)	133 (128)	180 (115)	569	349 (33)	354 (399)	703	1765 (1,1)	$< 5$ ( $< 3$ )	26 (20)
MG10 - Bwc2	121	21	76	218	726	102	828	338	6	38
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>										
AE20 - Bw	185	52	95	332		46		648	8	73
RP36 - Bw	239 (165)	28 (22)	143 (36)	410	101 (5,2)	51 (51)	152	708 ( $< 0,10$ )	9 ( $< 3$ )	7 ( $< 8$ )
RP29 - Bw	78 (88)	20 (33)	65 (39)	163	174 (49)	32 (40)	206	510 ( $< 0,10$ )	9 ( $< 3$ )	13 ( $< 8$ )
LR05 - Bw	225	37	157	419	151	64	215	877	$< 5$	$< 5$
RP41 - Bw	92 (129)	49 (69)	140 (73)	281	69 ( $< 3$ )	33 (36)	102	876 (0,4)	8 ( $< 3$ )	9 ( $< 8$ )
RS15 - Bw2	159	17	119	295	54	27	81	216	$< 5$	17
AE10 - Bw	91	49	213	353		63		198	8	117
AE17 - Bt	60	48	140	248		37		800	8	70
UFLA - Bw	45	12	70	127	1514	166	1680	381	$< 5$	7

(...continua...)

TABELA 7, Cont.

Solo	Cu	Co	Zn	Soma <sup>1</sup>	Cr	Ni	Soma <sup>2</sup>	Mn <sup>3</sup>	Mo	Pb
----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>										
RP12 - Bw	58 (67)	18 (24)	97 (47)	173	312 (75)	33 (27)	345	697 ( $< 0,10$ )	16 (7)	85 (82)
CL01 - Bw	80 (65)	41 (18)	38 (46)	159		106 (68)		274 ( $< 0,10$ )	8 ( $< 3$ )	63 ( $< 8$ )
CV11 - Bw	190	180	118	488	4860	1691	6551	1135	8	6
RP17 - Bi	30 (62)	447 (327)	228 (146)	705	$>5000$ (5048)	$>5000$ (7710)		3350 (2,4)	6 ( $< 3$ )	$<5$ ( $< 8$ )
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>										
LR02 - Bw	54	37	99	190	561	71	632	959	$< 5$	19
PT09 - Bw2	15	26	25	66		30		171	$< 5$	60
PT09 - Bwc2	15	24	24	63		30		110	$< 5$	57
CB02 - Bi	21	7	51	79	87	10	97	133	$< 5$	18
RP46 - Bw	25 (20)	8 (23)	33 (18)	66	427 (356)	33 (23)	460	205 ( $< 0,10$ )	15 (5,3)	36 ( $< 8$ )
RP03 - Bw	13	4	22	39	150	14	164	43	13	5

<sup>1</sup>- Soma de Cu, Co e Zn; <sup>2</sup>- Soma de Cr e Ni; <sup>3</sup>- valores entre parênteses em g kg<sup>-1</sup>.

Com relação aos outros metais analisados, considerados em conjunto, é perceptível a menor concentração nos solos relacionados às rochas do Grupo Itabira, o que evidencia uma pobreza química quase generalizada no ambiente geológico de formação, sobretudo no que se refere ao itabirito, em que o cromo é o único elemento destoante, com teores relativamente elevados nos solos de maior desenvolvimento pedogenético dos topos e pedimentos (Tabela 7). Tal fato parece sugerir uma tendência à acumulação residual desse metal, em provável associação com os óxidos de ferro (Sparks, 1995; Trolard et al., 1995; Cornell & Schwertmann, 1996; King, 1996; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Alguns dos solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso, no entanto, nesse caso os menos evoluídos, apresentam para quase todos os metais analisados, à exceção do cromo, teores um pouco maiores, com destaque para o horizonte C do Ex08.

Mas se é distinta a pobreza em elementos-traço dos solos desenvolvidos dessas formações ferríferas, ainda mais evidente o é, em sentido contrário, a excessiva concentração de metais, sobretudo cromo e níquel, e em menor escala cobalto, naqueles relacionados a serpentinitos e, em parte, a rochas de natureza ultrabásica. Os teores registrados atingem níveis tais que suscitam inclusive a possibilidade de toxicidade para as plantas, assim como potencial risco poluidor, com até  $18 \text{ g kg}^{-1}$  de Cr, no Ex09 e Ex10, ou mais de  $5 \text{ g kg}^{-1}$  de Ni no RP17, ou ainda  $1293 \text{ mg kg}^{-1}$  de Co e  $399 \text{ mg g kg}^{-1}$  de Zn, também no Ex09, muito superiores, por exemplo, aos altos teores registrados em solos desenvolvidos de rochas ultrabásicas do Rio Grande do Sul (Pinto & Kämpf, 1997); apenas o cobre tende a ocorrer em concentrações inferiores. A concentração de cromo em um Latossolo desenvolvido de gabro (UFLA) é também destacada (Tabela 7). A excessiva abundância de metais em solos desenvolvidos de serpentinitos e outras rochas ultrabásicas é bem conhecida e documentada, inclusive quanto à

influência deletéria sobre a vegetação (Vidal-Torrado et al., 2007). Esse fenômeno, no entanto, não foi observado no caso dos solos deste estudo.

Tendências semelhantes quanto ao teores desses metais é verificada também para a fração argila.

A análise de componentes principais não revelou nenhuma tendência definida entre teores de elementos-traço e os diversos parâmetros avaliados (pH, valor T, valor V, óxidos do ataque sulfúrico, teor de argila e magnetização). A grande dispersão de valores é bem exemplificada pelas baixas correlações entre esses elementos, considerados em conjunto, ou mesmo individualmente, frente aos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico (Figura 4) e à magnetização da terra fina (Figura 5). O principal fator a influenciar o conteúdo desses metais nos solos, parece ser mesmo o material de origem, apesar de tratar-se, em sua maioria, de solos muito intemperizados (Latosolos), corroborando dados de Curi (1983) e Curi & Franzmeier (1987).

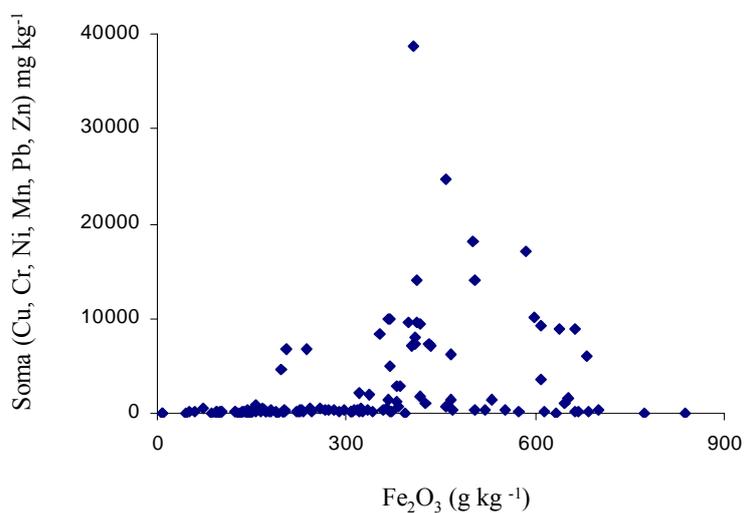


FIGURA 4. Relação entre conteúdo total de elementos-traço e teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do ataque sulfúrico em horizontes selecionados de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem.

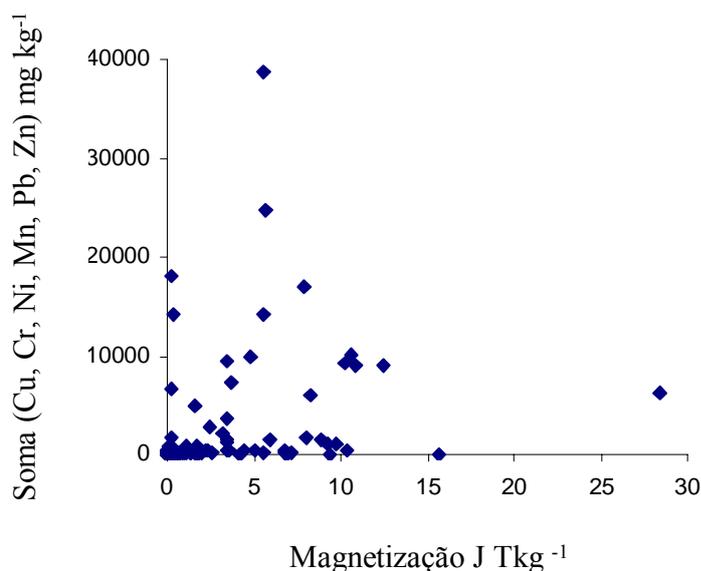


FIGURA 5. Relação entre conteúdo total de elementos-traço e magnetização determinada na terra fina seca ao ar de horizontes selecionados de solos desenvolvidos de diferentes materiais de origem.

### 5.7 Classificação de solos

O enquadramento taxonômico dos solos estudados, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), e o esquema anteriormente usado no Brasil (Embrapa, 1981; Camargo et al., 1987; Oliveira et al., 1992), é apresentado na Tabela 8.

Da comparação entre eles, destacam-se três aspectos principais. O primeiro diz respeito aos solos que apresentam quantidades expressivas de petroplintita na fração grosseira (superior a 50%), característica distintiva de horizonte concrecionário pela versão atual do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), o segundo refere-se à cor como critério

exclusivo de diferenciação de classes em segundo nível categórico (em especial no que se refere aos Latossolos), e o terceiro ao teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (obtido pelo ataque sulfúrico na terra fina seca ao ar), como limite para reconhecimento do caráter perférrico ( $360 \text{ g kg}^{-1}$ ).

O primeiro caso envolve uma questão conceitual básica, que remete a um dos princípios que fundamentam a classificação de solos, como vem sendo desenvolvida no Brasil: o caráter morfogenético (Camargo et al., 1987). Nele expressa-se a conexão necessária entre esses dois fatores na estruturação do sistema de classificação, em relação direta, portanto, com a conceituação de horizontes diagnósticos. Desse modo, na medida em que apenas a ocorrência de concreções ferruginosas na fração grosseira é suficiente para distinção do horizonte concrecionário, conforme reconhecido na mais recente edição do SiBCS (Embrapa, 2006), a pedogênese não está sendo considerada. Por essa razão, solos de grau de desenvolvimento pedogenético e características muito contrastantes são agrupados em uma mesma classe. Embora tal discrepância não seja muito distinta dentre os solos estudados, já que inseridos num mesmo ambiente, a comparação dos solos do Quadrilátero Ferrífero, ou da região de Patos de Minas (MG10), enquadrados como Plintossolos Pétricos, e outros dessa mesma classe situados no ambiente da baixada Cuiabana, por exemplo, sugere a necessidade de revisão do critério atual.

TABELA 8. Classificação dos solos estudados pelo antigo esquema de classificação adotado no Brasil e pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação e Solos (Embrapa, 2006).

Solo	Classificação	
	Antiga <sup>1</sup>	SiBCS <sup>2</sup> (Embrapa, 2006)
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (topo)</b>		
P02	LR/LFd petroplântico	FFc latossólico
Ex14	PPd (??) Ferrífero?	FFlf típico
Ex17	CFd petroplântico	FFc cambissólico
Ex20	LFd	LVj típico
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (encosta)</b>		
Ex06	CFd endopetroplântico	CXj típico
Ex15	RFd	RLd fragmentário
Ex19	CFd petroplântico	CXj típico (não está previsto o petroplântico)
Ex18	CFd petroplântico	CXj típico (não está previsto o petroplântico)
<b>Solos desenvolvidos de itabirito (pedimento)</b>		
Ex04	LFd endopetroplântico	LVj húmico (não está previsto o petroplântico)
Ex16	LFd endopetroplântico	LVj típico (não está previsto o petroplântico)
Ex12	LFd	LVj típico
Ex13	LFd câmbico	LVj cambissólico
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Moeda)</b>		
P09	LFd câmbico petroplântico	FFc latossólico
P04	CFd petroplântico	FFc cambissólico
Ex08	LFd petroplântico pouco profundo	FFc latossólico
Ex05	LRd (ou LFd?) pouco profundo	LVwf típico
<b>Solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso (Gandarela)</b>		
P01	CFd latossólico petroplântico	CXj latossólico (não está previsto o petroplântico)
P25	LFd endopetroplântico pouco profundo	LVj cambissólico (não está previsto o petroplântico)
P36	CFd latossólico	CXj latossólico
P37	CFd	CXj típico
Ex03	Cd	CXdf típico

(...continua...)

TABELA 8, Cont.

Solo	Classificação	
	Antiga <sup>1</sup>	SiBCS <sup>2</sup> (Embrapa, 2006)
<b>Solos desenvolvidos de serpentinito</b>		
P33	CFd latossólico	CXj latossólico
Ex09	LUE (ou LFe?)	LVAj* típico
Ex02	LFd	LVj típico
Ex10	LFd pouco profundo	LVj típico
<b>Solos desenvolvidos de outros materiais (QF)</b>		
P16	LRd endopetroplântico	LVwf petroplântico
P21	LRd câmbico endopetroplântico	LVwf petroplântico (não está previsto o cambissólico)
Ex11	LEd	LVw típico
P24	LEd	LVw típico
<b>Solos desenvolvidos de tufo</b>		
MG07	LRd	LVwf típico
MG16	LRd	LVj típico
MG17	LRd	LVAj* típico
LR03	LRd	LVj típico
MG02	CFe latossólico	CXj latossólico
MG10	LUd petroplântico pouco profundo	FFe êndico
<b>Solos desenvolvidos de rochas basálticas</b>		
AE20	LRd	LVwf típico
RP36	LRa	LVdf típico
RP29	LRd	LVwf típico
LR05	LRd	LVdf típico
RP41	LFe câmbico pouco profundo	CXj latossólico
RS15	LBa	LBdf típico
AE10	LRd	LVwf típico
AE17	TRe	NVef típico
UFLA	LRd	LVwf típico
<b>Solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas</b>		
RP12	LUd endopetroplântico	LVAdf típico
CL01	LRd	LVwf típico
CV11	LRd (ou LFd?)	LVj típico
RP17	CFd (endopetroplântico?)	CXj típico

(...continua...)

TABELA 8, Cont.

Solo	Classificação	
	Antiga <sup>1</sup>	SiBCS <sup>2</sup> (Embrapa, 2006)
<b>Solos desenvolvidos de materiais diversos</b>		
LR02	LRd	LVwf típico
PT09	LE/LRd endopetr	LVw petroplíntico
CB02	Ca	CXdf típico
RP46	LRd	LVwf típico
RP03	LEd	LVw típico

<sup>1</sup> C - Cambissolo, CF - Cambissolo Ferrífero, LE - Latossolo Vermelho-Escuro, LF - Latossolo Ferrífero, LR - Latossolo Roxo, LU - Latossolo Una, PP - Plintossolo Pétrico, RF - Solo Litólico Ferrífero, a - álico, d - distrófico, e - eutrófico, / - intermediário.

<sup>2</sup> CX - Cambissolo Háplico, FF - Plintossolo Pétrico, LV - Latossolo Vermelho, LVA - Latossolo Vermelho-Amarelo, RL - Neossolo Litólico, (classificação até o segundo nível categórico), c - Concrecionário, d - Distrófico, df - Distróférico, j - Perférico, lf - Litoplíntico, w - Ácrico, wf - Acriférico (classes de terceiro nível categórico).

\* classificação sugerida por correlação com outras classes de solo (classe não prevista, no terceiro nível categórico, em Embrapa, 2006).

Quanto aos dois últimos, há muito são tema de discussão ao longo da trajetória evolutiva da classificação de solos no Brasil (Camargo et al., 1987; Reunião..., 1988). No caso da cor considerada de forma isolada na diferenciação de solos em nível taxonômico elevado, tendo como parâmetro a proporção de goethita e hematita, o universo de solos aqui estudado, com teores muito expressivos de maghemita, por vezes dominante em relação aos outros óxidos, indica que o critério atual de separação é insatisfatório. Desse modo, entende-se que a distinção adotada anteriormente pela classificação brasileira (Embrapa, 1988), com base em cor e teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtido pelo ataque sulfúrico seria mais adequada para representar a variabilidade de características, dentro desse conjunto de solos. Acresce-se a isso que o ordenamento taxonômico da classe dos Latossolos pelo esquema anterior apresenta-se de tal forma ajustado às

condições de “ambientes de solos” do país, que parece não ser exagero afirmar ser ela uma das principais contribuições da pedologia brasileira para a taxonomia e geografia de solos tropicais. Portanto, uma reavaliação de critérios taxonômicos adotado pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) parece necessária.

Com relação à definição do caráter perférrico, como observado por outros autores, parece pertinente a separação entre solos relacionados a itabiritos e rochas correlatas do Quadrilátero Ferrífero daqueles desenvolvidos de materiais de natureza mais básica. É sugerida assim a adoção do valor 0,10 da relação molecular  $TiO_2/Fe_2O_3$ , em conjunto com teores de  $Fe_2O_3$  iguais ou superiores a  $330\text{ g kg}^{-1}$ , na distinção desse caráter.

Ainda uma questão de relevância menor diz respeito ao enquadramento taxonômico em quarto nível categórico, que em razão do sistema de chave utilizado na classificação de solos atual, muitas vezes solos de caráter transicional, acabam sendo enquadrados como típicos, por não estar contemplada a possibilidade de distinção nesse nível, conforme exemplificado na Tabela 8. Como sugerido por Benedetti (2006), talvez fosse mais adequado, no atual estágio de desenvolvimento, que o enquadramento taxonômico nesse nível categórico fosse realizado de forma aberta, possibilitando a diferenciação de solos a partir de critérios e nomenclatura definidos de maneira geral, para em etapa posterior se estabelecer as classes de forma mais específica.

## **6 Conclusões**

Ao lado dos teores extraordinariamente elevados de óxido de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico e pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, os solos do Quadrilátero Ferrífero (MG) diferenciam-se pela intensa cor vermelha e

expressiva ocorrência de maghemita, que, ao lado de hematita e goethita, constituem os minerais dominantes na fração argila. Em vista desse fato, é questionada a utilização da cor como critério exclusivo de distinção taxonômica em nível de subordem, conforme adotado pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, e sugerido que os teores óxido de ferro sejam considerados em conjunto com a cor na distinção de solos em segundo nível categórico, à semelhança do critério utilizado para a diferenciação de Latossolos, pelo esquema de classificação anteriormente adotado no Brasil.

A constituição oxídica marcante dos solos estudados foi independente do grau de desenvolvimento pedogenético e fortemente influenciada pelo material de origem. Os valores de substituição em Al na goethita e maghemita indicam diferentes populações desses óxidos de ferro em associação com o caráter poligenético da maioria dos solos caracterizados.

Em alguns solos desenvolvidos de dolomitos ferruginosos da Formação Gandarela, que se distinguem por uma coloração notadamente escurecida, foi registrada a presença inequívoca de todoroquita, óxido de manganês cuja identificação em solos é muito pouco comum, além de teores muito elevados de manganês na fração argila, o que evidencia a natureza peculiar desses solos.

Foi também observada uma clara diferenciação entre os solos estudados quanto ao conteúdo total de elementos-traço em função do material de origem, o que parece justificar sua distinção taxonômica: aqueles solos relacionados a itabirito e a dolomito ferruginoso apresentam teores muito inferiores desses elementos em comparação com os desenvolvidos de tufito e basalto, enquanto nos solos derivados de serpentinito as concentrações de alguns dos elementos analisados, em especial cromo e níquel, são extremamente elevadas, sugerindo inclusive potencial poluidor. O valor 0,10 da relação molecular entre o conteúdo de óxidos de titânio e de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico ( $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) mostrou ser um limite adequado para a distinção dos solos desenvolvidos de

tufito e de basalto daqueles relacionados a materiais ferríferos e a rochas básico-ultrabásicas.

Alguns solos do Quadrilátero Ferrífero apresentaram abundância de concreções ferruginosas (petroplintita) na fração grosseira (calhaus e cascalhos), o que levou ao seu enquadramento na classe dos Plintossolos Pétricos, a despeito das condições pedogenéticas muito distintas em relação ao ambiente de formação de plintita, a par de outras características morfológicas diferenciais. Dessa forma, face à incongruência com o caráter morfogenético considerado como princípio básico da classificação de solos, é questionada a figura do horizonte concrecionário como horizonte diagnóstico, conforme definido pelo sistema de classificação de solos em vigor (Embrapa, 2006), e sugerida a necessidade de reavaliação desse critério de distinção taxonômica, assim como da pertinência do enquadramento de tais solos na classe em questão.

## 7 Referências Bibliográficas

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; BERTON, R.S. Análise química de solo para metais pesados. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.645-692.

BENEDETTI, M.M. **Estruturação e atualização da classificação pedológica de uma base de dados de perfis de solos do Brasil**. 2006. 110f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 780p. (Levantamento de recursos naturais, 32).

BRAUN, O.P.G. Contribuição à geomorfologia do Brasil central. **Revista Brasileira de Geografia**, v.32, n.3, p.3-39, 1971.

BRYANT, R.B.; MACEDO, J. Differential chemoreductive dissolution of iron oxides in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, p.819-821, 1990.

CAMARGO, M.N. Proposição preliminar de conceituação de Latossolos Ferríferos. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Conceituação sumária de algumas classes de solos recém-reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS**. Rio de Janeiro, 1982. p.29-31. (Circular técnica, 1).

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.

CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. 2.ed. Ottawa, 1978. 212p.

COEY, J.M.D.; CUGAT, O.; McCAULEY, J.; FABRIS, J.D. A portable soil magnetometer. **Revista Física Aplicada Instrumental**, v.7, p.25-30, 1992.

CORNELL, R.M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses**. Weinheim: VCH, 1996. 573p.

COSTA, A.C.S. da; BIGHAM, J.M.; RHOTON, F.E.; TRANIA, S.J. Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clay Minerals**, Denvers, v.47, n.4, p.466-473, 1999.

COSTA, S.A.D. **Caracterização de solos desenvolvidos de itabirito no Quadrilátero Ferrífero - MG**. 2003. 71p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais states, Brazil**. 1983. 158f. Thesis (Ph.D.)-Purdue University, West Lafayette, Indiana.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.48, p.341-346, 1984.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.51, p.153-158, 1987.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.765-772, 2003.

DOWDING, C.E.; FEY, M.V. Morphological, chemical and mineralogical properties of some manganese-rich oxisols derived from dolomite in Mpumalanga province, South Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v.141, p.23-33, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos: 2ª aproximação**. Rio de Janeiro, 1981. 107p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro, 1988. 67p. (Documentos, 11).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERNANDES, R.B.A. **Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste Brasileiro**. 2000. 265p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FEY, M.V.; Le ROUX, J. Properties and quantitative estimation of poorly crystalline components in sequioxidic soil clays. **Clays and Clay Minerals**, v.25, p.285-294, 1977.

FITZPATRICK, R.W.; SCHWERTMANN, U. Al-substituted goethite - an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v.27, p.335-347, 1982.

FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Iron oxides in selected brazilian Oxisols: I. mineralogy. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.55, p.1143-1149, 1991.

HSU, P.H. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.331-378.

INDA JUNIOR, A.V. **Caracterização de goethita e hematita em solos poligenéticos**. 2002. 126p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

INDA JUNIOR, A.V.; KÄMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, p.851-866, 2005.

JEANROY, E.; RAJOT, J.L.; PILLON, P.; HERBILLON, A.J. Differential dissolution of hematite and goethite in dithionite and its implication on soil yellowing. **Geoderma**, Amsterdam, v.50, p.79-94, 1991.

JONES, R.C. X-ray diffraction line profile analysis vs.phosphorus sorption by 11 Puerto Rican soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.45, p.818-825, 1981.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton: CRC, 2001. 413p.

KÄMPF, N.; AZEVEDO, A.C. Óxidos de manganês em solos do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, GO. **Resumos...** Goiânia: SBCS, 1993. v.1, p.239-240.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.107-138.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; VENEGAS, V.H.A. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.1-54.

KÄMPF, N.; KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Óxidos de ferro em latossolos do Brasil sul e sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. p.153-184.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Quantitative determination of goethite and hematite in kaolinitic soils by X-ray diffraction. **Clay Minerals**, London, v.17, n.3, p.359-363, 1982a.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and Clay Minerals**, Denvers, v.30, p.401-408, 1982b.

KER, J.C. **Caracterização química, física, mineralógica e morfológica de solos brunos subtropicais**. 1987. 149f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. 181f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

KER, J.C.; MOTTA, P.E.F. da; RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A. de; ARAÚJO, W.S. Elementos traços em Latossolos Roxos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, GO. **Resumos...** Goiânia: SBCS, 1993. v.2, p.319-320.

KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.R. Roteiro da excursão pedológica Viçosa - Sete Lagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1995. 47p.

KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v.18, n.2, p.147-265, 1956.

KING, L.D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.823-836.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: SBCS-Embrapa/CNPS, 1996. 83p.

LIMA, J.M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.85-90, 1990.

McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. **PC-ORD**: multivariate analysis of ecological data. Version 4. Oregon: MjM Software Design, 1999. 237p.

McKENZIE, R.M. Manganese oxides and hydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.439-465.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Proceeding Nat. Conf. Clays and Clay Minerals**, London, v.7, p.317-327, 1960.

MOTTA, P.E.F. **Fósforo em latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados**: fracionamento, sorção e disponibilidade para soja e braquiária com e sem micorriza. 1999. 157p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MOTTA, P.E.F.; KÄMPF, N. Iron oxide properties as support to soil morphological features for prediction of moisture regimes in Oxisols of Central Brazil. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v.155, p.385-390, 1992.

MOUKARIKA, A.; O'BRIEN, F.; COEY, J.M.D.; RESENDE, M. Development of magnetic soil from ferroan dolomite. **Geophysical Research Letters**, v.18, n.11, p.20433-2046, 1991.

MUGGLER, C.C. **Polygenetic oxisols on tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil:** soil genesis and landscape development. 1998. 186p. Thesis (Ph.D. in Agronomy)-Wageningen Agricultural University, Wageningen.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil:** guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

OLIVEIRA, T.S. de. **Metais pesados como indicadores de materiais de origem dos solos.** 1996. 142f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, V. de; COSTA, A.M.R. da; AZEVEDO, W.P. de; CAMARGO, M.N.; ITURRI, L.J.O. Pedologia: levantamento exploratório de solos. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória.** Rio de Janeiro, 1983. p.385-552. (Levantamento de recursos naturais, 32).

PALMIERI, F. A study of a climosequence of soils derived from volcanic rock parent material in Santa Catarina and Rio Grande do Sul States, Brazil. 1986. 259f. Thesis (Ph.D.)-Purdue University, West Lafayette, Indiana.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Solos derivados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.20, p.447-458, 1996.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Balanço geoquímico de solos derivados de rochas básico-ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.651-658, 1997.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil.** 1976. 237f. Thesis (Ph.D.)-Purdue University, West Lafayette, Indiana.

RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.C.F.; BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.17-23, 1987.

RESENDE, M.; CURTI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros:** interpretação e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192p.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5.ed. rev. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

RESENDE, M.; SANTANA, D.P.; FRANZMEIER, D.P.; COEY, J.M.D. Magnetic properties of Brazilian oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8., 1986, Rio de Janeiro, RJ. **Proceedings**... Rio de Janeiro: Embrapa/SMSS/ATD/UPR, 1988. pt.1, p.78-108.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro, RJ. **Anais**... Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. 425p. (Documentos, 12).

REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro, RJ. **Súmula**... Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1979. 83p. (Série miscelânea, 1).

SANTANA, D.P. **Soil formation in a toposequence of Oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais State, Brazil**. 1984. 129f. Thesis (Ph.D.)-Purdue University, West Lafayette.

SCHAEFER, C.E.G.R.; FABRIS, J.D.; KER, J.C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, London, v.43, p.137-154, 2008.

SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides: 8. unit-cell dimensions of Al substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays and Clay Minerals**, Boulder, v.32, p.36-44, 1984.

SCHULZE, D.G.; SCHWERTMANN, U. The influence of aluminum on iron oxides X: properties of Al-substituted goethites. **Clay Minerals**, London, v.19, p.521-539, 1984.

SCHWERTMANN, U. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. **Advances in Soil Science**, v.1, p.171-200, 1985.

SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A.; SCHWERTMANN, U. (Ed.). **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht: D.Reidel, 1988. p.267-308.

SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In: BIGHAM, J.M.; CIOLKOSZ, E.J. (Ed.). **Soil color**: proceedings of a symposium sponsored by Division S-5 and S-9 of the Soil Science Society of America, San Antonio, Texas, 1990. Madison: Wisconsin, 1993. cap.4, p.51-69. (SSSA special publication, 31).

SCHWERTMANN, U.; FECHTER, H. The influence of aluminum on iron oxides: 11. aluminum-substituted maghemite in soils and its formation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.48, p.1462-1463, 1984.

SCHWERTMANN, U.; FITSPATRICK, R.W.; TAYLOR, R.M.; LEWIS, D.G. The influence of aluminum on iron oxides: part II: preparation and properties of Al-substituted hematites. **Clays and Clay Minerals**, Boulder, v.27, p.105-112, 1979.

SCHWERTMANN, U.; GASSER, U.; STICHER, H. Chromium-for-iron substitution in synthetic goethites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v.53, p.1293-1297, 1989.

SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of southern and central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v.139, p.344-350, 1985.

SCHWERTMANN, U.; LATHAM, M. Properties of iron oxides in some New Caledonian Oxisols. **Geoderma**, Amsterdam, v.39, p.105-123, 1986.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.379-438.

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A. de. Pedologia. In: **PROJETO APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005. v.5, partes A-B. (Série programa informações básicas para a gestão territorial - GATE).

SILVA, S.L. da; MONTEIRO, E.A.; BALTAZAR, O.F.; ZUCCHETTI, M. Geologia. In: **PROJETO APA Sul RMBH**: estudos do meio físico. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. v.1, 1 mapa. (Série programa informações básicas para a gestão territorial - GATE).

SINGH, B.; GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soils of south-western Australia. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.43, p.77-98, 1992.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic, 1995. 267p.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. The reductive dissolution of synthetic goethite and hematite in dithionite. **Clay Minerals**, London, v.22, p.329-337, 1987.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; SCHULZE, D.G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. **Geoderma**, Amsterdam, v.23, p.191-208, 1980.

TROLARD, F.; BOURRIE, G.; JEANROY, E.; HERBILLON, A.J.; MARTIN, H. Trace metals in natural iron oxides from laterites: a study using selective kinetic extraction. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.59, n.7, p.1285-1297, 1995.

VIDAL-TORRADO, P.; CALVO, R.; MACIAS, F.; CARVALHO, S.G.; SILVA, A.C. Evolução geoquímica e mineralógica em perfis de alteração sobre rochas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, p.1069-1083, 2007.

VARAJÃO, C.A.C. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG**: micromorfologia, geoquímica, geomorfologia e sensoriamento remoto. 1988. 212f. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação)-Universidade de São Paulo, São Paulo.

VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; MOTTA, P.E.F. da. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.133-141, 2003.

ZELASNY, L.W.; WHITE, G.N. The pyrophyllite-talc group. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.527-550.

**PARTE II**

**SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO SILVICULTURAL DAS  
TERRAS DOS TABULEIROS COSTEIROS PARA EUCALIPTO**

## 1 Resumo

CARVALHO FILHO, Amaury de. Sistema de avaliação da aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros para eucalipto. In: \_\_\_\_\_. **Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros**. 2008. Parte II, p. 156-225. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

Face à forte expansão da cultura do eucalipto nos Tabuleiros Costeiros e ausência de critérios mais específicos para avaliação das potencialidades de uso das terras da região, foi elaborado um método para avaliação da aptidão silvicultural para essa cultura, nesse ecossistema. Foram adotados os conceitos básicos do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras utilizado pela Embrapa, estabelecendo-se parâmetros e simbolização próprios para avaliação da aptidão silvicultural, considerando a cultura do eucalipto naquele ecossistema específico, e dois níveis de manejo (médio e alto nível tecnológico). A partir dos critérios estabelecidos, e informações sobre características ambientais e de solo, foi elaborado um sistema informatizado, no programa Microsoft Excel<sup>®</sup>, que possibilita a avaliação automática da aptidão silvicultural. Com base em testes de aferição realizados, o método proposto mostrou-se constituir ferramenta importante tanto para avaliação de áreas restritas, como para planejamentos de uso da terra e zoneamentos diversos, e também como apoio substancial para a silvicultura de precisão. Esse sistema ainda deverá evoluir ao longo de um processo de validação e ajustes que considere os resultados da produtividade de diferentes clones de eucalipto em unidades de paisagem distintas, dentro do ambiente em questão.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS).

## 2 Abstract

CARVALHO FILHO, Amaury de. Forestry suitability system of the Coastal Plains land for eucalyptus. In: \_\_\_\_\_. **Soils and environments of the Ferriferous Quadrangle (MG) and forestry suitability of the Coastal Plains**. 2008. Part II, p. 156-225. Thesis (Doctorate in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil<sup>1</sup>.

In view of the strong expansion of the eucalyptus crop in the Coastal Plains and an absence of more specific criteria for evaluation of the land use potential of the area, a method was elaborated for the evaluation of the forestry suitability in that ecosystem. It were adopted the basic concepts of the land agricultural suitability system used by Embrapa, establishing their own parameters and symbolization for evaluation of the forestry suitability, considering the eucalyptus crop in that specific ecosystem, and two management levels (medium and high technological level). Starting from the established criteria, and informations on environmental and soil characteristics, a computerized system was elaborated, in the Microsoft Excel<sup>®</sup> program, which makes the automatic evaluation of the forestry suitability possible. Based on checking tests carried out, the proposed method was shown to constitute an important tool for evaluation of restricted areas, as well as for land use planning and various zonings, and also as substantial support for precision silviculture. This system should still develop along a validation and adjustment process which considers the results of the productivity of different eucalyptus clones in units of distinct landscape, within the environment in question.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Nilton Curi (UFLA/DCS).

### 3 Introdução

Devido à sua importância econômica e social, as plantações florestais no Brasil, estimadas em cerca de sete milhões de hectares, predominantemente de eucalipto e pinus, desempenham relevante papel estratégico para o país. A cadeia produtiva de florestas, que em 2001 movimentou 21 bilhões de dólares, aproximadamente 4% do PIB (Barros & Comerford, 2002), gera atualmente 500 mil empregos diretos e 1,5 milhão de empregos indiretos (Garlipp, 2004), e face ao crescimento da demanda mundial de madeira projetado para os próximos anos, a atividade deve se ampliar ainda mais.

Em resposta a essa tendência, verificou-se nas duas últimas décadas uma grande expansão da cultura do eucalipto, na região dos Tabuleiros Costeiros do norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Apesar do volume de conhecimentos adquiridos sobre essa cultura, no contexto desse ecossistema, ainda não se dispõe de um documento que realize a integração das principais variáveis envolvidas, no sentido de estabelecer critérios mais específicos para avaliar-se a potencialidade de uso das terras dos Tabuleiros com eucalipto.

No Brasil, os trabalhos de avaliação de terras para fins agrícolas têm, em geral, tomado como base o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso (Marques, 1971; Lepsch et al., 1983), bastante ajustado a avaliações de glebas menores e que dispõem de mapeamento de solos em nível de maior detalhe, mas que, apesar do caráter intuitivo e simples de apresentação, por considerar um grande número de variáveis de forma isolada, apresenta sérias restrições a interpretações de maior abrangência geográfica (Resende et al., 2007), e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Bennema et al., 1965; Ramalho Filho et al., 1978, 1983; Ramalho Filho & Beek, 1995), adotado pela Embrapa. Esse último constitui um método bastante flexível, que permite ajustes a condições específicas, além de acrescentar uma inovação em relação a todas as

concepções anteriores, ao realizar a avaliação das terras a partir de cinco parâmetros básicos considerados fundamentais para o desenvolvimento das culturas, numa síntese das qualidades do ecossistema, em vez de ater-se a atributos isolados. Inclui também uma avaliação das potencialidades do ambiente, de acordo com diferentes níveis tecnológicos e de utilização de insumos, num reconhecimento de grande importância para as condições brasileiras de que as necessidades de uso da terra são distintas quando se consideram grandes e pequenos produtores (Resende et al., 2007).

Esse sistema tem sido bastante utilizado no Brasil, principalmente para planejamento de grandes áreas a partir da interpretação de levantamentos de solos, embora careça de maior desenvolvimento para aplicações mais específicas. Ademais, a atividade silvicultural, além de considerada num contexto inespecífico quanto à espécie florestal, é contemplada apenas como alternativa secundária em relação à exploração com lavouras, e somente em condições moderadas de aplicação de recursos econômicos e tecnológicos.

Desse modo, com o objetivo de estabelecer critérios que balizem a avaliação das terras dos Tabuleiros Costeiros para a exploração com eucalipto, é apresentada a seguir uma adaptação e adequação do sistema de avaliação da aptidão agrícola, para aquela cultura e ecossistema específicos, considerando-se dentro da atividade silvicultural dois níveis de manejo: de médio e alto grau de aporte de insumos e tecnologia; na representação das classes de aptidão são ainda incorporados elementos inerentes ao método de avaliação da capacidade de uso acima referido.

## 4 O Ecossistema dos Tabuleiros Costeiros e a Cultura do Eucalipto

### 4.1 Os Tabuleiros Costeiros

Desde o litoral do Rio de Janeiro, nas proximidades de Macaé, para o Norte, a costa brasileira é margeada por uma sucessão de baixos platôs, que à retaguarda dos cordões arenosos das restingas e praias, ora em faixa mais estreita ora mais ampla, e por vezes interrompidos em certos trechos (Jacomine, 1974), antepõem-se aos terrenos cristalinos dissecados do interior (Figura 1). Constituem extensas superfícies tabulares, dissecadas por vales estreitos e encaixados, “como se fossem mesas isoladas” (Maio, 1962; Jacomine, 1974). Quando mais próximos da linha da costa, é comum a ocorrência de falésias (barrancos escarpados à beira-mar), que expõem, em seus estratos inferiores, uma mistura de tons de vermelho e branco. São as *barreiras*, de onde provém a denominação da formação geológica que engloba os sedimentos terciários que os constituem.

A área relacionada aos Tabuleiros Costeiros, no Brasil, é estimada em 100.000 km<sup>2</sup> (Souza, 1996), com aptidão inequívoca para culturas perenes (Resende et al., 2002). Em razão da extensa faixa de latitudes em que ocorrem, vários tipos climáticos (de acordo com a classificação de Köppen) são observados: desde clima semi-árido muito quente (BSh'), no sertão de Pernambuco, Bahia e Piauí, a climas tropicais chuvosos de monção (Am, Ams') no litoral sul e oriental da Bahia, respectivamente, ou caracterizados por marcante estação seca no verão (As') – clima típico do litoral nordeste a partir de Salvador, ou no inverno (Aw), que ocorre na faixa litorânea a sul (Jacomine, 1996). Mesmo em distâncias mais curtas, diferenças de pluviosidade são indicadas pelas variações no aspecto da vegetação original de floresta, que vai do caráter perenifólio ao subcaducifólio (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2000). Predominam todavia, em toda a área, forte



## 4.2 Solos

Em contraste com a grande variedade de cores das camadas inferiores da Formação Barreiras, os solos dominantes no ecossistema dos Tabuleiros – Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos, estes com expressão geográfica bem inferior –, distinguem-se pela coloração homogênea de tom amarelo-claro do horizonte B, associada a teores de ferro bastante reduzidos. Em geral de textura média ou argilosa, apresentam elevados conteúdos de caulinita na fração argila, com ocorrência quase exclusiva de quartzo na fração areia. Outra característica dominante diz respeito à baixa fertilidade natural, além da presença de uma camada adensada em subsuperfície, em geral coincidente com o topo do horizonte B (Jacomine, 1996; Corrêa et al., 2008). As duas últimas características, como se verá, exercem forte influência sobre as condições silviculturais das terras. É também freqüente a tendência a apresentarem diferença de textura entre os horizontes A e B, fator que distingue os Latossolos Amarelos, caracterizados por menor variação textural em profundidade, dos Argissolos Amarelos, nos quais essa variação é mais expressiva. A ocorrência de solos com mudança textural abrupta (grande aumento do conteúdo de argila em uma faixa de espessura muito estreita) é inclusive bastante comum. Os Argissolos Amarelos predominam ainda nas encostas declivosas que guarnecem os vales mais encaixados, em cuja porção superior muitas vezes verifica-se a ocorrência de pedregosidade, referente a concreções ferruginosas dispostas em leitos ou camadas (Embrapa, 2000).

Com abrangência bem mais restrita, ocorrem também Espodosolos, Plintossolos, Planossolos, Gleissolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos Acinzentados. Em geral, estão associados a depressões semicirculares que constituem cabeceiras de drenagem ou pequenos abaciados dispersos sobre a planura dos platôs litorâneos, onde condições de pior drenagem propiciam o desenvolvimento de feições pedológicas próprias, como as cores menos

cromadas (distintivas dos Argissolos Acinzentados), ou mesmo cinzentas, no caso de Gleissolos e Planossolos, ou ainda a formação de plintita, assim como de horizonte B espódico, típico das áreas de muçununga<sup>1</sup>. Restrições de drenagem parecem também influir de forma determinante no desenvolvimento de fragipãs (Jacomine, 1974), horizontes compactos, muito adensados, que se apresentam bastante endurecidos quando secos e quebradiços quando úmidos, que são muito comuns nos Espodossolos, e mesmo nos próprios Argissolos Amarelos (Reunião..., 1995), sobretudo nas faixas de transição para as áreas abaciadas, em que a presença de mosqueados ou plintita é também freqüente.

#### **4.3 Características dos solos e suas relações com a cultura do eucalipto**

Quando objetiva-se uma avaliação para uso florestal das terras, o conhecimento sobre as características do ambiente, em suas inter-relações com a cultura, ou culturas, que se deseja implantar, é fator decisivo para uma estimativa adequada das potencialidades e riscos do empreendimento.

O eucalipto é uma planta que apresenta uma grande plasticidade ambiental, por sua enorme resistência às condições adversas do meio. Dois fatores porém são primordiais para seu desenvolvimento, com reflexos decisivos para uma exploração economicamente viável, que são a disponibilidade de água e seu excesso. No ecossistema em questão, as condições de insolação e temperatura são bastante favoráveis à grande maioria das culturas, mas as variações quanto ao regime pluviométrico são muito significativas, com maiores restrições para o eucalipto em áreas sob tipos climáticos menos pluviosos (Aw ou mais secos), fator que se reflete no próprio aspecto da vegetação nativa, que na falta de informações mais precisas, pode auxiliar na avaliação das limitações envolvidas.

---

<sup>1</sup> Terra arenosa, úmida e fofa, relacionada a áreas abaciadas semicirculares no âmbito dos Tabuleiros Costeiros.

Ao lado dos fatores climáticos, relacionados principalmente à pluviosidade, as características dos solos assumem um papel primordial para a previsão do comportamento do eucalipto e escolha de práticas de manejo, no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros.

A maior parte dos solos desse ambiente apresenta características favoráveis ao uso com silvicultura, dentre as quais destaca-se a elevada profundidade e, principalmente, o relevo aplainado de extensões consideráveis, o que facilita sobremaneira as operações mecanizadas. Três características, porém, merecem destaque como fatores naturais restritivos a esse tipo de utilização: a baixa fertilidade dos solos, o adensamento subsuperficial e, em áreas menores, a deficiência de aeração.

É fato bastante conhecido a pobreza em elementos nutritivos no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, cujos solos apresentam muito baixos conteúdos de bases trocáveis. Na falta de minerais primários intemperizáveis no solo, que possam disponibilizar elementos nutritivos ao se decomporem, os nutrientes desse ecossistema estão ligados originalmente à biomassa (Resende et al., 1993). Desse modo, a retirada da vegetação nativa resultou numa diminuição do potencial nutricional do ambiente, assim como a prática rotineira da queima, que, por promover uma rápida mineralização da matéria orgânica, facilita a remoção dos nutrientes do sistema. O efeito dessa prática só não tem sido mais desastroso devido ao relevo aplainado, que reduz as perdas por erosão, aliado à ocorrência de uma camada adensada em profundidade que, por sua vez, dificulta a lixiviação. Constitui, assim, um ambiente relativamente fechado, no qual, como sugerido por Carmo et al. (1990), o conhecimento do teor de nutrientes exportado pelo eucalipto é um importante parâmetro auxiliar à recomendação de adubações de manutenção. Finalmente, merecem ser ressaltadas a relativa tolerância do eucalipto ao alumínio e a baixa capacidade de retenção de P nos

solos dos Tabuleiros Costeiros, aumentando a eficiência das adubações fosfatadas, principalmente de forma localizada.

Se por um lado a camada subsuperficial adensada contribui para a redução das perdas de nutrientes, resulta, por outro, em efeitos bem menos favoráveis. Devido à brusca redução de permeabilidade por ela imposta, basta uma pequena inclinação do terreno para provocar erosão superficial, principalmente nos solos de gradiente textural elevado, como é o caso dos Argissolos Amarelos, em particular os de caráter abrupto (Curi, 2000). Impõe também sérias restrições ao desenvolvimento radicular, o que tem conseqüências diretas sobre a capacidade de absorção de água e rendimento final da cultura, além de implicações referentes ao manejo, determinando a necessidade de subsolagem profunda, principalmente nos solos mais argilosos e nas áreas de menor pluviosidade (floresta subcaducifolia ou mais seca). Em casos extremos, chega a provocar queda de árvores (Carmo et al., 1990). Outro aspecto a considerar, face à necessidade de subsolagem, uma prática relativamente dispendiosa, diz respeito ao aumento dos custos de implantação dos povoamentos, tanto maiores quanto maior a densidade e espessura da camada adensada.

Nos locais mais rebaixados, a reduzida permeabilidade pode provocar ainda problemas de deficiência de aeração, como sugerem a ocorrência, quando mais próximo à superfície, de quantidades significativas de mosqueados de redução ou plintitas, assim como as cores acinzentadas de alguns solos, com sérios prejuízos ao desenvolvimento do eucalipto. Dependendo da profundidade do lençol freático, há nesses casos necessidade da construção de camalhões, com uso de grade *bedding*.

Também a presença de camada arenosa ou com teores de argila muito baixos, à superfície, tem efeitos sobre a disponibilidade de água. Em determinadas circunstâncias pode contribuir para a manutenção da umidade nas

camadas inferiores, por quebrar o fluxo capilar ascendente, além de protegê-las do efeito do vento e reduzir o fluxo de calor, em razão de sua baixa condutividade térmica. Noutras, pode ser prejudicial às plantas, em especial na fase inicial de desenvolvimento, por favorecer, no caso de veranicos, um rápido e drástico ressecamento (Carmo et al., 1990), impondo a necessidade de realizar-se a irrigação localizada de plantio. Exercem influência também no que se refere à disponibilização de nutrientes para as plantas (Barros et al., 1990).

Solos com camadas arenosas espessas, em geral relacionados às muçunungas, apresentam efeitos restritivos ainda mais acentuados, em razão da muito baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, elevada lixiviação e ressecamento rápido do solo, resultando em sérias limitações ao desenvolvimento do eucalipto, principalmente no caso dos Neossolos Quartzarênicos. Para os Espodosolos, a presença de fragipã ou horizonte B espódico pouco permeável em posição mais elevada no perfil, embora possa retardar o ressecamento do solo, conduz, por outro lado, à deficiência de oxigênio em períodos mais pluviosos, tanto mais que, em geral, estão relacionados a áreas deprimidas. Em vista disso, as muçunungas devem ser preservadas.

As principais limitações para o desenvolvimento do eucalipto no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros estão relacionadas, portanto, à deficiência de aeração, ou excesso de água, e à falta dela, além da baixa reserva de nutrientes disponibilizada pelo solo e o adensamento subsuperficial, razão porque as características acima mencionadas revestem-se de grande importância para orientar a avaliação dos sítios para uso com essa cultura. A relação entre clima e condições de solo devem portanto merecer atenção especial numa avaliação de potencialidade de uso com o eucalipto.

## 5 Princípios Metodológicos

São adotados, nesta proposição, os conceitos básicos e os critérios metodológicos estabelecidos inicialmente por Bennema et al. (1965) e aprimorados posteriormente por Ramalho Filho et al. (1978, 1983) e Ramalho Filho & Beek (1995). A capacidade de suporte das terras para exploração silvicultural é avaliada, portanto, pela comparação entre as limitações referentes às cinco qualidades tidas como básicas para qualquer tipo de exploração agrícola, quais sejam: fertilidade natural, deficiência de oxigênio (ou excesso de água), deficiência de água, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização, e as necessidades referentes à exploração florestal, estipuladas em um quadro-guia (ou tabela de conversão).

Para essa avaliação, toma-se hipoteticamente, como referência, um solo ideal: que não apresente problemas de fertilidade, deficiência de água e de oxigênio, não seja suscetível à erosão e nem ofereça impedimentos à mecanização. Como normalmente as condições das terras fogem a um ou vários desses aspectos, estabelecem-se diferentes graus de limitação (ou desvios –  $\Delta$ ) com relação ao solo de referência, para indicar a intensidade dessa variação.

Os graus de limitação são atribuídos às terras em condições naturais e também após o emprego de práticas de melhoramento compatíveis com diferentes níveis de manejo. Dentro da atividade silvicultural, são aqui considerados dois níveis de manejo: **SB** e **SC**, que refletem, respectivamente, nível tecnológico menos e mais elevado (Tabela 1), em correspondência com os níveis de manejo B e C do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho & Beek, 1995).

TABELA 1. Níveis de manejo considerados.

Nível de Manejo	Características
SB	- baseado em práticas silviculturais que refletem um nível tecnológico moderado: modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e da cultura do eucalipto.
SC	- baseado em práticas silviculturais que refletem um nível tecnológico mais elevado: aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e da cultura do eucalipto.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

Os graus de desvio referem-se, portanto, às limitações persistentes após a aplicação das medidas de redução previstas para cada um dos níveis de manejo, através do emprego de fertilizantes e corretivos, ou de técnicas como construção de camalhões, controle da erosão etc.

É realizada, assim, uma estimativa da viabilidade de melhoramento das limitações das condições silviculturais das terras, tendo em vista os níveis de manejo considerados. As terras consideradas passíveis de melhoramento parcial ou total são classificadas de acordo com as limitações persistentes.

Pela comparação entre os graus de limitação atribuídos às terras e os estipulados em um quadro-guia, elaborado para atender às condições ecológicas prevaletentes no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros (ver Tabela 9), são determinadas as classes de aptidão para a cultura do eucalipto: **Boa**, **Regular**, **Restrita** ou **Inapta**, que refletem o grau de intensidade com que as limitações afetam as terras (Tabela 2).

TABELA 2. Classes de aptidão silvicultural.

<b>Classe de Aptidão</b>	<b>Características</b>
Boa	- terras sem limitações significativas para a produção florestal sustentada, observando-se as condições do manejo considerado; pode haver um mínimo de restrições que não reduzem, expressivamente, a produtividade ou os benefícios, e não aumentam os insumos acima de um nível aceitável.
Regular	- terras que apresentam limitações moderadas para a produção florestal sustentada, observando-se as condições do manejo considerado; as limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos de forma a aumentar as vantagens globais a serem obtidas do uso; ainda que atrativas, essas vantagens são sensivelmente inferiores àquelas auferidas das terras de classe boa.
Restrita	- terras que apresentam limitações fortes para a produção florestal sustentada, observando-se as condições do manejo considerado; essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou aumentam os insumos necessários de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente.
Inapta	- terras não adequadas para a produção florestal sustentada.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

A classe de aptidão silvicultural, de acordo com os diferentes níveis de manejo, é definida em função do grau limitativo mais forte, referente a qualquer um dos fatores que influenciam a sua utilização florestal: deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

### **5.1 Parâmetros para avaliação da aptidão silvicultural**

Como preconizado pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola (Ramalho Filho & Beek, 1995), também nesta proposição a avaliação da aptidão

silvicultural é realizada a partir da estimativa dos graus de limitação das cinco qualidades básicas: deficiência de fertilidade, excesso de água (ou deficiência de aeração), deficiência de água, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. É importante ressaltar que esta avaliação deve considerar a viabilidade de melhoramento das limitações, de acordo com as práticas previstas para cada nível de manejo (Tabela 3). São aqui consideradas duas classes de viabilidade de melhoramento, representadas por algarismos sublinhados que acompanham as letras representativas dos graus de limitação no quadro-guia: 1 - indica melhoramento viável com práticas simples e pequeno emprego de capital; e 2 - indica viabilidade de melhoramento através de práticas intensivas e mais sofisticadas e considerável aplicação de capital, mas ainda economicamente compensador (Ramalho Filho & Beek, 1995).

Os graus de limitação atribuídos às terras correspondem, portanto, à limitação que persistir após a adoção de medidas de correção compatíveis com o nível de manejo em questão. Alguns fatores limitantes, no entanto, não são passíveis de melhoramento, como é o caso da deficiência de água, uma vez que a irrigação não se inclui entre as práticas de melhoramento previstas (a não ser na fase de implantação do povoamento), ou o impedimento à mecanização. Nesse caso, como a maior parte dos obstáculos tem caráter permanente, ou apresenta difícil remoção, os graus de limitação atribuídos às terras têm por termo de referência o emprego de máquinas motorizadas em condições naturais, nas diversas fases da operação florestal. Embora o melhoramento da deficiência de água não esteja previsto, são preconizadas algumas práticas de manejo que potencializam o aproveitamento da água disponível ou aumentam a retenção de umidade no solo (Tabela 3).

TABELA 3. Práticas referentes às classes de viabilidade de melhoramento das condições silviculturais das terras.

Classe 1 (Nível Tecnológico Médio)	Classe 2 (Nível Tecnológico Alto)
----- Deficiência de Fertilidade -----	
- adubação verde	- adubação com NPK e micronutrientes
- incorporação de esterco	- combinação da prática acima com
- correção do solo (calagem mais branda)	<i>mulching</i> (cobertura morta)
- adubação com NPK (mais branda)	- correção do solo (calagem mais intensiva)
----- Deficiência de Água -----	
- manutenção de cobertura morta ( <i>mulching</i> )	- irrigação no estágio inicial da cultura
- incorporação de restos vegetais	- manutenção de cobertura morta (restos de folhas, cascas, galhos etc.)
- faixas de retenção permanente	- subsolagem a profundidades de até 120 cm, para romper a camada de impedimento
- preparo mínimo de solo	- uso de hidrogel
----- Deficiência de Oxigênio -----	
- trabalhos simples de drenagem localizada (construção de pequenos drenos etc.)	- construção de camalhões (grade <i>bedding</i> )
----- Suscetibilidade à Erosão -----	
- disposição de talhões (maior comprimento transversal ao declive)	- canais escoadouros
- preparo mínimo de solo	- subsolagem profunda
- enleiramento de restos de cultura em nível	- faixas de retenção permanente
- cultivo em contorno	- interceptadores (obstáculos)
- área de pousio em faixa	- estruturas especiais (paliçadas, bueiros etc.)
- faixas de retenção permanente	- cultivo mínimo
- cobertura morta ( <i>mulching</i> )	- bacias de captação de água
- plantas de cobertura	
----- Impedimentos à Mecanização -----	
- não previstas	- construção de estradas e carregadores
	- sistematização do terreno
	- direção do trabalho da máquina em nível

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

### **5.1.1 Graus de limitação ou desvios**

Para orientar a avaliação das condições das terras dos Tabuleiros Costeiros para uso com eucalipto, foram definidos, a partir de conceitos estabelecidos em Ramalho Filho & Beek (1995), e características dessa espécie florestal, os parâmetros indicativos do grau de limitação referente a cada um dos cinco fatores básicos.

Para cada um deles são admitidos os seguintes graus de limitação: nulo (N), nulo a ligeiro (N/L), ligeiro (L), ligeiro a moderado (L/M), moderado (M), moderado a forte (M/F), forte (F) e muito forte (MF). Para deficiência de oxigênio, deficiência de água e suscetibilidade à erosão, são relacionados, também, alguns atributos ambientais indicativos dos respectivos graus de limitação.

#### Deficiência de Fertilidade

Devido à generalizada pobreza em elementos nutritivos os solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam forte limitação quanto à deficiência de fertilidade (Tabela 4), situação que implica em necessidade de correção dessa deficiência para viabilizar a exploração com silvicultura. A efetividade da adubação depende, no entanto, de uma série de fatores (Barros et al., 1990). É importante, desse modo, levar-se em consideração a dinâmica de nutrientes no sistema, seja no que diz respeito às perdas potenciais, seja quanto às interações que possam existir com as variáveis ambientais, como o regime hídrico, textura, densidade do solo etc. A escolha de formas e épocas de aplicação de insumos, em especial, pode ser muito dependente dessas condições.

TABELA 4. Graus de limitação por deficiência de fertilidade.

<b>Grau de limitação<sup>(1)</sup></b>	<b>Características</b>
N	Elevadas reservas de nutrientes. Ótimos rendimentos por mais de um ciclo do eucalipto.
L	Boas reservas de nutrientes. Boa produção por um ciclo do eucalipto, com pequena exigência para a manutenção do estado nutricional.
M	Reservas limitadas de um ou mais nutrientes. Bons rendimentos só nos anos iniciais, com rápido declínio após um ciclo do eucalipto.
F	Reservas muito limitadas de um ou mais nutrientes. Baixos rendimentos do eucalipto desde o início da exploração.
MF	Muito baixo conteúdo de nutrientes, com remotas possibilidades de exploração com eucalipto.

<sup>(1)</sup> N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

#### Deficiência de Água

Além do regime pluviométrico, a deficiência de água depende de outros fatores relacionados ao solo, como textura, tipo de argila, matéria orgânica, profundidade, adensamento e compactação etc., de cuja interação resulta um determinado regime hídrico, com influência direta sobre as plantas. Como a água é um fator essencial para o desenvolvimento de quaisquer culturas, sobretudo as florestais, a avaliação de sua disponibilidade assume grande importância na definição da aptidão das terras.

As diferenças no regime hídrico dos solos são indicadas, em certa medida, pela vegetação nativa, o que pode contribuir para uma estimativa dos graus de limitação referentes a essa característica (Tabela 5). Atributos dos

solos, no entanto, em sua relação com as condições climáticas, são também muito importantes nessa avaliação.

A presença de uma camada adensada em subsuperfície constitui uma característica dos solos dos Tabuleiros Costeiros, com influência direta sobre a disponibilidade de água. Por restringir tanto a infiltração de água como o desenvolvimento de raízes, tende a reduzir a disponibilidade de água dos solos, ainda mais que as camadas superficiais em geral apresentam baixa capacidade de retenção de água, em virtude dos menores teores de argila. O rompimento da camada adensada é, assim, essencial para reduzir a deficiência hídrica, sobretudo quando de constituição mais argilosa e nas áreas de clima mais seco, em que o problema tende a ser agravado.

Os solos com espessa camada arenosa à superfície (Neossolos Quartzarênicos e alguns Espodossolos com horizonte B espódico mais profundo) apresentam também sérias deficiências com relação à disponibilidade de água, que, em condições de clima um pouco mais seco, tornam marginal ou inviável a utilização com eucalipto.

TABELA 5. Graus de limitação por deficiência de água e relação com características ambientais dos Tabuleiros Costeiros.

<b>Grau de Limitação<sup>(1)</sup></b>	<b>Características</b>	<b>Indicadores Ambientais</b>
N	Não há deficiência de água em nenhuma época do ano (ausência de estação seca).	Vegetação nativa de floresta perenifólia.
N/L	Muito pequena deficiência de água disponível por um curto período durante o ano (1 a 2 meses).	Vegetação nativa de floresta perenifólia.
L	Pequena deficiência de água disponível durante 2 a 4 meses por ano.	Vegetação nativa de floresta subperenifólia.
L/M	Deficiência de água disponível não muito intensa durante 3 a 5 meses por ano, podendo ser mais acentuada em curtos períodos (veranicos).	Vegetação nativa de floresta subcaducifólia sobre solos com boa capacidade de armazenamento e disponibilidade de água ou de textura arenosa com restrições à infiltração a menos de 80 cm de profundidade.
M	Considerável deficiência de água disponível durante 4 a 6 meses por ano, ocorrência freqüente de veranicos.	Vegetação nativa de floresta subcaducifólia em solos com baixa disponibilidade de água, solos de textura arenosa com camada impermeável (fragipã, horizonte espódico endurecido, horizonte plíntico etc.) ou lençol freático entre 80 e 120 cm de profundidade.
M/F	Intensa deficiência de água disponível durante um período de 5 a 6 meses por ano (ou um pouco menos em solos com baixa disponibilidade de água), ocorrência freqüente de veranicos.	Vegetação nativa de floresta subcaducifólia de caráter acentuado; solos de textura arenosa e livres de impedimentos ou lençol freático a mais de 120 cm de profundidade.

(...continua...)

TABELA 5, Cont.

<b>Grau de Limitação<sup>(1)</sup></b>	<b>Características</b>	<b>Indicadores Ambientais</b>
F	Acentuada deficiência de água disponível durante um longo período, normalmente 6 a 8 meses por ano, ou um pouco menos em solos com baixa disponibilidade de água. Precipitação entre 600 e 800 mm anuais com irregularidade na sua distribuição e altas temperaturas.	Vegetação nativa de floresta caducifólia, transição de cerrado para caatinga e caatinga hipoxerófila.
MF	Severa deficiência de água por 8 a 10 meses por ano ou um pouco menos em solos com baixa disponibilidade de água.	Vegetação nativa de caatinga hiperxerófila ou mesmo ausente.

<sup>(1)</sup> N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário.  
 Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

#### Deficiência de Oxigênio

A maioria dos solos dos Tabuleiros Costeiros apresenta boas condições de drenagem, como evidenciam as cores amareladas de tons vivos (croma  $\geq 4$ ). A ocorrência em profundidade de camadas adensadas, de baixa permeabilidade, nesses solos pode resultar em alguma deficiência mas, em geral, é apenas ligeira e por períodos curtos. Tal deficiência tende a acentuar-se, todavia, em direção às áreas levemente mais rebaixadas, em que a presença de fragipã, horizontes espódicos endurecidos ou horizontes plínticos, e cores acinzentadas indicam condições de drenagem mais restrita, variáveis conforme as características dos solos e profundidade de ocorrência dessas feições.

Nessas condições, as características pedológicas apresentam bom potencial para serem utilizadas na avaliação dos graus de limitação por deficiência de oxigênio no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, como apresentado na Tabela 6.

TABELA 6. Graus de limitação por deficiência de oxigênio e relação com características ambientais dos Tabuleiros Costeiros.

<b>Grau de Limitação<sup>(1)</sup></b>	<b>Características</b>	<b>Indicadores Ambientais</b>
N	Boa aeração durante todo o ano. Solos bem a excessivamente drenados.	Solos de cores vivas, amareladas ou vermelho-amareladas (croma $\geq 4$ ) e sem mosqueamento acinzentado (de redução) até 150 cm de profundidade.
N/L	Boa aeração, ligeira restrição de drenagem apenas em camadas mais profundas. Solos bem a moderadamente drenados.	Solos de cores vivas com mosqueamento acinzentado ou camada de impedimento entre 120 e 150 cm de profundidade.
L	Pequena deficiência de aeração para cultivares mais sensíveis na estação chuvosa. Solos com drenagem moderada.	Solos com camada de impedimento ou abundância de mosqueamento acinzentado entre 80 e 120 cm de profundidade.
L/M	Solos com drenagem moderada a imperfeita.	Solos de cor pouco viva (croma $> 2$ e $< 4$ ), ou com camada de impedimento entre 50 e 80 cm de profundidade ou com mosqueamento acinzentado a menos de 50 cm de profundidade.
M	Solos imperfeitamente drenados, sujeitos a inundações ocasionais, impróprios para cultivares sensíveis durante a estação chuvosa.	Camada de impedimento a menos de 50 cm de profundidade ou cores cinzentas (croma $\leq 2$ ) entre 50 e 80 cm de profundidade.
M/F	Sérias deficiências de aeração. Solos imperfeitamente a mal drenados.	Solos com horizonte de cor cinzenta (croma $\leq 2$ ).

(...continua...)

TABELA 6, Cont.

<b>Grau de Limitação<sup>(1)</sup></b>	<b>Características</b>	<b>Indicadores Ambientais</b>
F	Sérias deficiências de aeração. Solos mal ou muito mal drenados sujeitos a inundações frequentes, sem possibilidade de desenvolvimento de cultivares não adaptados. Obras de drenagem artificial localizada ainda viáveis ao nível do silvicultor.	Solos de cores cinzentas (croma $\leq$ 2); vegetação original de caráter higrófilo ou hidrófilo, floresta ou campo.
MF	Condições semelhantes ao anterior, porém o melhoramento está fora do alcance do silvicultor, individualmente.	Solos de cores cinzentas (croma $\leq$ 2); vegetação original de caráter higrófilo ou hidrófilo, floresta ou campo.

<sup>(1)</sup>N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário.  
 Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

#### Suscetibilidade à Erosão

A erodibilidade dos solos é função de uma série de fatores, dentre os quais a declividade do terreno, forma e comprimento da pendente, e de características intrínsecas ao próprio solo, que determinam a taxa de infiltração de água e a resistência à desagregação, que em última análise controlam o comportamento do solo quanto à erosão (Tabela 7).

Os solos dos Tabuleiros, em decorrência do adensamento subsuperficial apresentam, em geral, baixa taxa de infiltração. Associado a isso, a camada superficial, comumente de textura mais grosseira, apresenta baixo índice de coesão entre agregados, característica favorável, portanto, à remoção do material do solo por erosão. Tais condições conduzem a uma maior suscetibilidade à erosão laminar, e maior resistência à erosão em sulcos. Não obstante, devido ao relevo bastante aplainado, o desgaste erosivo é pouco pronunciado nesse ambiente. Basta no entanto uma pequena inclinação do terreno para tornar os

solos mais suscetíveis à erosão laminar. Sulcos profundos e voçorocas, porém, são muito raros no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros.

A própria tendência dos solos das encostas, e mesmo dos platôs menos extensos, a apresentarem, em relação aos topos dos tabuleiros mais amplos, um horizonte A menos espesso, sobre horizonte B argiloso, parece sugerir uma propensão natural ao desgaste pela erosão laminar nesse ambiente. É comum observar-se, nas encostas mais declivosas dos vales, em algumas áreas em uso com pastagem, a ocorrência de erosão laminar severa.

Por tais razões, apesar das técnicas atuais de preparo e manejo propiciarem adequada proteção do solo, as condições do ambiente indicam a necessidade de cuidados especiais em áreas com declives superiores a 8%, sugerindo-se a declividade de 20% como limite máximo para sulcamento (de preferência em nível, ou em condições mais próximas a esta), além do qual o coveamento é recomendado.

TABELA 7. Graus de limitação por suscetibilidade à erosão e relação com características ambientais dos Tabuleiros Costeiros.

<b>Grau de Limitação<sup>(1)</sup></b>	<b>Características</b>	<b>Indicadores Ambientais</b>
N	Relevo plano ou quase plano (declive < 3%) e permeabilidade boa. Erosão insignificante após 2 a 4 ciclos do eucalipto, controlada com práticas conservacionistas simples.	- Horizonte A inteiramente preservado após vários ciclos do eucalipto.
L	Relevo suave ondulado com declives entre 3 e 8% e boas propriedades físicas. Erosão ligeira que pode ser prevenida com práticas conservacionistas ainda simples.	- Horizonte A removido em menos de 25% após 2 a 4 ciclos do eucalipto.
M	Relevo em geral ondulado, com declives entre 8 e 20%, que pode variar para mais ou para menos conforme as condições físicas do solo. Necessidade de práticas intensivas de controle à erosão desde o início da utilização.	- Horizonte A removido entre 50 e 75% após 2 a 4 ciclos do eucalipto. - Ocorrência de algumas áreas desnudas por efeito de remoção da camada superficial.
F	Relevo em geral forte ondulado, com declives entre 20 e 45%, que podem variar conforme as condições físicas do solo, conformação do terreno etc. A prevenção à erosão é difícil e dispendiosa, podendo ser antieconômica.	- Horizonte A removido em mais de 75% na maior parte da área. - Ocorrência de muitas áreas desnudas.
MF	Relevo montanhoso ou escarpado (declive > 45%), não sendo recomendável a exploração florestal, ou apenas de forma bastante restrita.	- Horizonte A completamente destruído em poucos anos. - Ocorrência de sulcos profundos e voçorocas.

<sup>(1)</sup>N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

### Impedimentos à Mecanização

À exceção das encostas dos vales que dissecam a região, marcados por bordas íngremes, a grande maioria das áreas dos Tabuleiros apresenta condições topográficas favoráveis ao emprego de mecanização nas diversas fases da operação florestal. Maiores restrições ocorrem apenas nas áreas abaciadas em que o lençol freático encontra-se mais próximo à superfície, o que dificulta o tráfego de máquinas. Certas características dos solos, todavia, implicam em aumento considerável dos custos operacionais, na medida em que reduzem o rendimento dos tratores. Dentre elas destaca-se o adensamento subsuperficial, que impõe a necessidade de subsolagem para implantação do povoamento, de modo a facilitar o aprofundamento de raízes e aumentar a infiltração de água, atividade relativamente dispendiosa e que é tanto mais dificultada quanto mais intenso o grau de adensamento e a espessura da camada adensada, sobretudo quando realizada no período seco. A retirada de murundus, indispensável ao uso no nível de manejo mais tecnificado, é também uma atividade que onera as obras de implantação de povoamentos. Já a presença de concreções ferruginosas, embora também uma característica que dificulta a mecanização, tem efeito pouco significativo em termos globais, pois limita-se a áreas de proporções bem restritas geograficamente. Na Tabela 8 são apresentadas as características dos terrenos referentes aos graus de limitação por impedimentos à mecanização.

TABELA 8. Graus de limitação por impedimentos à mecanização.

Grau de Limitação <sup>(1)</sup>	Características
N	Topografia plana ou quase plana (declive < 3%), com drenagem livre e sem outros impedimentos à utilização de qualquer máquina ou implemento agrícola durante todo o ano.
L	Relevo suave ondulado (3 a 8% de declive), ou mais suave no caso de ocorrência de limitações como pedregosidade ou material petroplintico, camada adensada em profundidade, textura arenosa ou muito argilosa etc.
L/M	Relevo ondulado com 8 a 13% de declive, ou um pouco mais suave no caso de ocorrência de limitações como pedregosidade ou material petroplintico, ou por restrições de drenagem (drenagem imperfeita). Não é possível o emprego da maioria das máquinas agrícolas durante todo o ano.
M	Relevo ondulado com 13 a 20% de declive, ou mais suave no caso de ocorrência de limitações como pedregosidade abundante ou material petroplintico, ou áreas com moderada a forte restrição de drenagem (solos imperfeitamente a mal drenados).
M/F	Relevo forte ondulado com 20 a 30% de declive, ou mais suave no caso de ocorrência de limitações como pedregosidade abundante ou material petroplintico, ou áreas com fortes restrições de drenagem (solos mal drenados).
F	Relevo forte ondulado com 30 a 45% de declive, ou mais suave no caso de ocorrência de outras limitações, de forma a restringir as possibilidades de mecanização a equipamentos especiais.
MF	Relevo montanhoso ou escarpado (declive > 45%), ou mais suave no caso de ocorrência de outras limitações que impeçam o uso de máquinas.

<sup>(1)</sup>N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

### 5.1.2 Quadro-Guia

Para a determinação das classes de aptidão silvicultural, utiliza-se um quadro-guia (ou tabela de conversão) em que estão estipulados, conforme os níveis de manejo adotados, os graus de limitação máximos referentes a cada um dos cinco fatores limitantes (ou qualidades básicas), que são admitidos para enquadramento nas classes de aptidão consideradas (Boa, Regular, Restrita e Inapta), já estando contemplada a possibilidade de melhoramento das condições florestais, representada por algarismos sublinhados (correspondentes às classes de viabilidade de melhoramento) que acompanham os graus de limitação. Assim, no quadro mencionado, os graus máximos referem-se à limitação que deverá persistir após aplicadas as medidas de correção previstas para o nível de manejo considerado. A ausência de algarismos sublinhados acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidade de melhoramento daquele fator restritivo.

Através da comparação entre os graus de limitação atribuídos às terras e os estipulados no quadro-guia, elaborado para atender às condições ecológicas prevalentes no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, com base nas características do ambiente em questão e nas exigências da cultura do eucalipto (Tabela 9), chega-se então à classificação da aptidão silvicultural. A classe de aptidão silvicultural para eucalipto, de acordo com os diferentes níveis de manejo, é obtida em função do grau limitativo mais forte, referente a qualquer um dos fatores que influenciam a sua utilização florestal. Dessa forma, um solo que apresente condições satisfatórias para enquadramento na classe de aptidão Boa, no nível de manejo SC, com relação à deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio e suscetibilidade à erosão, mas limitação moderada (M) quanto aos impedimentos à mecanização, deverá pertencer à classe de aptidão Restrita (ver Tabela 9), que é representada pela letra s entre parênteses: (s), conforme apresentado a seguir.

TABELA 9. Quadro-guia de avaliação da aptidão silvicultural para eucalipto no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, considerando-se dois níveis de manejo (SB e SC).

Classe de Aptidão		Graus de Limitação Máximos das Condições Florestais das Terras dos Tabuleiros Costeiros para Eucalipto nos Níveis de Manejo SB e SC									
		Deficiência de Fertilidade		Deficiência de Água		Deficiência de Oxigênio		Suscetibilidade à Erosão		Impedimentos à Mecanização	
		SB	SC	SB	SC	SB	SC	SB	SC	SB	SC
Boa	<b>S</b>	M/F <sub>1</sub>	N/L <sub>2</sub>	M	L	L <sub>1</sub>	N/L <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M/F	N/L
Regular	<b>s</b>	F <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M/F	M	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	L/M <sub>2</sub>	F	L/M
Restrita	<b>(s)</b>	F/MF <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	F	M/F	L/M <sub>1</sub>	L/M <sub>2</sub>	F/MF <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	F	M/F
Inapta	<b>I</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Grau de Limitação: N - nulo; L - ligeiro; M - moderado; F - forte; MF - muito forte; / - intermediário.

- Os algarismos sublinhados correspondem aos níveis de viabilidade de melhoramento das condições florestais das terras. A ausência de algarismo sublinhado acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidade de melhoramento naquele nível de manejo.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho & Beek (1995).

As terras consideradas inaptas para silvicultura, desde que também impróprias para outros usos, são indicadas para a preservação da flora e da fauna.

### 5.1.3 Simbolização

À semelhança do padrão adotado para o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola (Ramalho Filho & Beek, 1995), as classes de aptidão silvicultural são representadas pela letra s, escrita de várias formas: em maiúsculo, indicando aptidão Boa; em letra minúscula, para representar a classe de aptidão Regular; e minúscula entre parênteses para a classe Restrita. Já a classe Inapta será representada pela letra maiúscula I.

Em razão de serem considerados dois níveis de manejo nessa avaliação, a aptidão silvicultural é indicada pela junção dos símbolos representativos da classe de aptidão referente ao nível de manejo SB e ao nível de manejo SC, nessa ordem. Assim, por exemplo, o símbolo **SS** indica aptidão Boa nos dois níveis de manejo; **Ss** indica aptidão Boa nas condições do nível de manejo SB e aptidão Regular para o nível SC; enquanto **(s)I** indica aptidão Restrita no nível SB e Inapta no nível de manejo SC.

Visando ampliar a informação, e contribuir para a distinção de unidades de manejo, assim como para a orientação de avaliação de clones mais adaptados, à frente do símbolo indicativo das classes de aptidão são apresentadas algumas características das terras (Tabela 10) que podem orientar o manejo a ser adotado, são elas: textura (referente a três faixas de profundidade: 0-20 cm, 20-50 cm; 50-80 cm); presença de camada adensada (c), fragipã (x), ou duripã (m), considerando-se três profundidades; classes de drenagem (d); ocorrência de pedregosidade (p); e declividade (r), que compõem uma fórmula, conforme exemplificado a seguir, após a qual são apresentados, entre parênteses, separados por vírgula, símbolos representativos dos principais fatores limitantes (f - deficiência de fertilidade; h - deficiência de água; o - deficiência de oxigênio; e - suscetibilidade à erosão; m - impedimentos à mecanização). Indicações de características climáticas, se disponíveis, devem ser acrescentadas ao final. A não inclusão do símbolo indica ausência de informação ou não ocorrência da respectiva característica.

Fórmula representativa da aptidão silvicultural:

Aptidão silvicultural	$\frac{\text{textura - adensamento/fragipã/duripã - drenagem}}{\text{pedregosidade - declividade}}$	(fatores limitantes)	clima
--------------------------	---	-------------------------	-------

TABELA 10. Símbolos representativos de características das terras expressas na fórmula da aptidão silvicultural.

Característica	Significado dos símbolos
textura	<b>a</b> - arenosa; <b>m</b> - média; <b>r</b> - argilosa; <b>rr</b> - muito argilosa.
presença de camada adensada	<b>c1</b> - até 50 cm de profundidade; <b>c2</b> - entre 50 e 80 cm; <b>c3</b> - entre 80 e 120 cm.
ocorrência de fragipã	<b>x1</b> - até 50 cm de profundidade; <b>x2</b> - entre 50 e 80 cm; <b>x3</b> - entre 80 e 120 cm.
ocorrência de duripã	<b>m1</b> - até 50 cm de profundidade; <b>m2</b> - entre 50 e 80 cm; <b>m3</b> - entre 80 e 120 cm.
classe de drenagem	<b>d1</b> - drenagem boa; <b>d2</b> - drenagem moderada; <b>d3</b> - drenagem imperfeita; <b>d4</b> - má drenagem.
ocorrência de pedregosidade	<b>p1</b> - até 50 cm de profundidade; <b>p2</b> - entre 50 e 80 cm; <b>p3</b> - entre 80 e 120 cm.
classe de declividade	<b>r1</b> - 0 a 3% de declive; <b>r2</b> - 3 a 8%; <b>r3</b> - 8 a 13%; <b>r4</b> - 13 a 20%; <b>r5</b> - mais de 20% de declividade.

Um exemplo de leitura é apresentado a seguir. Na fórmula:

$$Ss \frac{a/a/m - c2 - d1}{r3} (h, e) Aw;$$

a aptidão silvicultural, **Ss**, indica classes de aptidão Boa para silvicultura no nível de manejo SB e Regular no nível SC; **a/a/m** indica textura arenosa nas camadas de 0-20 e 20-50 cm, e textura média entre 50 e 80 cm de profundidade; **c2** indica presença de camada adensada entre 50 e 80 cm de profundidade; **d1** indica boa drenagem interna do solo; e **r3** é indicativa de que o terreno apresenta entre 8 e 13% de declividade, enquanto a ausência de símbolo referente à pedregosidade indica a ausência de materiais grosseiros (> 2 cm de diâmetro),

portanto um solo livre de pedras. Já as letras **h** e **e**, entre parênteses, indicam, respectivamente, que os principais fatores limitantes ao uso com eucalipto da gleba de terra em questão são representados pela deficiência de água e pela suscetibilidade à erosão; e o tipo climático dominante (Aw, da classificação de Köppen) é apresentado a seguir.

## **5.2 Chaves para estimativa dos graus de limitação das terras dos Tabuleiros Costeiros, para uso com eucalipto**

No desenvolvimento de qualquer sistema de avaliação de terras, deve-se considerar a necessidade de testes de validação e aprimoramento, para o que uma estrutura de chave de identificação em muito pode contribuir, devido a seu grande potencial para hierarquização de critérios e identificação de relações entre atributos, ao mesmo tempo em que proporciona uma visão de conjunto dos parâmetros considerados.

Dentro dessa perspectiva, foram elaboradas chaves para estimativa dos graus de limitação das terras no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, para uso com eucalipto, apresentadas a seguir (Figuras 2 a 6), tendo como critérios distintivos os principais atributos do meio que influenciam o desenvolvimento dessa cultura. Na estruturação das chaves, as características ambientais foram dispostas, dentro do possível, em ordem decrescente quanto à intensidade da limitação referente a cada um dos cinco parâmetros considerados, correspondendo, assim, a uma hierarquização das características do ambiente indicativas dos graus de limitação. Quanto à avaliação da limitação por fertilidade, embora seja comum, principalmente nas áreas próximas ao mar, a ocorrência de baixadas, entremeadas ou permeando as áreas dos tabuleiros, com solos que podem apresentar teores mais elevados de sais, ou mesmo caráter tiomórfico (alta concentração de enxofre), essas características não foram consideradas na avaliação da deficiência de fertilidade, uma vez que essas áreas

fogem do contexto da região caracterizada pelos Tabuleiros Costeiros, além de, em vista de sua fragilidade natural, exigirem avaliação detalhada e cuidados especiais para utilização. Também o teor de alumínio, ou mesmo sua alta saturação não foram considerados como limitação significativa para o desenvolvimento do eucalipto, devido à relativamente grande tolerância dessa espécie a elevados teores de alumínio no solo (Barros et al., 1990).

A estrutura das chaves é dicotômica, ou seja, quando a característica especificada é satisfeita, o fluxo é para a frente (à direita), em caso contrário, para baixo, até chegar-se ao grau de limitação — referente tanto às condições naturais das terras (SN), como considerando-se a viabilidade de melhoramento pertinente aos níveis de manejo **SB** e **SC**, indicadas por algarismos sublinhados em seguida à(s) letra(s) representativa(s) do grau de limitação (a ausência de algarismos indica não haver possibilidade de melhoramento, conforme as práticas previstas para o nível de manejo em questão). Apenas para a deficiência de água não é considerada a possibilidade de redução da limitação, já que a irrigação não está prevista como prática de melhoramento, assim como para os impedimentos à mecanização, em que a estimativa do grau de limitação tem por termo de referência o emprego de máquinas em condições naturais.

Por intermédio da aplicação das chaves na avaliação da aptidão silvicultura de solos dos Tabuleiros como características diversas, foram realizados ajustes tanto nos parâmetros para estimativa dos graus de limitação das terras, assim como nos próprios limites estabelecidos no quadro-guia. Além de constituírem um guia de fácil aplicação para avaliação das condições silviculturais das terras, possibilitaram o desenvolvimento de um sistema para avaliação automática da aptidão das terras dos Tabuleiros, para uso com eucalipto (veja adiante).

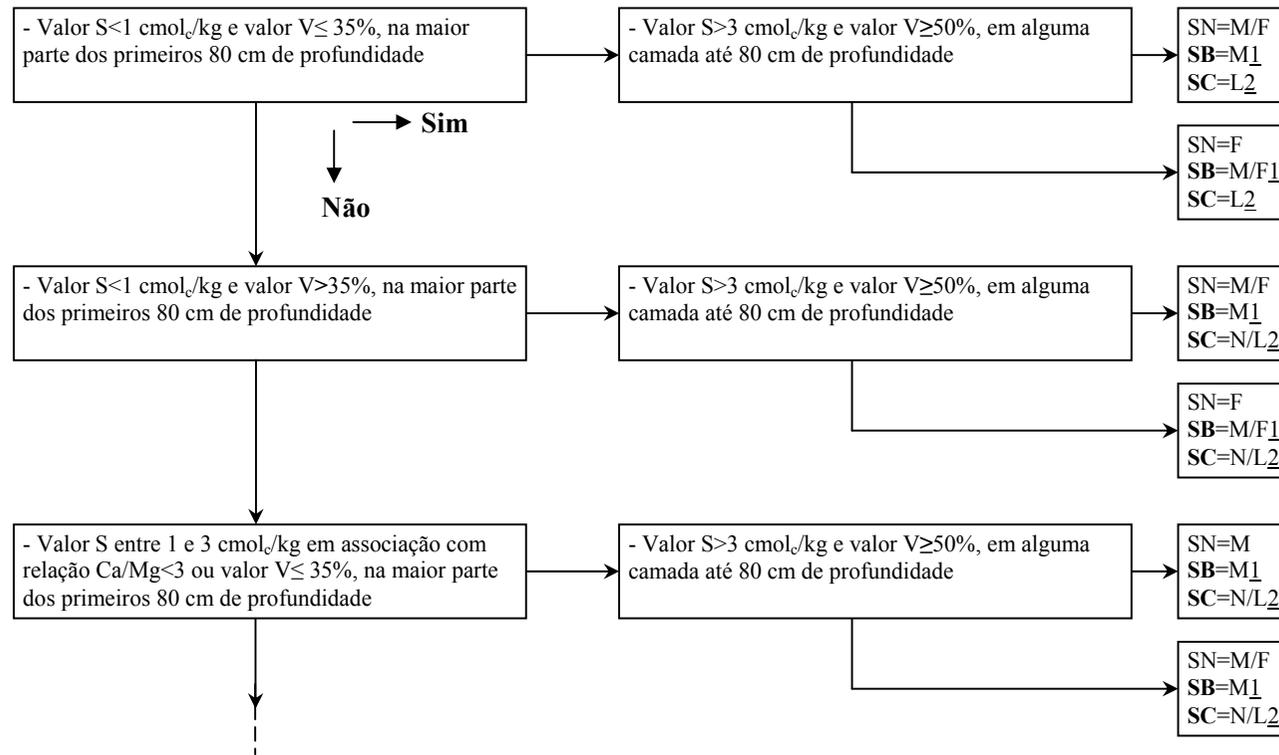
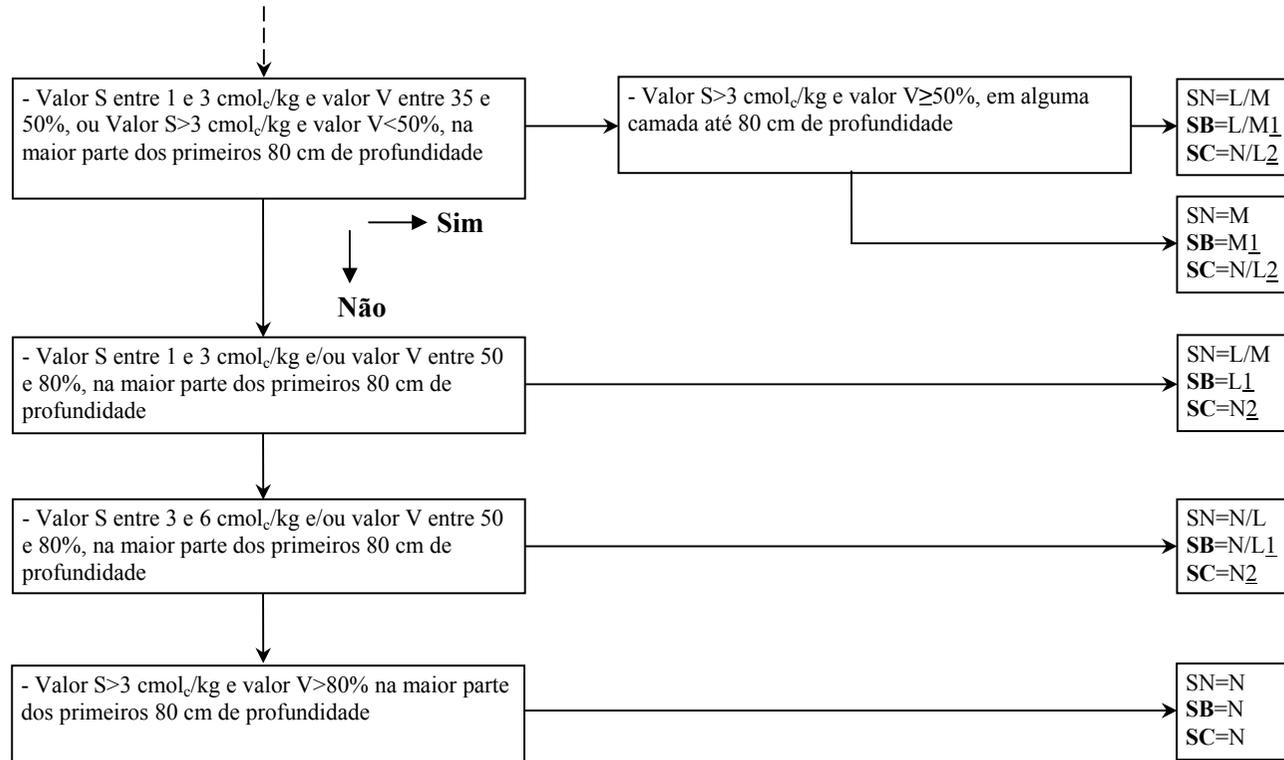


FIGURA 2. Chave para estimativa dos graus de limitação (N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário) por deficiência de fertilidade (SN=condições naturais; SB=nível de manejo B; SC=nível de manejo C). Quando a condição é satisfeita o fluxo é para frente (→), em caso contrário para baixo (↓). (...continua...)

FIGURA 2, Cont.

191



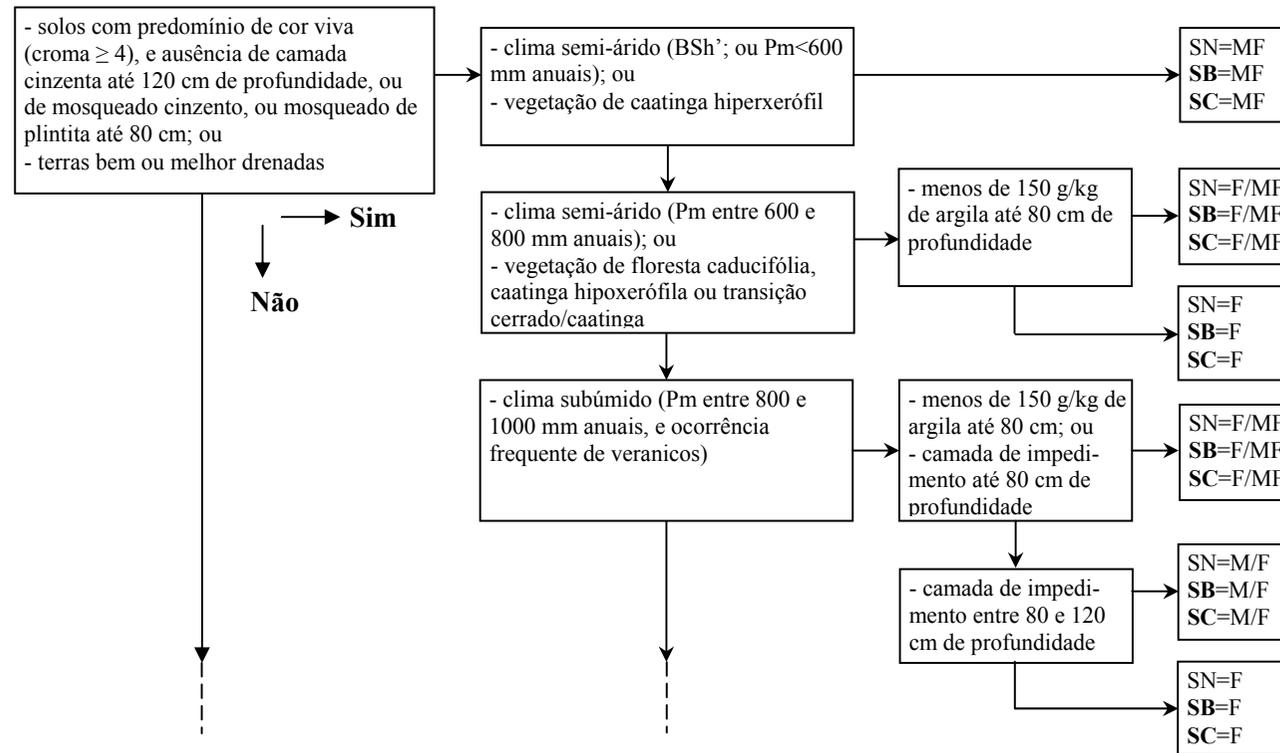
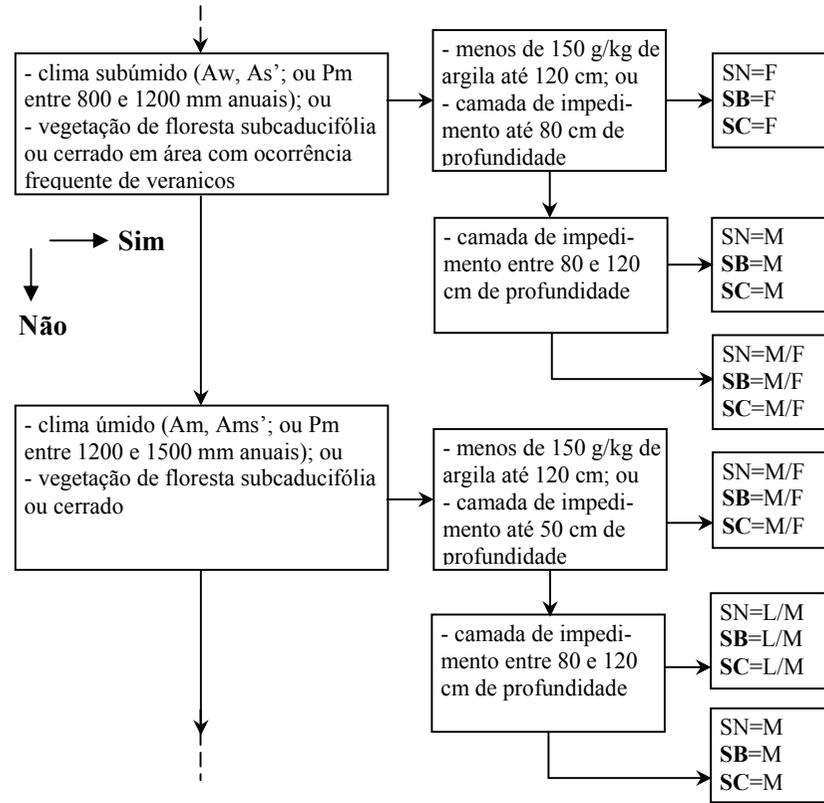


FIGURA 3. Chave para estimativa dos graus de limitação (N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário) por deficiência de água (SN=condições naturais; SB=nível de manejo B; SC=nível de manejo C). Quando a condição é satisfeita o fluxo é para frente ( → ), em caso contrário para baixo ( ↓ ).

(...continua...)

FIGURA 3, Cont.

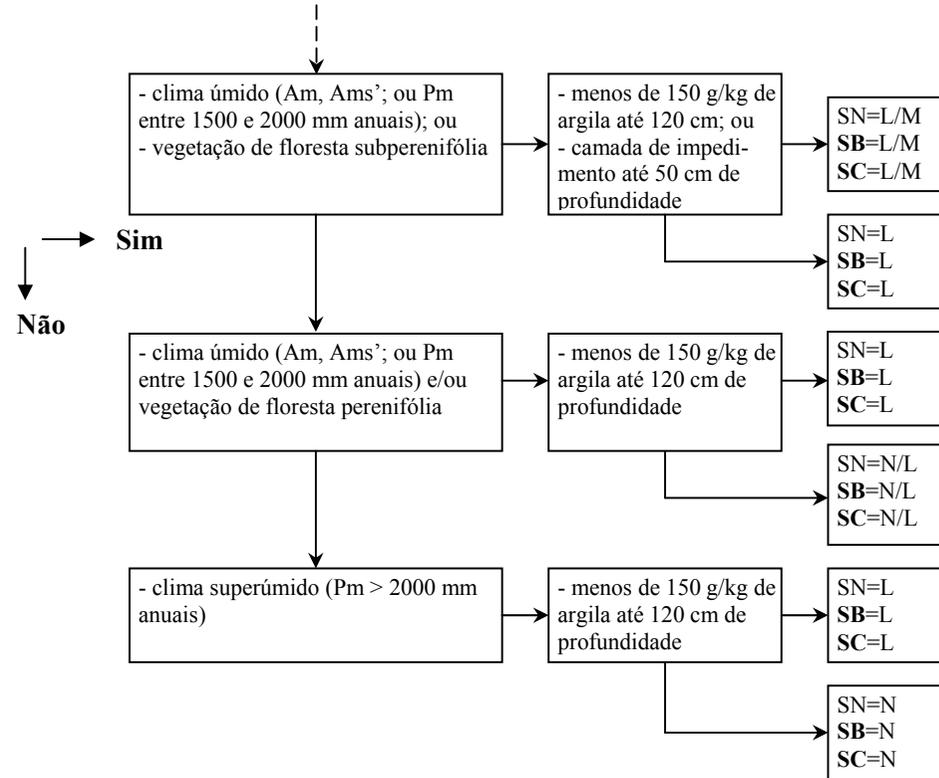
193



(...continua...)

FIGURA 3, Cont.

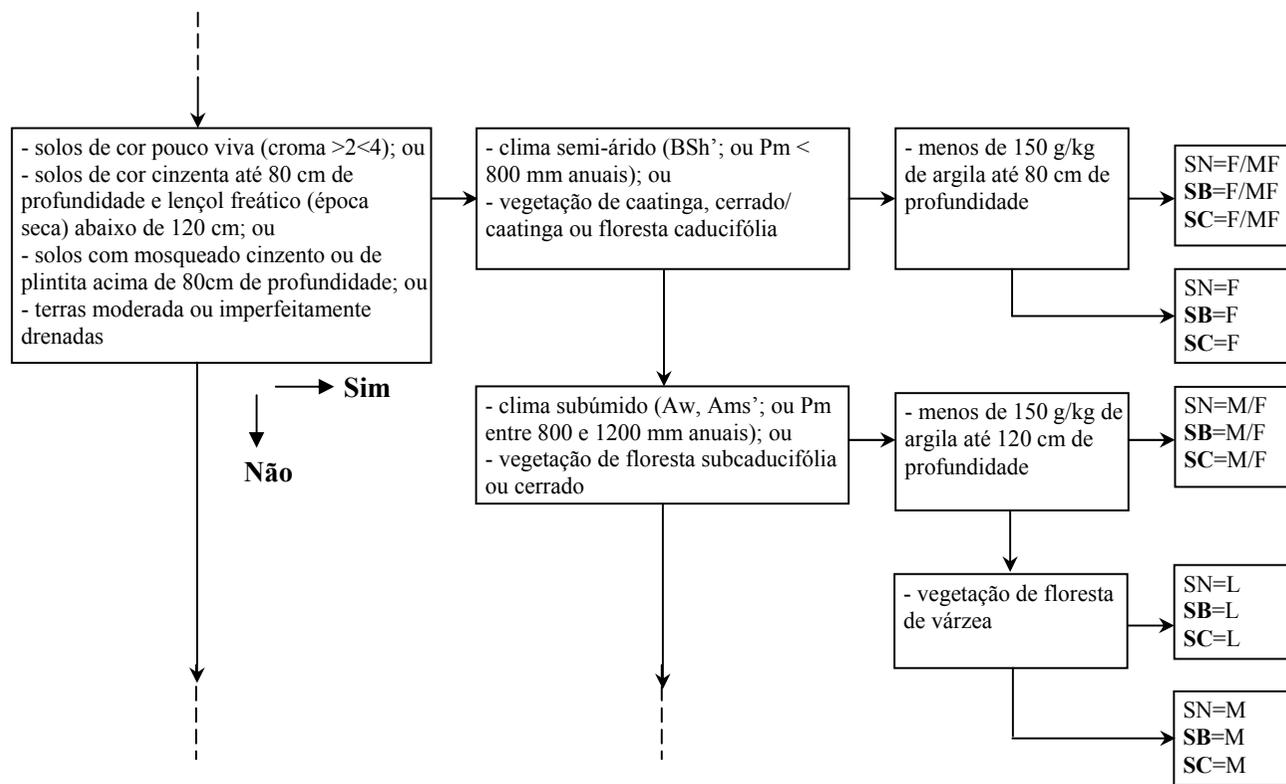
194



(...continua...)

FIGURA 3, Cont.

195



(...continua...)

FIGURA 3, Cont.

196

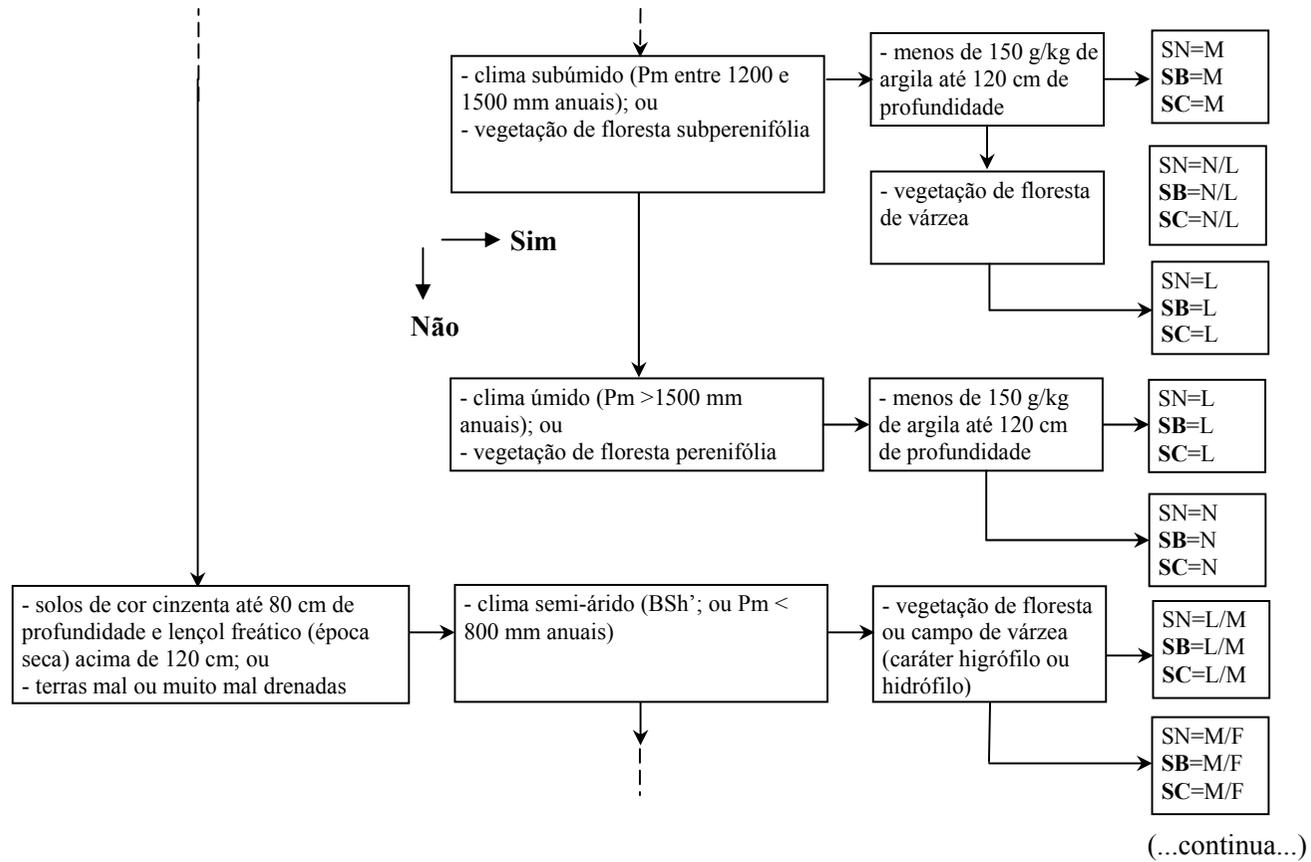


FIGURA 3, Cont.

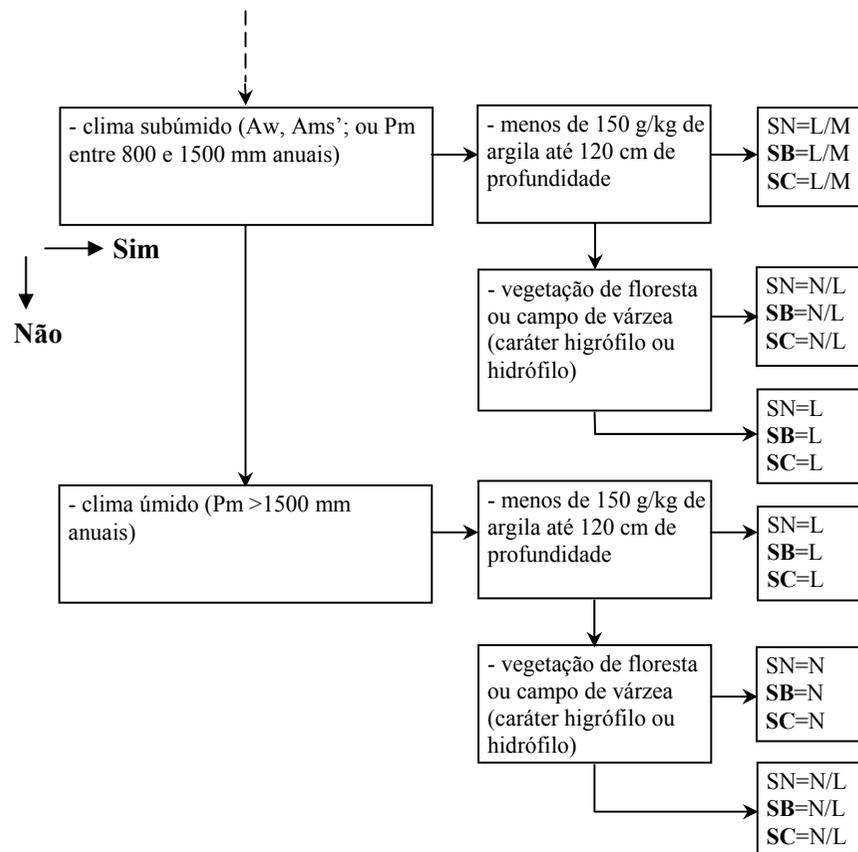
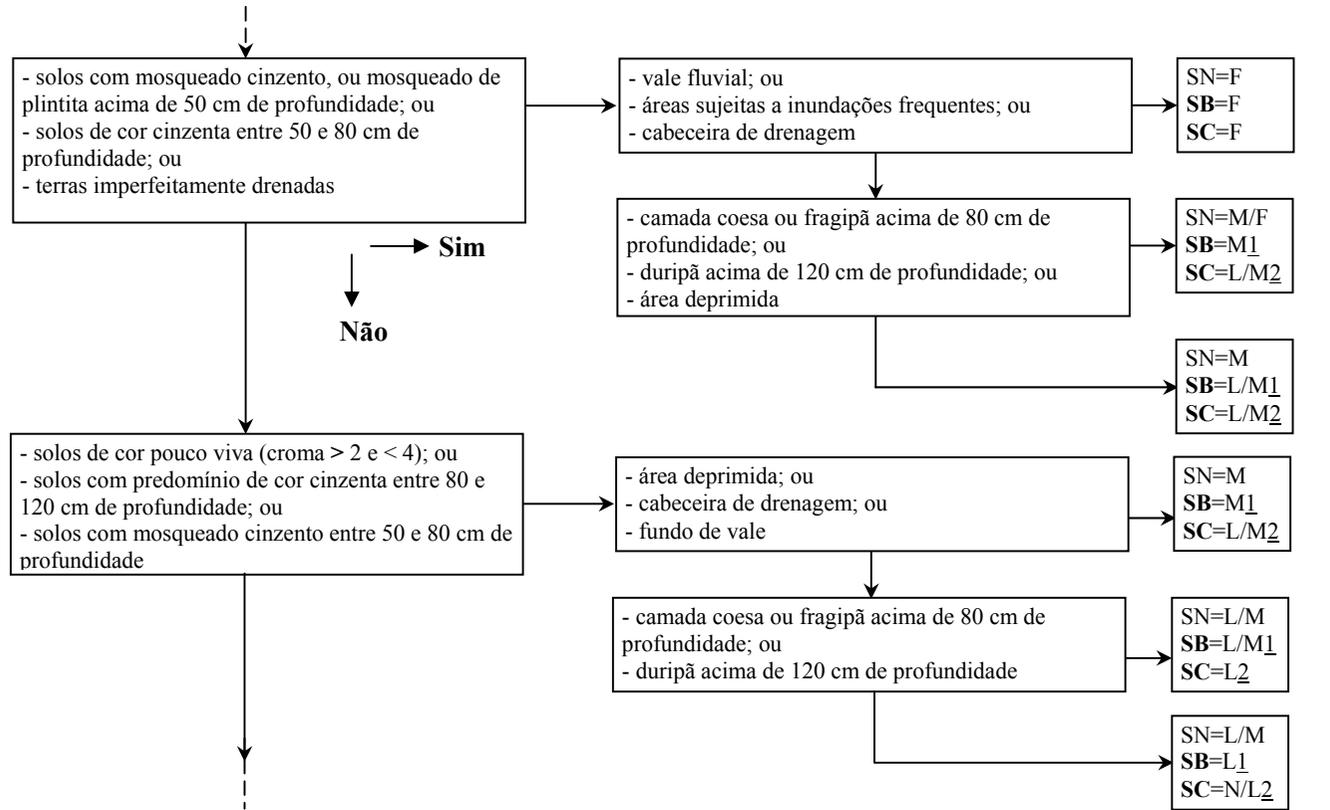




FIGURA 4, Cont.

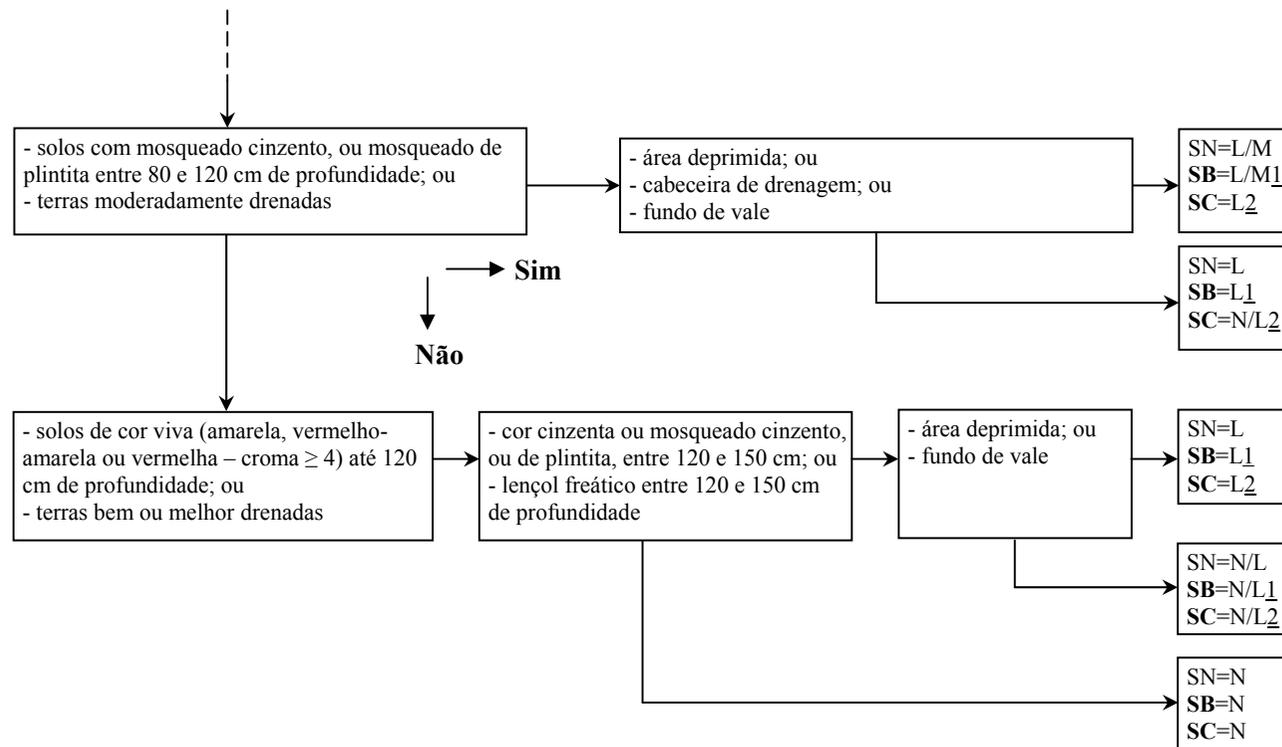
199



(...continua...)

FIGURA 4, Cont.

200



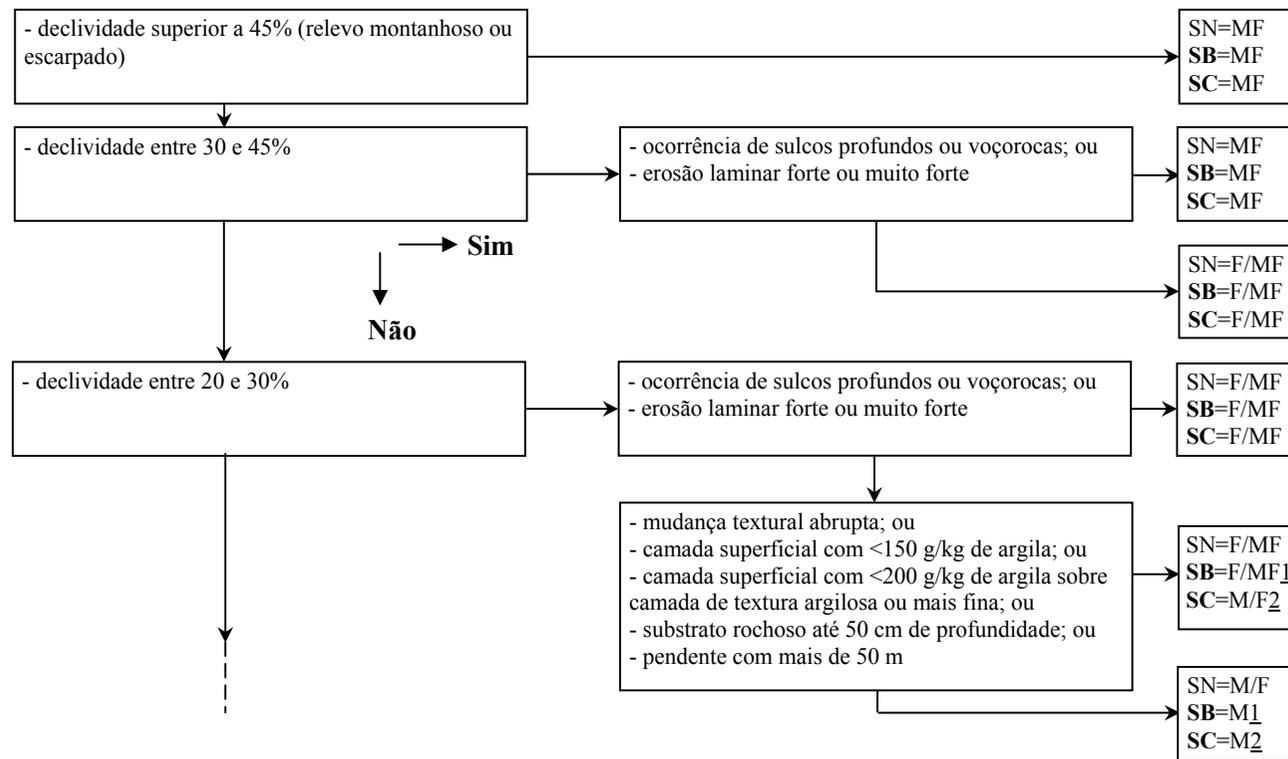
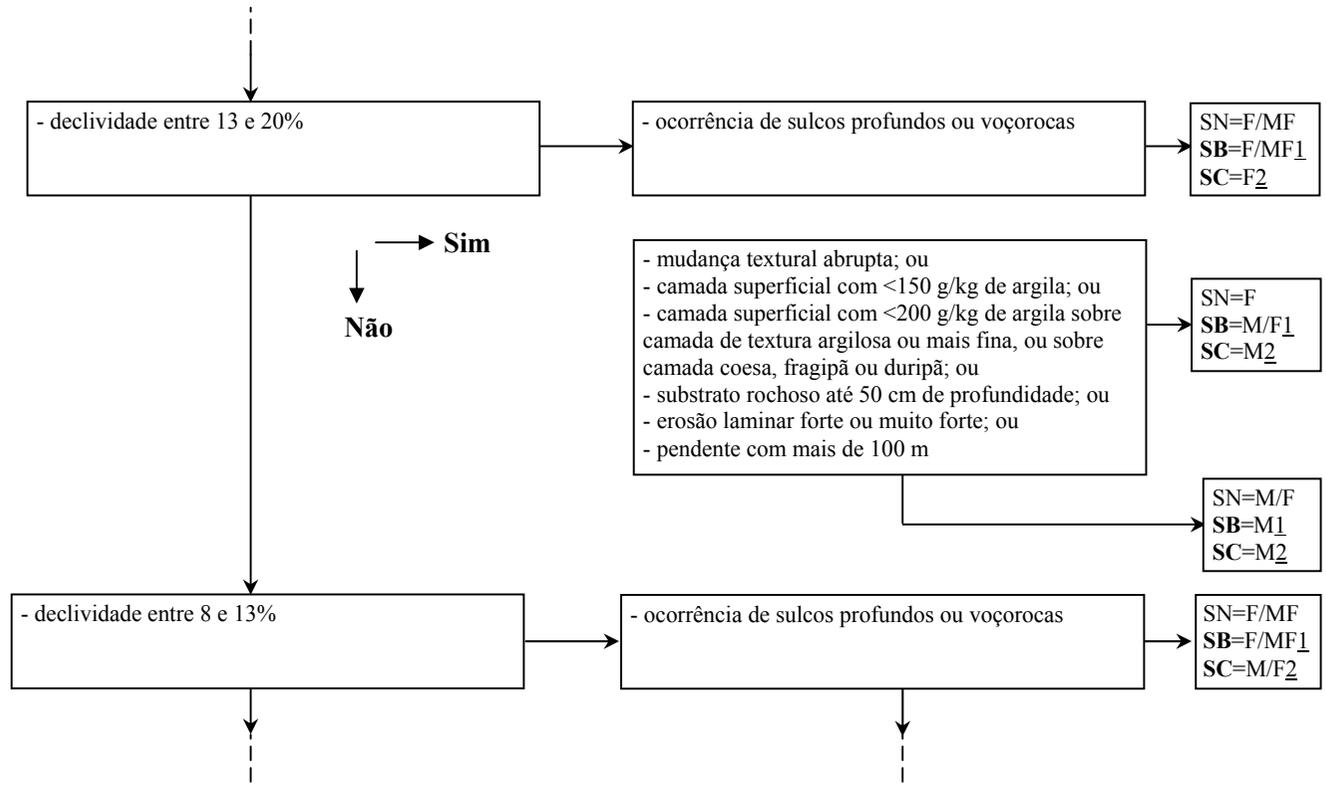


FIGURA 5. Chave para estimativa dos graus de limitação (N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário) por suscetibilidade à erosão (SN=condições naturais; SB=nível de manejo B; SC=nível de manejo C). Quando a condição é satisfeita o fluxo é para frente ( → ), em caso contrário para baixo ( ↓ ).  
(...continua...)

FIGURA 5, Cont.

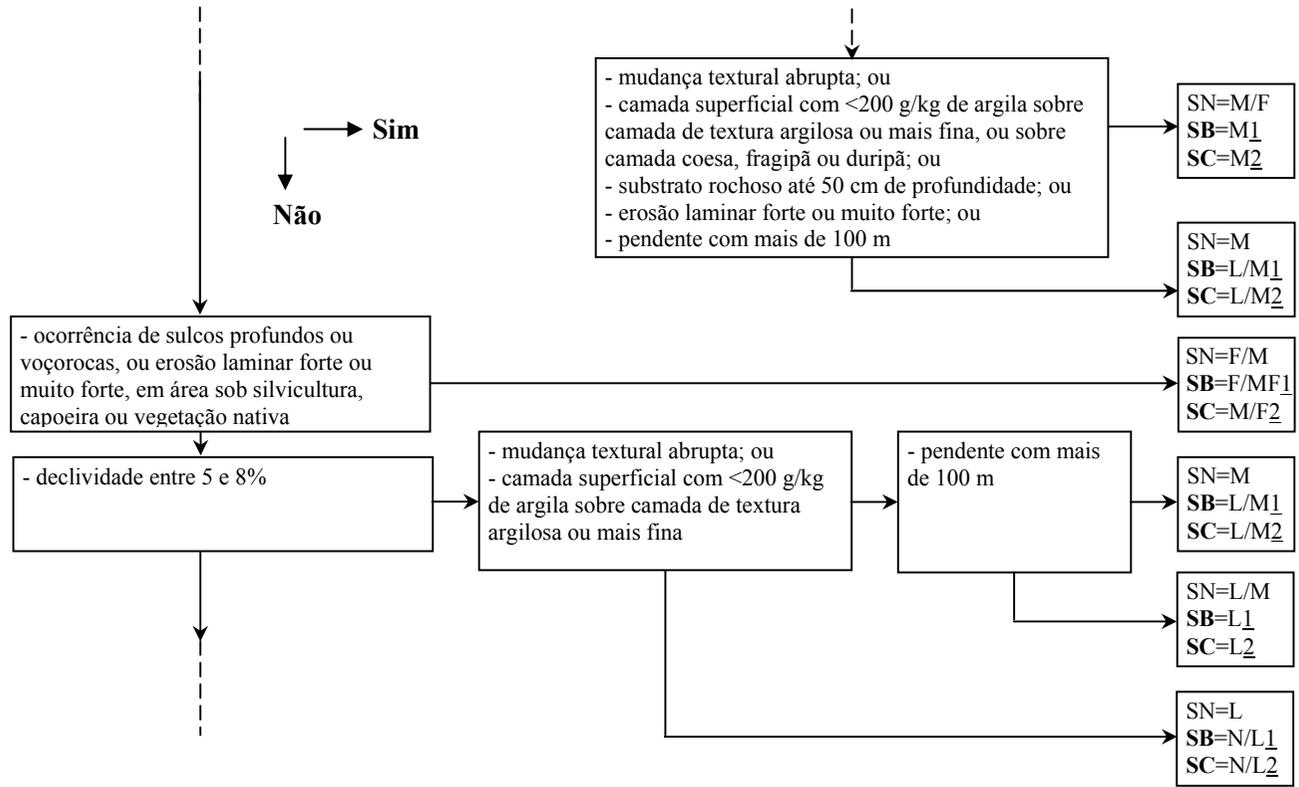
202



(...continua...)

FIGURA 5, Cont.

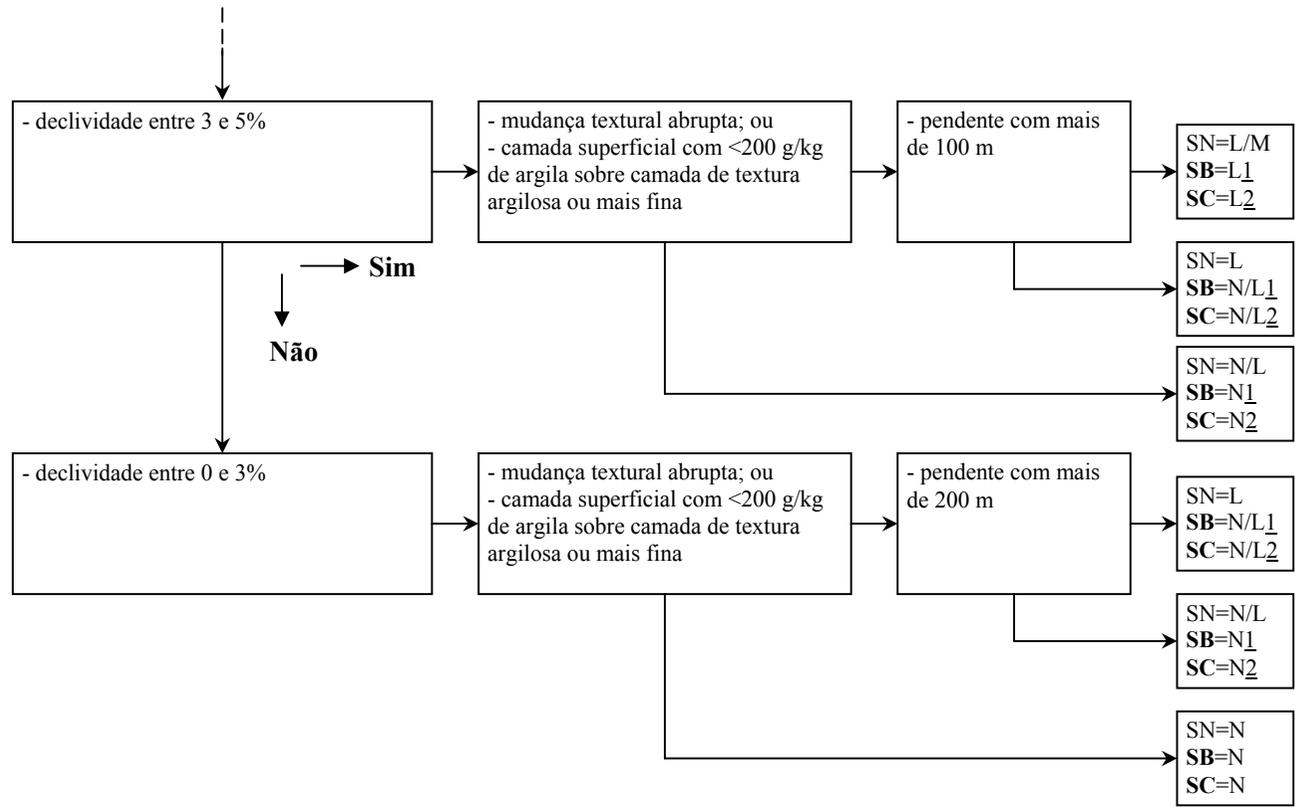
203



(...continua...)

FIGURA 5, Cont.

204



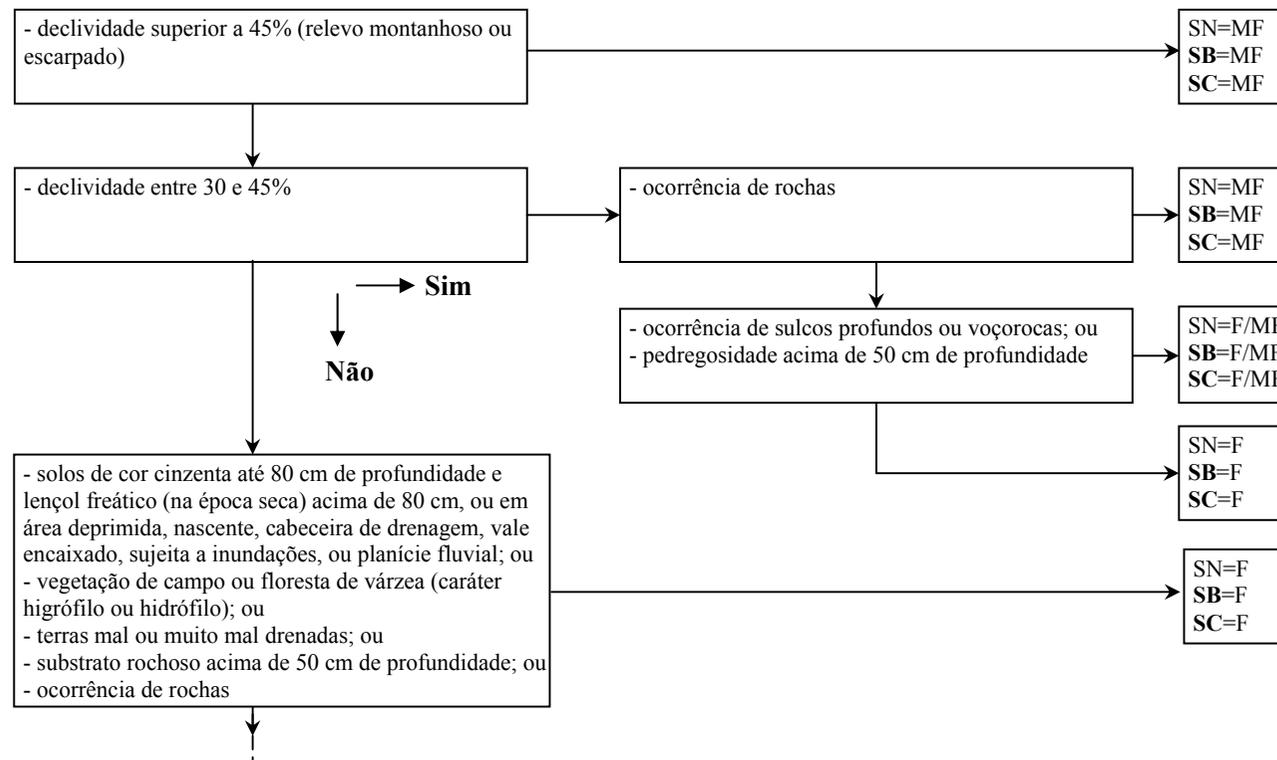


FIGURA 6. Chave para estimativa dos graus de limitação (N-nulo; L-ligeiro; M-moderado; F-forte; MF-muito forte; /-intermediário) por impedimentos à mecanização (SN=condições naturais; SB=nível de manejo B; SC=nível de manejo C). Quando a condição é satisfeita o fluxo é para frente (→), em caso contrário para baixo (↓).

(...continua...)

FIGURA 6, Cont.

206

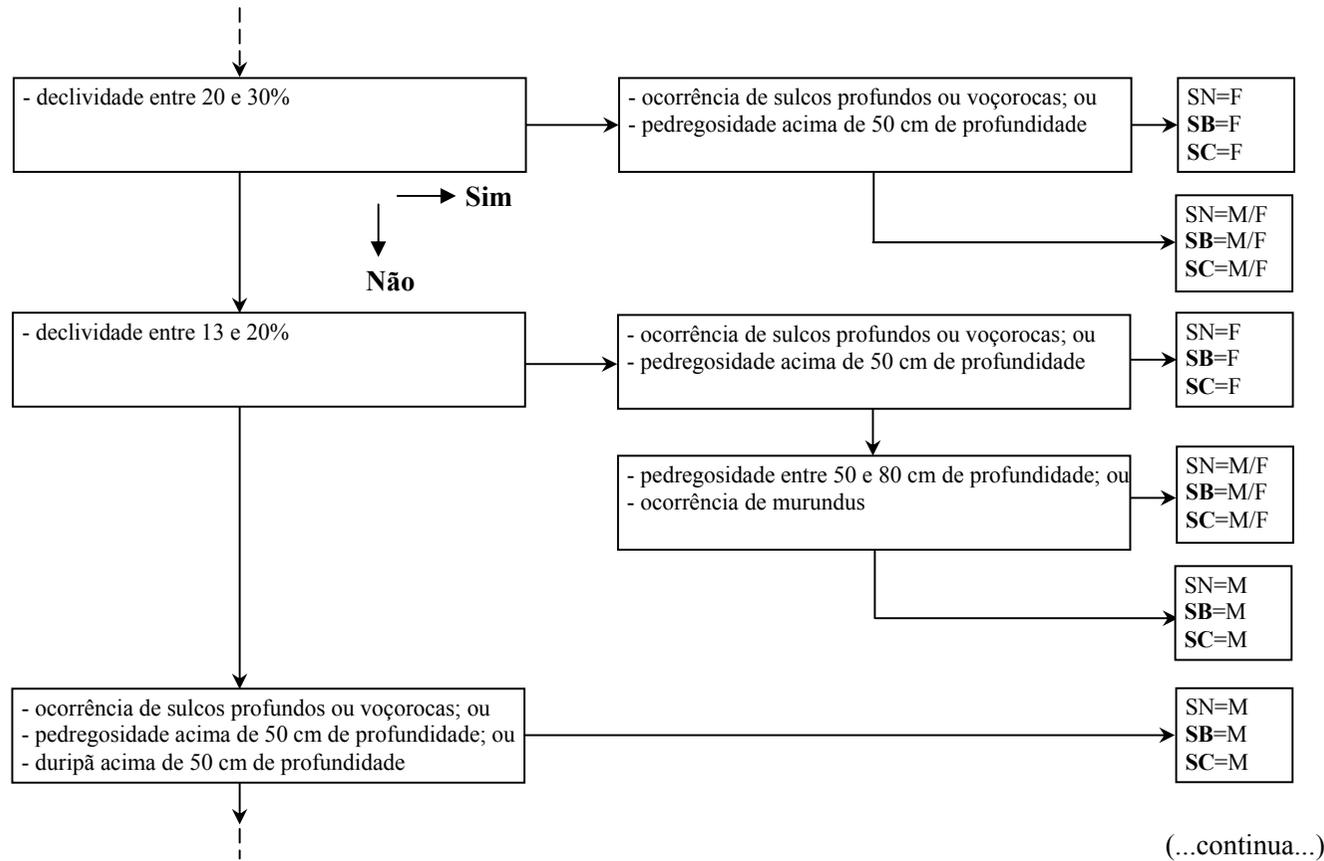
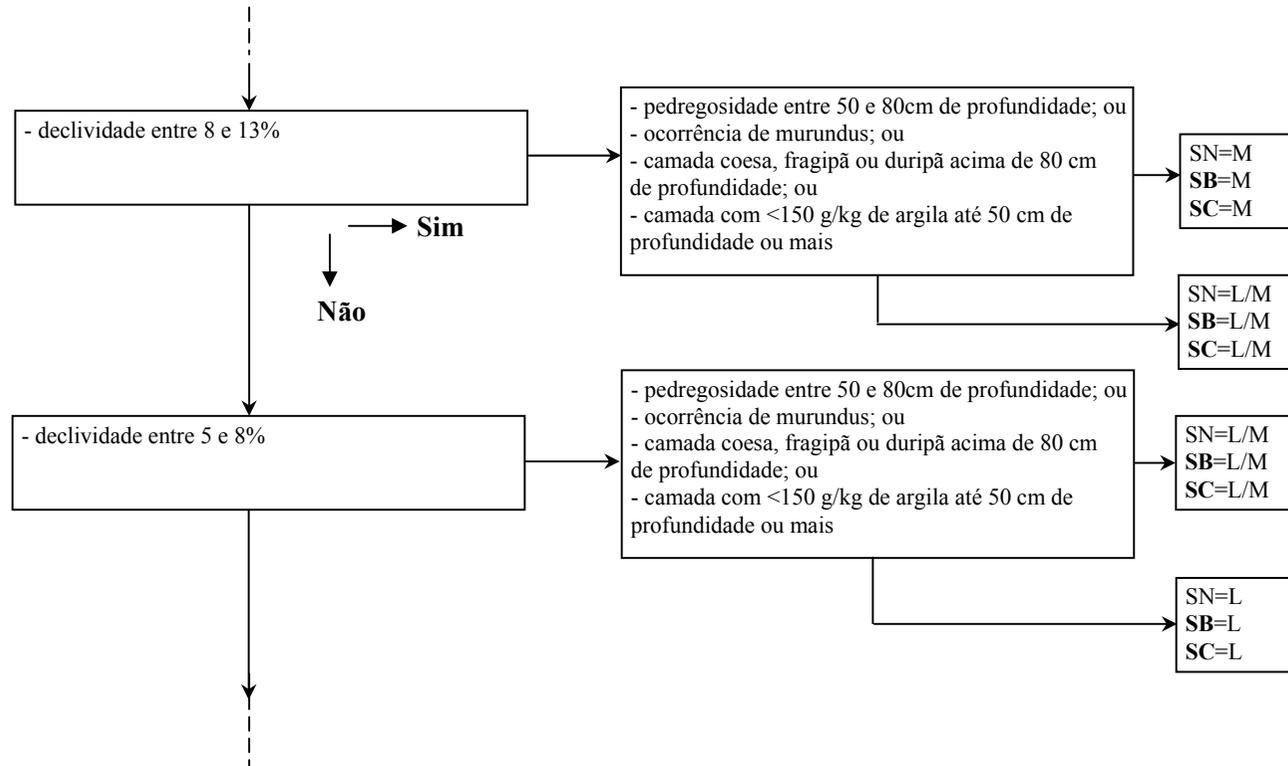


FIGURA 6, Cont.

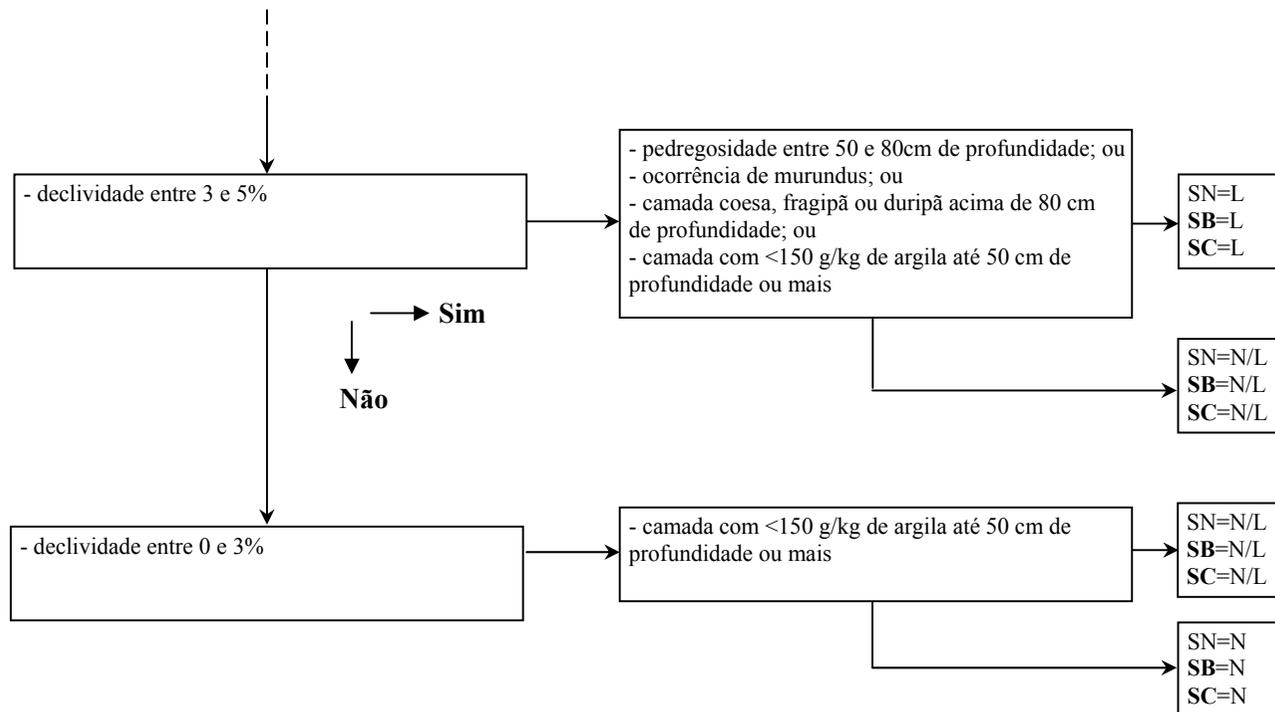


207

(...continua...)

FIGURA 6, Cont.

208



## 6 Sistema Informatizado para Avaliação da Aptidão Silvicultural

Com base nas relações entre atributos estabelecidas nas chaves para estimativa dos graus de limitação, anteriormente apresentadas, foi elaborado um sistema informatizado, em planilhas do Microsoft Excel<sup>®</sup>, visando a realização automática da avaliação da aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros para uso com eucalipto.

Nesse sistema, a partir das características de determinada área que se queira avaliar, relativas a parâmetros preestabelecidos, é realizado o processamento dos dados informados pelo usuário, de acordo com um conjunto de regras definidas conforme as relações explicitadas nas mencionadas chaves (Figuras 2 a 6), e assim determinados os graus de limitação referentes a cada uma das qualidades básicas, e então, pelo confronto com o quadro-guia (Tabela 9), é indicada a aptidão silvicultural para os níveis de manejo SB e SC.

A entrada de dados é realizada em duas planilhas, denominadas ambiente e solo, que contemplam, respectivamente, parâmetros relativos a condições ambientais (declividade ou relevo, posição na paisagem, comprimento da pendente, vegetação nativa, uso atual, clima, drenagem) e a características pedológicas (cor, textura, fertilidade, restrições de ordem física, mudança textural abrupta), e os resultados são apresentados em uma planilha denominada aptidão silvicultural.

Devido ao grande número de variáveis envolvidas e ao caráter subjetivo inerente a qualquer avaliação de uso de terras, é contemplada ao final a possibilidade de alteração dos graus de limitação, caso a área apresente características especiais, não previstas nas chaves, ou a experiência do técnico responsável pela avaliação assim o indicar.

Detalhes sobre a estrutura do sistema, assim como instruções para sua utilização, são apresentados a seguir.

### **6.1 Características do sistema informatizado**

O sistema para avaliação automática da aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros consiste em um arquivo em Microsoft Excel<sup>®</sup>, denominado Aptidão-eucalipto, no qual constam duas planilhas para registro de informações, denominadas ambiente e solo, uma planilha de apresentação dos resultados, denominada aptidão silvicultural, e a planilha instruções, em que constam orientações gerais sobre o modo de utilização e características do sistema. Além dessas, há seis planilhas ocultas, nas quais é realizado o processamento dos dados. Em cinco delas, referentes cada qual a um fator limitante (deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização), são determinados os graus de limitação, e na última delas as classes de aptidão silvicultural, de acordo com os critérios estabelecidos no quadro-guia (Tabela 9), obtendo-se assim a aptidão silvicultural para os níveis de manejo SB e SC, e também os principais fatores limitantes ao uso com eucalipto.

#### Planilhas para Entrada de Dados

Nas planilhas destinadas ao registro de informações sobre a área em avaliação, são relacionados os parâmetros, referentes a características ambientais (planilha ambiente) e pedológicas (planilha solo), estabelecidos para a avaliação automática da aptidão silvicultural.

A indicação da condição relativa a cada parâmetro, é realizada pela introdução de um símbolo ou letra do alfabeto no campo (célula) que corresponda à característica da área em avaliação, exceto para o tipo climático, que requer símbolo da classificação climática de Köppen, e precipitação média anual (planilha ambiente), valores de soma de bases (Valor S), saturação por bases (Valor V) e relação Ca/Mg (planilha solo), que devem ser preenchidos

com valores numéricos, caso disponíveis. Após o registro dos dados, a célula correspondente apresentará cor verde-claro, para realçar a escolha. Para alguns parâmetros, mensagem de erro é apresentada caso haja discrepância na informação, conforme detalhado à frente. Ao final de cada uma dessas planilhas, há um campo destinado à confirmação dos dados das informações apresentadas, que precisa ser preenchido, por meio de qualquer símbolo ou letra do alfabeto, para que a avaliação da aptidão seja processada. Caso haja algum erro, ou um parâmetro essencial não tenha sido informado, a avaliação não será realizada.

Na planilha ambiente (Figura 7) são relacionados os seguintes parâmetros:

Declive – refere-se à declividade do terreno, sendo identificadas oito faixas de declive: 0-3%, 3-5%, 5-8%, 8-13%, 13-20%, 20-30%, 30-45% e >45% (só é aceito o registro de uma faixa de declive, aparecendo mensagem de erro no caso de mais de uma faixa ter sido indicada).

Relevo – diz respeito à topografia do terreno. São reconhecidas as seguintes classes de relevo: plano, plano e suave ondulado, suave ondulado, suave ondulado e ondulado, ondulado, ondulado e forte ondulado, forte ondulado, montanhoso ou escarpado. Constitui alternativa à classe de declive, não havendo necessidade de se indicar uma classe de relevo caso o declive tenha sido informado. No caso de ambas terem sido registradas, a classe de declive tem precedência sobre o relevo (não foi estabelecida nenhuma restrição caso haja discrepância entre classe de declive e de relevo indicadas, mas aparece mensagem de erro em caso de mais de um tipo de relevo ter sido indicado).

Pendente – refere-se ao comprimento total da encosta da área em avaliação, sendo previstas quatro faixas: pendente curta (<50m), média (50-100m), longa (100-200m) e muito longa (>200m). Só é aceito o registro de uma faixa de comprimento, aparecendo mensagem de erro caso mais de uma faixa tenha sido indicada.

Posição na paisagem – refere-se à situação em que a área em avaliação se encontra, sendo distinguidos: área de nascente; cabeceira de drenagem; área deprimida; planície fluvial; vale encaixado (só é aceito o registro de uma situação, aparecendo mensagem de erro caso mais de uma situação tenha sido indicada).

Condições especiais – abrangem algumas características que podem ocorrer, como: presença de murundus; presença de sulcos profundos ou voçorocas (em proporção significativa); erosão laminar forte ou muito forte; ocorrência de afloramentos de rocha (inclui bancadas lateríticas); inundações frequentes.

Vegetação nativa – refere-se ao tipo de vegetação natural, conforme definido em Embrapa (1988, 2006): floresta perenifolia (quase ausência de espécies decíduas); floresta subperenifolia (espécies decíduas em número significativo, mas inferior às perenes); floresta subcaducifolia (grande número de espécies decíduas, que predominam sobre as perenes); floresta caducifolia (quase todas as espécies de caráter decíduo); floresta de várzea (vegetação florestal de caráter higrófilo ou hidrófilo, típica de áreas encharcadas); campo de várzea (vegetação campestre também associada a áreas encharcadas); cerrado; transição cerrado/caatinga; e caatinga hipoxerófila (vegetação arbóreo-arbustiva de caráter xerófilo menos acentuado) ou hiperxerófila (com xeromorfismo muito acentuado). À exceção de floresta e campo de várzea, só é aceito o registro de um tipo de vegetação nativa, aparecendo mensagem de erro caso mais de um tipo tenha sido indicado.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

Declive	0-3%	Relevo	plano
	3-5%		plano e suave ondulado
	5-8%		suave ondulado
	8-13%		suave ondulado e ondulado
	13-20%		ondulado
	20-30%		ondulado e forte ondulado
	30-45%		forte ondulado
>45%	montanhoso ou escarpado		
Pendente	curta (<50 m)	Posição na paisagem	área de nascente
	média (50-100 m)		cabecreira de drenagem
	longa (100 - 200 m)		área deprimida
	muito longa (>200 m)		planície fluvial
	vale encaixado		
Condições especiais	presença de murundus		
	presença de sulcos profundos ou voçorocas		
	erosão laminar forte ou muito forte		
	ocorrência de rochas		
	inundações frequentes		
Vegetação nativa	floresta perenifólia		
	floresta subperenifólia		
	floresta subcaducifólia		
	floresta caducifólia		
	floresta de várzea		
	campo de várzea		
	cerrado		
	cerrado/caatinga		
	caatinga hipoxerófila		
	caatinga hiperxerófila		
Clima	tipo climático (Köppen)		
	precipitação média anual (mm)		
	ocorrência frequente de veranicos		
Drenagem	bem ou melhor drenado		
	moderadamente drenado		
	imperfeitamente drenado		
	mal ou muito mal drenado		
	CONFIRMAR DADOS		

FIGURA 7. Base de entrada de dados referentes a características ambientais (planilha ambiente).

Uso atual – refere-se ao tipo de ocupação a que a área em avaliação está submetida: pastagem, lavoura, silvicultura, capoeira, ou vegetação nativa (só é aceito o registro de um tipo de ocupação, aparecendo mensagem de erro caso mais de um tenha sido indicado).

Clima – abrange tipos climáticos: BSh', As', Aw, Am, Ams' (da classificação de Köppen); precipitação média anual (em mm); e indicação da ocorrência frequente de veranicos (só é aceito o registro dos tipos climáticos de ocorrência no ecossistema dos Tabuleiros, aparecendo mensagem de erro caso o tipo informado não corresponda aos acima citados; quanto à precipitação, só são aceitos valores numéricos, aparecendo a mensagem falso no caso da introdução de outro tipo de dado).

Drenagem – refere-se às condições de drenagem dos solos, sendo reconhecidas as seguintes classes: bem ou melhor drenado; moderadamente drenado; imperfeitamente drenado; mal ou muito mal drenado (só é aceito o registro de uma classe de drenagem, aparecendo mensagem de erro caso mais de uma tenha classe sido indicada).

Na planilha solo (Figura 8) são relacionados os parâmetros referentes às características pedológicas, considerando-se cinco faixas de profundidade (0-20, 20-50, 50-80, 80-120 e 120-150 cm), exceto no caso de mudança textural abrupta ou quando não se dispuser de análises de fertilidade. São eles:

Cor – refere-se à cor dominante, ou de mosqueados (manchas) presentes em determinada camada de solo, distinguindo-se: cor viva (cores amarelas, vermelhas ou vermelho-amarelas, de croma  $\geq 4$ , conforme a notação de Munsell); cor pouco viva (cores pálidas ou de tonalidade esmaecida, croma  $> 2$  e  $< 4$ ); e cor cinzenta (croma  $\leq 2$ ), que podem apresentar manchas (mosqueados) de cor cinzenta (croma  $\leq 2$ ), ou relacionadas à ocorrência de plintita (corpo distinto,  $> 2$  mm de diâmetro, em geral de cor avermelhada, rico em ferro, ou

ferro e alumínio, e pobre em matéria orgânica, com a propriedade de endurecer irreversivelmente quando exposto a ciclos sucessivos de umedecimento e secagem). Só é aceito o registro de uma cor dominante por camada, aparecendo mensagem de erro caso mais de uma cor tenha sido indicada; no caso de camadas variegadas, deve-se optar pela cor mais abundante, considerando-se a secundária cor como mosqueado.

Textura – refere-se à composição granulométrica da terra fina, sendo reconhecidas as seguintes classes: arenosa (< 150 g/kg de argila); média baixa (150-200 g/kg de argila); média (200-300 g/kg de argila); média alta (300-350 g/kg de argila); argilosa (350-600 g/kg de argila); muito argilosa (> 600 g/kg de argila). Só é aceito o registro de uma classe de textura, aparecendo mensagem de erro caso mais de uma classe tenha sido indicada.

Restrição física – inclui características do solo que podem constituir algum tipo de restrição ao desenvolvimento radicular ou à infiltração de água, ou influir no uso de máquinas, tais como: pedregosidade (fragmentos com mais de 2 cm de diâmetro em quantidade superior a 3%; inclui concreções ferruginosas); camada coesa (adensamento subsuperficial, em geral coincidente com o topo do horizonte B, que desaparece com o solo úmido); fragipã (horizonte de alta densidade, quebradiço quando úmido); duripã (horizonte endurecido, com cimentação extremamente forte); horizonte plíntico (camada com mais de 15 cm de espessura contendo pelo menos 15% de plintita); substrato rochoso (inclui bancada laterítica contínua ou semicontínua); altura do lençol freático (no período seco).

FEIÇÕES PEDOLÓGICAS

	PROFUNDIDADE (cm)					
	0-20	20-50	50-80	80-120	120-150	
Cor						cor viva (croma $\geq 4$ )
						cor pouco viva (croma $>2$ e $<4$ )
						cor cinzenta (croma $\leq 2$ )
						mosqueado cinzento (croma $\leq 2$ )
						mosqueado de plintita
Textura						arenosa ( $<150$ g/kg de argila)
						média baixa (150-200 g/kg de argila)
						média (200-300 g/kg de argila)
						média alta (300-350 g/kg de argila)
						argilosa (350-600 g/kg de argila)
					muito argilosa ( $>600$ g/kg de argila)	
Restrição Física						pedregosidade
						camada coesa
						fragipã
						duripã
						horizonte plintico
						substrato rochoso
					altura do lençol freático (período seco)	
Fertilidade						Valor S (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )
						Valor V (%)
						relação Ca/Mg
						álico
						distrófico
					eutrófico	
	Ausência de dados analíticos					
						fertilidade muito baixa
						fertilidade baixa
						fertilidade moderada
						fertilidade alta
						fertilidade muito alta
	Mudança Textural Abrupta					
						CONFIRMAR DADOS

FIGURA 8. Base de entrada de dados referentes às características pedológicas (planilha solo).

Fertilidade – refere-se ao potencial nutricional do solo, representado pela soma de bases trocáveis (Valor S, em  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e pela porcentagem de saturação por bases (Valor V), além da relação entre os teores de Ca e Mg (estas três características requerem valores numéricos, aparecendo a mensagem falso, caso outro símbolo seja introduzido). Caso não se disponha de dados analíticos completos, ou na ausência destes para alguma camada, a fertilidade pode ser estimada pelas condições de saturação representadas pelo caráter álico ( $> 50\%$  de saturação por alumínio), distrófico ( $< 50\%$  de saturação por bases) ou eutrófico ( $\geq 50\%$  de saturação por bases), considerados apenas se não forem apresentados dados analíticos (neste caso só é aceito o registro de uma condição de saturação, aparecendo mensagem de erro caso mais de uma condição tenha sido indicada). Na ausência total de dados analíticos referentes à fertilidade, o campo correspondente deve ser preenchido com qualquer letra ou símbolo, e escolhida uma das condições que aparecerão à direita como opção para estimativa da fertilidade (muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta), relativa ao solo como um todo (só é aceito o registro de um nível de fertilidade, aparecendo mensagem de erro caso mais de um nível tenha sido indicado).

Mudança textural abrupta – refere-se a um aumento acentuado do teor de argila dentro de pequena distância vertical ( $\leq 7,5\text{cm}$ ) do horizonte A para o B, correspondente ao dobro do conteúdo de argila ou a mais de 200 g/kg, caso o horizonte A apresente teores de argila superiores a esse valor (Embrapa, 2006).

#### Planilhas de Processamento dos Dados

O processamento dos dados introduzidos nas planilhas ambiente e solo é realizado em outras seis planilhas, que encontram-se ocultas (para visualizá-las é necessário acessar o comando Reexibir Planilhas, do menu Formatar).

Em cinco delas, denominadas fertilidade, água, oxigênio, erosão e mecanização, que se referem cada uma a um fator limitante, são determinados os

graus de limitação para os níveis de manejo SB e SC, conforme os critérios estabelecidos nas respectivas chaves de identificação (Figuras 2 a 6). Visando facilitar possíveis correções ou alterações dos critérios de avaliação, esta é realizada em etapas seqüenciais, conforme a seguinte estrutura, que rege a organização de cada uma das planilhas:

- as características consideradas na avaliação de determinado fator limitante (características distintivas) são relacionadas e testadas quanto à sua ocorrência (para cada uma delas é apresentada, em células correspondentes, em colunas à direita, uma descrição da característica e comentários sobre os resultados do teste);

- as condições necessárias para a realização da avaliação, referentes às informações consideradas indispensáveis, confirmação dos dados introduzidos, assim como a ausência de erros na entrada de dados, são verificadas;

- os critérios de avaliação, correspondentes ao conteúdo de cada uma das caixas que compõem as chaves de identificação, e que incluem uma ou mais das características distintivas, são relacionados e testados quanto à sua ocorrência (sim ou não), com base nos resultados dos testes prévios relativos a essas características (em coluna à direita é apresentada uma descrição de cada critério);

- as possibilidades de ocorrência simultânea dos critérios de avaliação, conforme definidas nas respectivas chaves de identificação, são confrontadas com base nos resultados do teste anterior e estabelecidos os graus de limitação, em condições naturais e para os dois níveis de manejo considerados.

A partir dos graus de limitação estabelecidos em cada uma das cinco planilhas citadas, é realizada a determinação das classes de aptidão silvicultural nos níveis de manejo SB e SC, de acordo com as regras definidas no quadro-guia (Tabela 9). Esse processo é efetuado em uma planilha denominada conv,

em que também são determinados os principais fatores limitantes ao uso com eucalipto.

#### Planilha de Apresentação dos Resultados

Os resultados da avaliação são apresentados na planilha aptidão silvicultural, da qual constam os graus de limitação referentes às cinco qualidades básicas, e a aptidão silvicultural para os níveis de manejo SB e SC, junto com outras informações sobre características da gleba de terra em avaliação, que compõem a fórmula representativa da aptidão silvicultural, aqui proposta. Nessa planilha é contemplada também a possibilidade de ajustes dos graus de limitação (por alteração direta), caso a área em avaliação apresente características especiais, não previstas nas chaves, ou a experiência do responsável pela avaliação assim o indicar.

#### **6.2 Comparação entre o sistema informatizado e o procedimento tradicional de avaliação da aptidão silvicultural**

Para exemplificar a utilização do sistema de avaliação proposto, foram selecionadas três unidades de mapeamento identificadas em uma área do ecossistema dos Tabuleiros Costeiros situada na região de Teixeira de Freitas, sul da Bahia (Curi & Ker, 2004), para cujos componentes principais foi realizada a avaliação da aptidão silvicultural, tanto de forma automática, através do sistema informatizado, como a partir das relações estabelecidas nas chaves de avaliação dos graus de limitação, e posterior comparação com o quadro-guia. Além do próprio conceito dos componentes das unidades de mapeamento, foram utilizados como referência para essa avaliação informações e resultados analíticos de perfis de solo representativos de cada um deles.

Os componentes principais das unidades de mapeamento selecionadas englobam:

1 - Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, textura arenosa/média, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano;

2 - Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico típico, textura arenosa, A proeminente, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano (área deprimida);

3 - Gleissolo Háptico Tb Eutrófico argissólico, textura média/argilosa, A moderado, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano.

Para os três casos, os resultados da avaliação pelo procedimento automático (Tabela 11) corresponderam de modo fidedigno aos obtidos pelo processo tradicional, a partir das interações expressas nas chaves e conversão pelo quadro-guia, além de mostrar um bom ajuste com os resultados esperados, frente às condições dominantes no meio. Assim, a área referente ao Argissolo Amarelo apresentou o maior potencial para exploração com eucalipto, com aptidão boa no nível de manejo menos desenvolvido e regular no nível tecnológico mais elevado, em decorrência da baixa fertilidade natural do solo, que eleva os custos de produção pela necessidade de aplicação de insumos. Já para a área de ocorrência de Espodossolos, cuja aptidão é apenas restrita nos dois níveis de manejo, as limitações mais significativas são a possibilidade de escassez de água no período seco, função da textura arenosa e lençol freático profundo, assim como a deficiência de oxigênio no período chuvoso, fator crítico para o desenvolvimento do eucalipto, que no caso da unidade dominada por Gleissolos torna inviável a exploração no nível tecnológico menos desenvolvido (classe inapta) e de possibilidade restrita no nível mais elevado, face à necessidade de investimentos de maior vulto que possibilitem sua correção.

TABELA 11. Graus de limitação e classificação da aptidão silvicultural nos níveis de manejo SB e SC dos componentes principais de três unidades de mapeamento de solos do ecossistema dos Tabuleiros Costeiros.

Graus de Limitação nos Níveis de Manejo SB e SC										Aptidão Silvicultural
Deficiência de Fertilidade		Deficiência de Água		Deficiência de Oxigênio		Suscetibilidade à Erosão		Impedimentos à Mecanização		
SB	SC	SB	SC	SB	SC	SB	SC	SB	SC	
----- Argissolo Amarelo Distrocoeso típico -----										
M/F <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L	L	N/L <sub>1</sub>	N/L <sub>2</sub>	N	N	N/L	N/L	<b>Ss</b>
----- Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico típico -----										
M/F <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M	M	L/M <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	N	N	N/L	N/L	<b>(ss)</b>
----- Gleissolo Háplico Tb Eutrófico argissólico -----										
M <sub>1</sub>	N/L <sub>2</sub>	N/L	N/L	M <sub>1</sub>	L/M <sub>2</sub>	N	N	N	N	<b>I(s)</b>

Esses resultados indicam uma boa adequação do método proposto de avaliação da aptidão silvicultural, assim como satisfatório o emprego do procedimento informatizado. Deve ser no entanto considerada a perspectiva de aprimoramento do sistema, num processo de validação que contemple os resultados de produtividade de diferentes clones de eucalipto em unidades de paisagem distintas dentro do ecossistema em questão, assim como incorpore resultados de pesquisa.

## 7 Considerações Finais

Esta proposição corresponde a uma formulação básica de um método para avaliação da aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros para uso com eucalipto. Constitui ferramenta importante tanto para avaliação de áreas específicas, como para orientação de pesquisas voltadas para a definição de

estratégias de manejo, ou como componente valioso no planejamento de uso da terra e zoneamentos diversos, e também como importante apoio para a silvicultura de precisão.

É importante destacar, no entanto, que por sua própria natureza, o método proposto não contempla todas as variáveis envolvidas, e portanto não deve ser entendido como indicação direta de uso das terras. A decisão quanto à ocupação de grandes áreas com a cultura do eucalipto requer uma abordagem mais abrangente, numa avaliação integrada de todos os condicionantes sócioeconômico-ambientais envolvidos.

O sistema deverá evoluir, ao longo de um processo de validação e ajustes que considere os resultados da produtividade de diferentes clones de eucalipto, em unidades de paisagem distintas dentro do ambiente em questão.

## 8 Referências Bibliográficas

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: \_\_\_\_\_. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2002. v.2, p.393-486.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

BENNEMA, J.; BEEK, K.J.; CAMARGO, M.N. **Interpretação de levantamentos de solos no Brasil**: primeiro esboço: um sistema de classificação da capacidade de aptidão de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos. Rio de Janeiro: DPFS/DPEA/MA/FAO, 1965. 51p.

CARMO, D.N.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.187-235.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos

do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.297-313, 2008.

CURI, N. Interpretação e decodificação do levantamento de solos das áreas da Aracruz Celulose S. A. no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S. A. no estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. p.70-80. (Boletim de Pesquisa, 1).

CURI, N.; KER, J.C. **Levantamento pedológico de áreas da Aracruz Celulose S.A. nos estados da Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais e sua interpretação para o cultivo de eucalipto e para o ambiente em geral**. Lavras: UFLA; Viçosa, MG: UFV, 2004. 105p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S. A. no estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. 111p. (Boletim de pesquisa, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p. (Documentos, 11).

GARLIPP, R.C. Importância econômica das florestas plantadas no Brasil e a contribuição da pesquisa em ciência do solo. **Boletim Informativo da SBCS**, Viçosa, MG, v.29, p.10-12, 2004.

JACOMINE, P.K.T. **Fragipans em solos de “Tabuleiros”**: características, gênese e implicações no uso agrícola. 1974. 113f. Tese (Livre Docência em Gênese, Morfologia e Classificação de Solos)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE

SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO PARA OS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC-CNPMP/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p.13-26.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação.** Campinas: SBCS, 1983. 175p.

MAIO, C.R. Relevo e estrutura. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Grandes regiões Meio-Norte e Nordeste.** Rio de Janeiro, 1962. v.3, p.9-173. (Série A. Publicação 17).

MARQUES, J.Q.A. **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação.** Rio de Janeiro: ETA, 1971. 433p.

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

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** Brasília, DF: SUPLAN-MA/EMBRAPA-SNLCS, 1978. 70p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 2.ed. Rio de Janeiro: SUPLAN-MA/EMBRAPA-SNLCS, 1983. 57p.

RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J.L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. In: \_\_\_\_\_. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: SBCS, 2002. v.2, p.593-643.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 5.ed. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

RESENDE, M.; LANI, J.L.; FEITOZA, L.R. **Assentamento de pequenos agricultores no estado do Espírito Santo: ambiente, homem e instituições.** Brasília, DF: Secretaria de Assuntos Estratégicos; Vitória: EMCAPA; Viçosa, MG: UFV, 1993. 152p.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 4., 1994, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995. 157p.

SOUZA, L.S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO PARA OS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC-CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p.36-75.

## ANEXOS

ANEXO A. Resultados de Análises Físicas e Químicas dos Solos Estudados	Página
TABELA A1. Coloração e resultados de análises físicas de horizontes dos solos estudados.....	227
TABELA A2. Resultados de análises químicas de horizontes dos solos estudados.....	231
TABELA A3. Resultados do ataque sulfúrico e magnetização das frações terra fina (TFSA), areia fina (A.F.), silte e argila de horizontes dos solos estudados.....	235

TABELA A1. Coloração e resultados de análises físicas<sup>1</sup>de horizontes dos solos estudados.

Solo	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Silte	Arg.	Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part.
			g kg <sup>-1</sup>							%	g cm <sup>-3</sup>		
P02 - Ac	0 - 9	5YR 3/3	0	383	617	246		187	467	0	100	1,10	2,30
P02 - Bwc2	74 - 120	2,5YR 3/5	385	302	313	308	146	135	411	247	40	0,33	3,04
P02 - BCc	183 - 230	10R 3/4	201	262	537	255	121	220	404	0	100	0,54	
Ex14 - A	0 - 10	6YR 3/2				461	92	168	279	43	85	0,60	2,48
Ex14 - B(?)c	100 - 120	1,5YR 3/6				360	109	154	377	0	100	0,41	3,46
Ex17 - Ae1	0 - 15	5YR 3/2				423	97	213	267	41	85	0,80	
Ex17 - Bic	27 - 70	2,5YR 4/6 <sup>2</sup>				237	85	43	635	106	83	0,07	
Ex20 - Bw	40 - 70	1,5YR 3/5				130	100	107	663	21	97	0,16	
Ex06 - A	0 - 26	10R 3/2				363	233	343	61	0	100	5,62	3,76
Ex06 - Bi	50 - 70	10R 3/3				389	180	288	143	0	100	2,01	3,97
Ex15 - A1	0 - 15	4YR 3/3				291	450	138	121	40	67	1,14	3,55
Ex15 - A2	15 - 29	3,5YR 3/3				194	432	192	182	81	55	1,05	3,12
Ex19 - A	0 - 25	10R 3/2				370	423	126	81	20	75	1,56	
Ex19 - Bi	45 - 90	9R 3/4				218	45	188	549			0,34	
Ex18 - Bic	42 - 65	1,5YR 3/4				185	154	197	464	0	100	0,42	
Ex04 - Bw	70 - 95	1,5YR 3/4				298	53	202	447	21	95	0,45	3,64
Ex16 - Bw	50 - 70	2,5YR 3/4	0	177	823	265	106	181	448	0	100	0,40	3,55
Ex12 - Bw	120 - 150	1,5YR 3/5				108	73	46	773	0	100	0,06	3,02
Ex13 - Bw	50 - 70	10R 3/4				233	152	224	391	0	100	0,57	3,92
P09 - Ac	0 - 12	3,5YR 3/3	0	166	834	372	50	227	351	62	82	0,65	3,22
P09 - ABc	12 - 25	2,5YR 3/4	180	574	246	441	47	143	369	82	78	0,39	
P09 - Bwc1	36 - 92	2,5YR 3/6	0	651	349	281	55	151	513	0	100	0,29	
P09 - Bwc2	92 - 122	2,5YR 3/4	0	579	421	327	51	172	450	0	100	0,38	

(...continua...)

TABELA A1, Cont.

Solo	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Silte	Arg.	Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part. g cm <sup>-3</sup>
----- g kg <sup>-1</sup> -----													
P04 - Ac	0 - 17	2,5YR 2,5/4	144	738	118	532	127	198	143	41	71	1,38	3,16
P04 - ABc	17 - 32	2,5YR 3/4	178	671	151	458	154	182	206	41	80	0,88	
P04 - Bic	32 - 58	10R 3/4	279	504	217	277	124	289	310	0	100	0,93	3,50
P04 - BCc	58 - 92	10R 3/3 <sup>3</sup>	370	423	207	382	126	268	224	0	100	1,20	
P04 - Cc	92 - 175	5YR 3/4 <sup>4</sup>	252	572	176	591	147	182	80	0	100	2,27	3,51
Ex08 - Bwc	55 - 121	1,5YR 3/4	300	630	70	160	130	270	440	270	39	0,61	
Ex08 - C	171 - 200	2,5YR 2,5/2	140	200	660	350	90	360	200	100	50	1,80	
Ex05 - Bw	75 - 110	2,5YR 3/6				200	42	105	653	105	84	0,16	2,94
P01 - Ap	0 - 21	3,5YR 3/2	0	64	936	184	237	373	206	0	100	1,81	3,08
P01 - ABc	21 - 40	3YR 3/2	0	125	875	245	294	255	206	0	100	1,24	
P01 - BAc	40 - 62	2,5YR 3/3	0	252	748	243	210	341	206	0	100	1,66	
P01 - Bic1	62 - 98	2,5YR 3/2	0	213	787	241	218	235	306	0	100	0,77	3,29
P01 - Bic2	98 - 139	2,5YR 3/2	0	154	846	204	282	207	307	0	100	0,67	3,43
P01 - Bic3	139 - 173	2,5YR 3/2	0	193	807	225	286	264	225	0	100	1,17	
P25 - A	0 - 22	1,5YR 3/4	0	27	973	282	127	223	368	143	61	0,61	3,57
P25 - BA	22 - 39	10R 3/4	0	49	951	224	122	206	448	143	68	0,46	3,70
P25 - Bw	39 - 54	10R 3/4	0	119	881	204	96	232	468	244	48	0,50	3,77
P25 - Bwc1	54 - 87	10R 3/3	147	466	387	202	112	218	468	244	48	0,47	3,77
P25 - Bwc2	87 - 103	2,5YR 3/4	197	396	407	250	102	282	366	0	100	0,77	3,77
P36 - A	0 - 8	4YR 3/4	0	0	1000	277	185	309	229	104	55	1,35	2,84
P36 - Bi2	69 - 100	2,5YR 4/6	0	48	952	244	256	211	289	0	100	0,73	3,05
P37 - A	0 - 22	5YR 3/2	0	24	976	168	128	435	269	0	100	1,62	3,17
P37 - Bi1	42 - 71	2,5YR 3/2	0	160	840	208	122	382	288	0	100	1,33	3,51
P37 - Bi2	71 - 123	5YR 3/2	0	72	928	146	129	376	349	0	100	1,08	3,33
P37 - Bi3	123 - 160	6,5YR 3/3	30	68	902	140	185	349	326	0	100	1,07	3,23
Ex03 - Bi1	31 - 61	4YR 3/4	0	26	974	271	182	241	306	0	100	0,79	2,88

(...continua...)

TABELA A1, Cont.

Solo	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Silte	Arg.	Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part.
			g kg <sup>-1</sup>								%	g cm <sup>-3</sup>	
P33 - A1	0 - 18	5YR 3/3	105	665	230	158	98	232	512	143	72	0,45	3,12
P33 - A2	18 - 28	3,5YR 3/3	43	682	275	127	88	253	532	20	96	0,48	3,22
P33 - AB	28 - 38	3,5YR 3/4	0	189	811	154	70	244	532	0	100	0,46	3,17
P33 - Bi1	52 - 81	5YR 4/5	0	32	968	131	72	305	492	0	100	0,62	3,22
P33 - Bi2	81 - 132	5YR 4/6 <sup>5</sup>	0	0	1000	103	62	280	555	0	100	0,50	3,17
Ex09 - Bw2	80 - 110	5YR 3,5/3				60	36	149	755	0	100	0,20	3,33
Ex09 - Bw3	110 - 140	6,5YR 4/4				33	38	125	804	0	100	0,16	3,41
Ex02 - Ap	0 - 21	2,5YR 3/4	0	0	1000	72	29	240	659	185	72	0,36	2,90
Ex02 - Bw1	37 - 75	10R 3/4	0	0	1000	68	29	223	680	62	91	0,33	2,94
Ex02 - Bw3	109 - 140	9R 3/4	0	0	1000	51	29	121	799	0	100	0,15	3,03
Ex10 - Bw	50 - 80	7,5R 3/2				202	62	198	538	0	100	0,37	3,58
P16 - A	0 - 10	4YR 3/4	0	0	1000	168	33	286	513	103	80	0,56	2,70
P16 - 2Bw1	50 - 76	2,5YR 4/7	0	271	729	139	39	106	716	0	100	0,15	
P21 - A	0 - 13	5YR 3/3	0	171	829	258	92	212	438	167	62	0,48	2,67
P21 - AB	13 - 24	5YR 3/4 <sup>6</sup>	0	275	725	291	94	178	437	271	38	0,41	
P21 - Bw2	45 - 68	1,5YR 4/6	0	265	735	160	72	152	616	0	100	0,25	2,86
P21 - 2Bwc	68 - 92	2,5YR 4/8	0	219	781	315	106	193	386	0	100	0,50	2,94
Ex11 - Bw	100 - 120	2,5YR 3/5				58	106	150	686	0	100	0,22	2,75
P24 - A	0 - 18	2,5YR 3/4	0	31	969	214	245	153	388	265	32	0,39	
P24 - Bw2	89 - 138	1,5YR 4/8	0	87	913	167	211	114	508	0	100	0,22	
MG07 - Bw1	63 - 122	2,5YR 3/6	0	0	1000	86	53	83	778	0	100	0,11	2,98
MG16 - Bw1	70 - 122	2,5YR 3/4	0	0	1000	111	109	268	512	0	100	0,52	3,39
MG17 - Bw2	68 - 115	3,5YR 3/4	0	0	1000	139	135	248	478	0	100	0,52	3,45
LR03 - Bw1	82 - 150	2,5YR 2,5/4	0	0	1000	110	110	220	560	0	100	0,39	
MG02 - Bi2	104 - 163	4YR 4/4	0	0	1000	137	141	246	476	0	100	0,52	
MG10 - Bwc2	59 - 92	5YR 4/6	160	661	179	165	88	130	617	0	100	0,21	

(...continua...)

TABELA A1, Cont.

Solo	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Calh.	Casc.	TFSA	A.G.	A.F.	Silte	Arg.	Arg. disp.	G.F.	Silte/ Arg.	Dens. part. g cm <sup>-3</sup>
			g kg <sup>-1</sup>									%	
AE20 - Bw	75 - 120	2,5YR 3/4	0	0	1000	140	120	110	630	0	100	0,17	
RP36 - Bw	80 - 120	2,5YR 3/6	0	0	1000	66	120	128	686	0	100	0,19	
RP29 - Bw	80 - 120	10R 3/4	0	0	1000	145	120	94	641	0	100	0,15	
LR05 - Bw	90 - 110	2,5YR 2,5/4	0	0	1000	30	100	160	710	0	100	0,23	
RP41 - Bw	60 - 80	2,5YR 3/2	0	0	1000	138	100	274	488	0	100	0,56	
RS15 - Bw2	100 - 130	6YR 4/4	0	0	1000	21	19	148	812	0	100	0,18	
AE10 - Bw	75 - 120	2,5YR 3/4	0	0	1000	50	90	120	740	0	100	0,16	
AE17 - Bt	60 - 100	10R 3/4	0	0	1000	100	170	130	600	450	25	0,22	
UFLA - Bw	140 - 160	2,5YR 3/4				81	47	101	771	0	100	0,13	2,87
RP12 - Bw	80 - 125	4YR 4/4	0	0	1000	134	68	99	699	0	100	0,14	
CL01 - Bw	80 - 120	2,5YR 3/5	0	0	1000	90	50	120	740	290	61	0,16	
CV11 - Bw	75 - 110	1,5YR 3/4	0	107	893	113	95	194	598	41	93	0,32	3,11
RP17 - Bi	35 - 70	2,5YR 2,5/4	0	0	1000	389	174	212	225	10	96	0,94	
LR02 - Bw	80 - 120	3,5YR 3/5	0	0	1000	140	420	80	360	0	100	0,22	
PT09 - Bw2	72 - 128	1,5YR 3/4	0	70	930	190	240	110	460	0	100	0,24	
PT09 - Bwc2	170 - 192	1,5YR 3/4	170	260	570	210	190	130	470	0	100	0,28	
CB02 - Bi	50 - 80	3,5YR 3/3				114	33	354	499	0	100	0,71	3,06
RP46 - Bw	80 - 125	2,5YR 4/6	0	0	1000	77	44	106	773	0	100	0,14	
RP03 - Bw	80 - 120	2,5YR 4/6	0	0	1000	52	41	142	765	0	100	0,19	

<sup>1</sup>Calh.: calhaus; Casc.: cascalhos; TFSA: terra fina seca ao ar; A.G.: areia grossa; A.F.: areia fina; Arg.: argila; disp.: dispersa em água; G.F.: grau de floculação; Dens. part.: densidade de partículas; <sup>2</sup>coloração variegada de 2,5YR 4/6 e 5YR 3/4, pontuações 5YR 3/2, manchas pretas e amarelas; <sup>3</sup>mosqueado comum, grande e distinto (5YR4/6 e 2,5YR 3/2); <sup>4</sup>coloração variegada de N2,5/, 7,5YR 5/6 e N3/; <sup>5</sup>mosqueado comum, grande e difuso 7,5YR 5/6; <sup>6</sup>mosqueado abundante, grande e distinto 3,5YR 4/6.

TABELA A2. Resultados de análises químicas<sup>1</sup> de horizontes dos solos estudados.

Solo	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	V	m	P assim	C org.	N total	C/N
	H <sub>2</sub> O	KCl														
	----- g kg <sup>-1</sup> -----										---	---	---			
											---	---	mgkg <sup>-1</sup>	--- g kg <sup>-1</sup> ---		
P02 - Ac	4,5	4,1	0,4		0,18	0,05	0,6	3,0	28,4	32,0	2	83	5	76,2	6,4	12
P02 - Bwc2	4,6	4,9	0,2		0,01	0,01	0,2	0,1	3,8	4,1	5	33	1	10,1	0,7	14
P02 - BCc	5,1	6,2	0,2		0,01	0,01	0,2	0	1,3	1,5	13	0	1	3,6	0,3	12
Ex14 - A	4,5	4,1	0,9	0,2	0,19	0,04	1,3	2,0	24,3	27,6	5	61	5	93,0	6,1	15
Ex14 - B(?)c	5,8	6,2	0,2		0,01	0,07	0,3	0	0,7	1,0	30	0	2	2,8	0,3	9
Ex17 - Ac1	4,9	4,2	0,9	0,5	0,09	0,05	1,5	0,3	7,8	9,6	16	17	2	24,0	1,8	13
Ex17 - Bic	5,6	5,6	0,1		0,01	0,06	0,2	0	2,6	2,8	7	0	1	11,2	0,7	16
Ex20 - Bw	5,6	5,6	0,1		0,03	0,02	0,1	0	4,3	4,4	2	0	1	19,9	1,4	14
Ex06 - A	5,8	5,4	0,6		0,04	0,03	0,7	0	3,4	4,1	17	0	2	8,4	0,8	10
Ex06 - Bi	6,5	6,5	0,2		0,01	0,03	0,2	0	0,8	1,0	20	0	1	0,6	0,2	3
Ex15 - A1	5,2	4,6	0,5		0,03	0,01	0,5	0	2,0	2,5	20	0	1	7,7	0,6	13
Ex15 - A2	5,0	4,7	0,3		0,02	0,02	0,3	0	2,0	2,3	13	0	1	6,5	0,8	8
Ex19 - A	4,7	4,0	0,5	0,5	0,04	0,01	1,0	0,2	4,3	5,5	18	17	1	12,8	0,9	14
Ex19 - Bi	5,3	5,5	0,2		0,01	0,03	0,2	0	2,1	2,3	9	0	2	6,5	0,4	16
Ex18 - Bic	6,1	6,2	0,2		0,01	0,02	0,2	0	1,3	1,5	13	0	1	8,5	0,7	12
Ex04 - Bw	6,1	6,0	0,2		0,01	0,01	0,2	0	2,2	2,4	8	0	<1	13,4	0,9	15
Ex16 - Bw	5,9	6,2	0,2		0,01	0,01	0,2	0	1,8	2,0	10	0	1	12,4	0,8	15
Ex12 - Bw	5,8	6,0	0,2		0,01	0,04	0,2	0	2,2	2,4	8	0	1	12,4	0,7	18
Ex13 - Bw	5,7	6,0	0,2		0,01	0,03	0,2	0	1,2	1,4	14	0	1	7,8	0,7	11
P09 - Ac	5,4	4,7	1,5	0,5	0,14	0,04	2,2	0	7,6	9,8	22	0	1	31,2	1,9	16
P09 - ABc	5,4	4,5	0,3		0,11	0,04	0,4	0,2	6,8	7,4	5	33	1	21,9	1,2	18
P09 - Bwc1	5,8	5,8	0,1		0,01	0,02	0,1	0	3,1	3,2	3	0	1	11,9	0,9	13
P09 - Bwc2	5,8	6,2	0,1		0,01	0,02	0,1	0	1,6	1,7	6	0	1	6,2	0,5	12

(...continua...)

TABELA A2, Cont.

Solo	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	V	m	P assim	C org.	N total	C/N
	H <sub>2</sub> O	KCl														
	----- g kg <sup>-1</sup> -----															
P04 - Ac	5,0	4,3	1,0	0,8	0,12	0,02	1,9	0,2	9,4	11,5	17	10	1	24,6	1,8	14
P04 - ABc	5,5	4,7		0,5	0,07	0,03	0,6	0,1	5,3	6,0	10	14	1	13,5	1,4	10
P04 - Bic	5,9	6,1		0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,9	2,0	5	0	1	7,8	0,7	11
P04 - BCc	5,8	6,4		0,1	0,01	0,01	0,1	0	0,8	0,9	11	0	1	2,4	0,3	8
P04 - Cc	5,7	6,5		0,1	0,01	0,01	0,1	0	0,3	0,4	25	0	1	0,5	0,1	5
Ex08 - Bwc	5,0	6,2		0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,6	1,7	6	0	1	4,2	0,4	10
Ex08 - C	4,9	6,1		0,2	0,01	0,01	0,2	0	1,8	2,0	10	0	2	0	0,1	0
Ex05 - Bw	5,9	5,7		0,2	0,01	0,05	0,3	0	3,3	3,6	8	0	1	14,4	1,1	13
P01 - Ap	5,9	5,5	2,3	1,9	0,15	0,02	4,4	0	5,6	10,0	44	0	1	20,1	0,9	22
P01 - ABc	5,5	5,6		0,5	0,05	0,01	0,6	0	3,6	4,2	14	0	1	6,1	0,6	10
P01 - BAc	5,1	6,0		0,4	0,02	0,01	0,4	0	2,9	3,3	12	0	1	2,5	0,2	12
P01 - Bic1	5,4	6,4		0,2	0,01	0,01	0,2	0	1,5	1,7	12	0	1	1,0	0,1	10
P01 - Bic2	5,4	6,6		0,2	0,01	0,01	0,2	0	1,0	1,2	17	0	1	0,8	0,1	8
P01 - Bic3	5,4	6,5		0,2	0,01	0,01	0,2	0	1,2	1,4	14	0	1	0,8	0,1	8
P25 - A	4,0	3,7		0,4	0,09	0,05	0,5	0,7	9,4	10,6	5	58	1	18,6	1,5	12
P25 - BA	4,2	4,1		0,1	0,03	0,03	0,2	0,2	6,2	6,6	3	50	1	11,3	1,0	11
P25 - Bw	4,6	4,4		0,1	0,02	0,02	0,1	0,1	5,1	5,3	2	50	1	9,9	0,9	11
P25 - Bwc1	4,8	4,7		0,1	0,01	0,02	0,1	0	4,4	4,5	2	0	1	8,4	0,8	10
P25 - Bwc2	5,0	5,3		0,1	0,01	0,01	0,1	0	2,6	2,7	4	0	2	4,6	0,4	11
P36 - A	5,4	4,8	3,3	1,5	0,21	0,04	5,0	0,2	10,1	15,3	33	4	2	38,8	3,7	10
P36 - Bi2	5,9	6,5		0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,0	1,1	9	0	2	6,0	0,5	12
P37 - A	5,0	4,3		0,1	0,12	0,03	0,2	0,4	8,8	9,4	2	67	2	13,2	1,8	7
P37 - Bi1	5,4	5,2		0,1	0,02	0,02	0,1	0	4,7	4,8	2	0	1	2,9	0,5	6
P37 - Bi2	5,7	5,6		0,1	0,03	0,01	0,1	0	3,7	3,8	3	0	2	2,0	0,3	7
P37 - Bi3	5,6	5,7		0,1	0,04	0,01	0,1	0	2,1	2,2	5	0	4	1,2	0,3	4
Ex03 - Bi1	5,4	4,9		0,1	0,06	0,02	0,2	0,1	3,3	3,6	6	33	2	6,0	0,9	7

(...continua...)

TABELA A2, Cont.

Solo	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	V	m	P assim	C org.	N total	C/N
	H <sub>2</sub> O	KCl														
P33 - A1	6,0	5,4	0,5	1,3	0,11	0,03	1,9	0	4,1	6,0	32	0	1	19,8	1,5	13
P33 - A2	5,9	5,6	0,9	0,07	0,03	1,0	0	3,1	4,1	24	0	1	15,9	1,3	12	
P33 - AB	6,3	6,3	0,4	0,03	0,02	0,4	0	1,3	1,7	24	0	1	9,8	0,9	11	
P33 - Bi1	6,5	7,1	0,1	0,01	0,02	0,1	0	0,3	0,4	25	0	1	3,8	0,4	9	
P33 - Bi2	6,4	7,2	0,1	0,01	0,02	0,1	0	0	0,1	100	0	1	2,4	0,3	8	
Ex09 - Bw2	7,0	6,8	0,2	0,01	0,08	0,3	0	0	0,3	100	0	<1	1,6	0,3	5	
Ex09 - Bw3	6,5	7,0	0,2	0,01	0,08	0,3	0	0,4	0,7	43	0	1	0,9	0,4	2	
Ex02 - Ap	5,1	4,4	0,3	0,07	0,03	0,4	0,2	7,4	8,0	5	33	1	22,8	2,0	11	
Ex02 - Bw1	5,1	5,0	0,1	0,02	0,02	0,1	0	4,7	4,8	2	0	1	17,6	1,3	14	
Ex02 - Bw3	5,7	6,2	0,1	0,01	0,02	0,1	0	1,5	1,6	6	0	1	7,6	0,6	13	
Ex10 - Bw	6,4	6,3	0,2	0,03	0,05	0,3	0	2,7	3,0	10	0	1	12,7	1,2	11	
P16 - A	5,1	4,4	0,4	0,10	0,02	0,5	0,4	8,2	9,1	5	44	1	29,7	2,2	13	
P16 - 2Bw1	5,9	5,7	0,2	0,01	0,01	0,2	0	2,6	2,8	7	0	1	11,4	0,9	13	
P21 - A	5,0	4,2	0,3	0,14	0,04	0,5	1,6	13,5	15,6	3	76	1	39,8	2,7	15	
P21 - AB	5,0	4,4	0,2	0,06	0,02	0,3	0,6	10,0	10,9	3	67	1	28,9	2,3	13	
P21 - Bw2	5,2	4,9	0,1	0,01	0,01	0,1	0	3,1	3,2	3	0	1	9,3	0,8	12	
P21 - 2Bwc	5,7	5,5	0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,5	1,6	6	0	1	3,7	0,4	9	
Ex11 - Bw	5,5	5,2	0,2	0,02	0,03	0,2	0	2,2	2,4	8	0	1	6,8	0,5	14	
P24 - A	4,9	4,2	0,6	0,12	0,01	0,7	0,8	7,2	8,7	8	53	1	20,1	1,8	11	
P24 - Bw2	5,8	6,0	0,1	0,01	0,01	0,1	0	1,0	1,1	9	0	1	3,4	0,4	8	
MG07 - Bw1	5,2	5,5	0,2	0,01	0,01	0,2	0	3,1	3,3	6	0	1	8,9	0,6	15	
MG16 - Bw1	5,5	5,1	0,3	0,02	0,01	0,3	0	3,9	4,2	7	0	7	8,3	0,6	14	
MG17 - Bw2	5,7	5,3	0,7	0,02	0,01	0,7	0	4,6	5,3	13	0	37	5,9	0,4	15	
LR03 - Bw1	6,1	5,8	0,2	0,02	0,06	0,3	0	4,3	4,6	7	0	15	3,7	0,4	9	
MG02 - Bi2	6,4	5,6	4,1	2,1	0,16	0,01	6,4	0	4,4	10,8	59	0	39	7,7	0,5	15
MG10 - Bwc2	5,0	4,7	0,5	0,02	0,01	0,5	0,1	6,2	6,8	7	17	29	12,3	0,8	15	

(...continua...)

TABELA A2, Cont.

Solo	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	V	m	P assim	C org.	N total	C/N
	H <sub>2</sub> O	KCl														
AE20 - Bw	5,0	5,1	0,9	0,03	0,02	0,9	0	3,2	4,1	22	0	1	7,5	0,7	11	
RP36 - Bw	4,9	4,5	0,3	0,02	0,01	0,3	0,6	3,5	4,4	7	67	1	7,7	0,6	13	
RP29 - Bw	4,8	5,4	0,7	0,11	0,01	0,8	0	2,2	3,0	27	0	1	8,7	0,7	12	
LR05 - Bw	6,4	5,7	0,9	1,2	0,07	0,02	2,2	0	2,6	4,8	46	0	1	7,0	0,8	9
RP41 - Bw	6,3	6,2	7,3	1,6	0,14	0,01	9,0	0	1,6	10,6	85	0	2	12,9	1,2	11
RS15 - Bw2	5,1	4,1	0,6	0,03	0,02	0,6	1,9	4,7	7,2	8	76	1	7,1	0,6	12	
AE10 - Bw	5,5	6,1	0,3	0,02	0,02	0,3	0	1,7	2,0	15	0	1	9,6	0,8	12	
AE17 - Bt	7,7	6,6	3,9	0,7	0,27	0,02	4,9	0	0,8	5,7	86	0	6	9,1	0,9	10
UFLA - Bw	5,7	5,6	0,3	0,04	0,15	0,5	0	2,7	3,2	16	0	1	7,5	0,6	12	
RP12 - Bw	5,2	4,8	0,5	0,04	0,04	0,6	0,1	5,0	5,7	11	14	1	10,7	0,8	13	
CL01 - Bw	6,1	6,3	0,2	0,02	0,02	0,2	0	1,5	1,7	12	0	1	7,0	0,8	9	
CV11 - Bw	6,4	6,9	0,6	0,01	0,01	0,6	0	1,5	2,1	29	0	1	4,0	0,6	7	
RP17 - Bi	6,4	5,5	0,3	1,9	0,02	0,01	2,2	0	2,3	4,5	49	0	1	5,4	0,6	9
LR02 - Bw	6,1	5,7	0,4	0,07	0,03	0,5	0	1,6	2,1	24	0	1	2,7	0,3	9	
PT09 - Bw2	5,9	4,8	0,6	0,11	0,01	0,7	0	1,9	2,6	27	0	1	3,0	0,5	6	
PT09 - Bwc2	6,2	5,1	0,4	0,24	0,02	0,7	0	1,5	2,2	32	0	1	2,5	0,4	6	
CB02 - Bi	5,3	4,3	0,2	0,05	0,01	0,3	0,6	6,0	6,9	4	67	1	18,1	1,5	12	
RP46 - Bw	4,4	5,2	0,5	0,01	0,04	0,5	0	3,6	4,1	12	0	1	11,9	0,8	15	
RP03 - Bw	5,5	5,9	0,4	0,01	0,01	0,4	0	3,6	4,0	10	0	1	8,5	1,9	4	

<sup>1</sup>Valor S - soma de bases; Valor T - capacidade de troca de cátions; m - saturação por alumínio.

TABELA A3. Resultados do ataque sulfúrico e magnetização das frações terra fina (TFSA), areia fina (A.F.), silte e argila de horizontes dos solos estudados.

Solo	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sat. Na	Magnetização			
											TFSA	A.F.	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----										----- J TKg <sup>-1</sup> -----			
P02 - Ac	27	228	326	8,0	2,0	0,4	0,20	0,11	1,10	<1	1,71	1,16	0,46	0,15
P02 - Bwc2	25	288	307	13,7	1,8	0,4	0,15	0,09	1,47	<1	0,5		0,2	0,35
P02 - BCc	28	263	372	15,4	1,4	0,6	0,18	0,09	1,11	<1	0,07		0,06	0,19
Ex14 - A	16	203	309	7,4	2,9	0,2	0,13	0,07	1,03	<1	1,97			
Ex14 - B(?)c	16	240	458	12,4	<0,1	1,4	0,11	0,05	0,82	7	1,63			
Ex17 - Ac1	12	101	669	2,7	0,1	0,5	0,20	0,04	0,24	<1	1,6			
Ex17 - Bic	10	168	614	2,6	<0,1	0,3	0,10	0,03	0,43	2	1,66			
Ex20 - Bw	24	231	393	14,1	<0,1	0,2	0,18	0,08	0,92	<1	4,24			
Ex06 - A	6	42	663	2,0	<0,1	24,2	0,24	0,02	0,10	<1	10,96	8,04	10,01	2,94
Ex06 - Bi	5	43	682	2,6	<0,1	14,4	0,20	0,02	0,10	3	8,38	4,16	7,18	2,63
Ex15 - A1	9	19	532	1,4	<0,1	4,1	0,81	0,04	0,06	<1	3,46			
Ex15 - A2	9	20	567	1,4	<0,1	1,7	0,76	0,04	0,06	<1				
Ex19 - A	11	30	839	3,5	<0,1	0,3	0,62	0,03	0,06	<1	15,72			
Ex19 - Bi	11	53	774	3,5	<0,1	0,3	0,35	0,03	0,11	1	6,92			
Ex18 - Bic	13	194	553	3,6	<0,1	1,1	0,11	0,04	0,55	1	6,78			
Ex04 - Bw	6	152	634	21,0	<0,1	0,4	0,07	0,02	0,38	<1	9,36	11,31	4,99	3,26
Ex16 - Bw	11	174	574	2,6	<0,1	0,6	0,11	0,03	0,48	<1				
Ex12 - Bw	35	257	370	4,3	1,9	0,3	0,23	0,12	1,09	2	0,74			
Ex13 - Bw	9	74	647	3,4	<0,1	3,1	0,21	0,03	0,18	2	9,26			
P09 - Ac	13	194	503	11,0	<0,1	1,1	0,11	0,04	0,61	<1	10,49	13,58	2,63	2,18
P09 - ABc										<1				
P09 - Bwc1	19	204	520	13,9			0,16	0,06	0,62	<1	5,61	9,65	1,72	1,74
P09 - Bwc2	20	190	573	13,2			0,18	0,06	0,52	1				

(...continua...)

TABELA A3, Cont.

Solo	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sat. Na	Magnetização			
											TFSA	A.F.	Silte	Argila
	-----g kg <sup>-1</sup> -----										-----J TKg <sup>-1</sup> -----			
P04 - Ac	16	88	584	5,1	<0,1	28,9	0,31	0,06	0,24	<1	7,86	8,89	3,01	2,33
P04 - ABc										<1				
P04 - Bic	19	114	610	6,7	0,2	7,8	0,28	0,06	0,29	<1	3,37	6,68	2,25	1,18
P04 - BCc	19	89	661	5,1			0,36	0,06	0,21	1				
P04 - Cc	24	38	651	2,5	<0,1	10,0	1,07	0,09	0,09	2	0,17	0,63	0,37	0,21
Ex08 - Bwc	13	194	558	9,6			0,11	0,04	0,55	<1				
Ex08 - C	16	159	458	4,8			0,17	0,06	0,54	<1	5,62	17,54		0,25
Ex05 - Bw	8	259	343	13,3	0,3	0,2	0,05	0,03	1,19	1	0,51	0,73	0,36	0,2
P01 - Ap	19	48	366	3,3	1,4	23,3	0,67	0,11	0,21	<1	4,9	3,97	5,01	5,76
P01 - ABc	13	56	388	5,1	1,1	30,1	0,39	0,07	0,23	<1				
P01 - BAc	11	64	399	5,8	1,0	36,5	0,29	0,06	0,25	<1				
P01 - Bic1	14	49	409	5,0	1,1	21,5	0,49	0,08	0,19	<1	3,69	3,04	2,73	2,83
P01 - Bic2	13	50	398	4,8	1,1	18,3	0,44	0,07	0,20	<1	3,45	1,91	2,75	2,17
P01 - Bic3	11	47	390	3,5	1,0	17,9	0,40	0,06	0,19	<1				
P25 - A	22	22	664	6,6	2,4	0,4	1,70	0,08	0,05	<1	6,87	3,87	2,48	2,04
P25 - BA	19	23	708	7,2	<0,1	0,3	1,40	0,07	0,05	<1				
P25 - Bw	19	25	684	6,4	0,1	0,4	1,29	0,07	0,06	<1		2,97		0,52
P25 - Bwc1	19	27	713	6,1	<0,1	0,7	1,20	0,07	0,06	<1				
P25 - Bwc2	19	23	701	5,3	<0,1	0,6	1,40	0,07	0,05	<1		1,89		0,37
P36 - A	12	64	322	7,4	<0,1	5,4	0,32	0,08	0,31	<1	3,21	1,11	1,88	2,11
P36 - Bi2	8	64	380	10,3	1,1	3,3	0,21	0,04	0,26	<1	3,53		0,19	1,65
P37 - A	42	79	408	4,3	2,1	66,6	0,90	0,21	0,30	<1	5,49	7,06	4,09	6,79
P37 - Bi1	36	93	412	3,5	1,4	48,6	0,66	0,17	0,35	<1	5,63	6,68	4,92	6,43
P37 - Bi2	44	88	411	3,5	0,1	38,8	0,85	0,21	0,34	<1				
P37 - Bi3	46	66	369	4,5	2,0	26,4	1,18	0,26	0,28	<1	1,6	2,45	1,05	1,28
Ex03 - Bi1	50	90	197	2,7	0,7	7,9	0,94	0,39	0,72	<1	0,21	0,06	0,23	0,43

(...continua...)

TABELA A3, Cont.

Solo	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sat. Na	Magnetização			
											TFSA	A.F.	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----										----- J TKg <sup>-1</sup> -----			
P33 - A1	50	195	438	9,4	1,0	3,1	0,44	0,18	0,70	<1				
P33 - A2	52	203	435	9,0	1,0	2,9	0,44	0,18	0,73	<1		16,32		0,56
P33 - AB	44	231	404	8,4	0,8	5,9	0,32	0,15	0,90	1		12,61		0,5
P33 - Bi1	35	239	410	8,9	0,7	3,4	0,25	0,12	0,92	5		5,06		0,2
P33 - Bi2	48	232	418	9,1	0,7	3,4	0,35	0,16	0,87	20		2,97		0,13
Ex09 - Bw2	37	208	504	8,5	<0,1	12,5	0,30	0,12	0,65	27	0,39		0,04	0,14
Ex09 - Bw3	45	203	502	9,2	<0,1	14,9	0,38	0,15	0,63	11	0,16		0,3	0,06
Ex02 - Ap	88	222	321	9,7	1,2	0,5	0,67	0,35	1,09	<1				
Ex02 - Bw1	85	226	337	9,7	1,0	0,4	0,64	0,33	1,05	<1		2,93		0,85
Ex02 - Bw3	75	231	374	10,2	0,9	0,4	0,55	0,27	0,97	1				
Ex10 - Bw	20	170	608	6,8	<0,1	5,1	0,20	0,06	0,44	2	10,38	30,44	10,93	3,31
P16 - A	35	264	200	11,1	1,3	0,1	0,23	0,15	2,07	<1	0,09	0,18	0,07	0,14
P16 - 2Bw1	40	292	225	14,0			0,23	0,16	2,04	<1	0,12	0,34	0,05	0,1
P21 - A	52	199	203	23,2	2,7	0,3	0,44	0,27	1,54	<1	1,95	2,12	0,75	0,13
P21 - AB										<1				
P21 - Bw2	54	225	244	24,6	2,8	0,2	0,41	0,24	1,45	<1	1,07	2,46	0,76	0,19
P21 - 2Bwc	60	200	306	20,0	0,1	0,2	0,51	0,26	1,03	<1	1,31	1,2	0,33	0,14
Ex11 - Bw	127	230	166	9,6	1,0	0,2	0,94	0,64	2,18	1	0,09			
P24 - A										<1				
P24 - Bw2	81	216	95	16,7			0,64	0,50	3,57	<1	0		0,03	0
MG07 - Bw1	44	236	281	58,2	3,1	0,3	0,32	0,18	1,32	<1	1,32		1,24	1,19
MG16 - Bw1	30	142	425	107,3	18,0	1,2	0,36	0,12	0,52	<1	9,82	16,24	16,39	4,17
MG17 - Bw2	43	132	417	106,0	28,5	2,2	0,55	0,18	0,50	<1	7,93	13,3	12,63	4,28
LR03 - Bw1	42	153	467	129,5			0,47	0,16	0,51	1	8,99	12,33		4,33
MG02 - Bi2	86	131	367	108,7	24,2	7,0	1,12	0,40	0,56	<1	5,91		11,79	1,5
MG10 - Bwc2	81	185	312	51,0	11,8	0,6	0,74	0,36	0,93	<1	1,85	6,62	4,9	0,18

(...continua...)

TABELA A3, Cont.

Solo	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sat. Na	Magnetização			
											TFSA	A.F.	Argila	
										%	J TKg <sup>-1</sup>			
----- g kg <sup>-1</sup> -----										-----				
AE20 - Bw	139	186	273	42,6			1,27	0,66	1,07	<1	1,77	5,56		0,59
RP36 - Bw	136	213	297	45,6			1,09	0,57	1,13	<1	3,39	11,87		0,54
RP29 - Bw	70	220	333	58,9			0,54	0,27	1,04	<1	1,3	0,8		1,76
LR05 - Bw	115	241	323	74,8			0,81	0,44	1,17	<1	3,47	6,88		2,48
RP41 - Bw	131	134	382	62,7			1,66	0,59	0,55	<1	1,82	0,24		0,86
RS15 - Bw2	202	213	189	30,6			1,61	1,03	1,77	<1	0,01	0,21	0,69	0
AE10 - Bw	42	251	289	29,3			0,28	0,16	1,36	1	0,82	0,32		0,69
AE17 - Bt	115	158	267	50,2			1,24	0,59	0,93	<1	0,89	0,82		0,79
UFLA - Bw	123	265	243	16,1	1,1	0,6	0,79	0,50	1,71	5	0,41			
RP12 - Bw	87	245	223	40,7			0,60	0,38	1,72	<1	0,96	4,25		0,06
CL01 - Bw	81	237	259	24,3			0,58	0,34	1,44	1	0,13	0,18		0,05
CV11 - Bw	69	194	380	17,9	<0,1	1,8	0,60	0,27	0,80	<1	2,56			
RP17 - Bi	71	50	467	1,3			2,41	0,35	0,17	<1	28,41	28,95		6,32
LR02 - Bw	45	98	226	68,5			0,78	0,32	0,68	1	4,24	5,41		1,55
PT09 - Bw2	102	130	149	8,0			1,33	0,77	1,37	<1	0,28	0,05		0,39
PT09 - Bwc2	112	158	190	8,4			1,21	0,68	1,31	<1	0,2	0,01		0,2
CB02 - Bi	49	191	322	6,5	1,6	0,2	0,44	0,21	0,93	<1	0,25			
RP46 - Bw	94	295	201	17,9			0,54	0,38	2,30	<1	0	0,3	0,12	0
RP03 - Bw	137	325	143	12,8			0,72	0,56	3,57	<1	0			0

## ANEXO B

Difratogramas de raios-X da fração argila orientada (montagem por esfregaço).

Abreviaturas: An - anatásio; Ct - caulinita; Gb - gibbsita; Gt - goethita; Hm - hematita; Mh - maghemita; Mi - mica; Pr - pirolusita; Qz - quartzo; Sp - serpentina; Td - todoroquita; VHE - vermiculita com hidróxi-entrecamadas; Vm-Es - interestratificados vermiculita-esmectita.

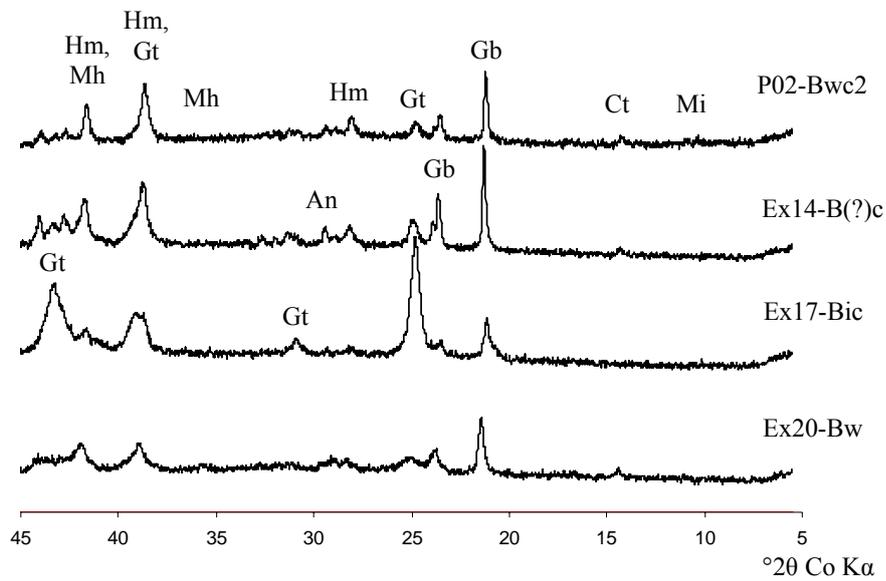


FIGURA B1. Difratoogramas de raios-X da fração argila orientada de solos do Quadrilátero derivados de itabirito, em posição de topo de serra.

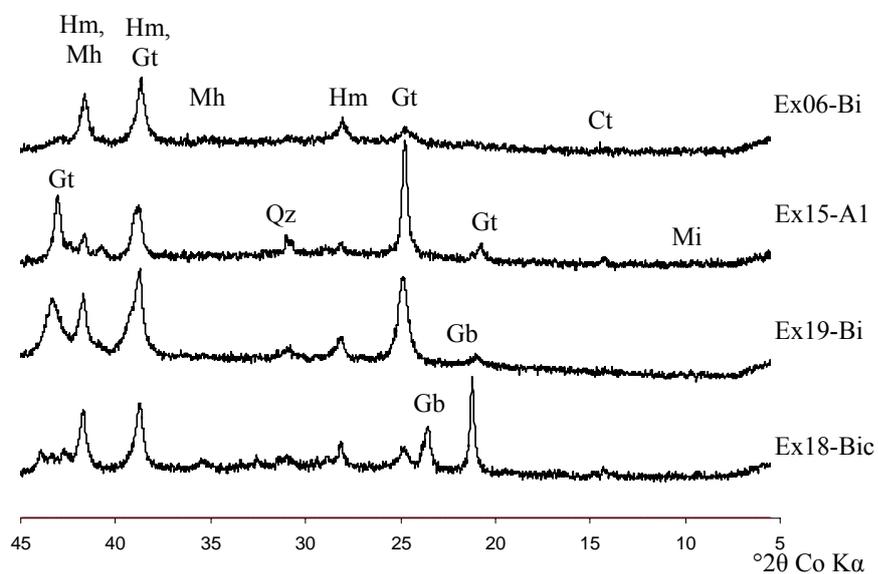


FIGURA B2. Difratoogramas de raios-X da fração argila orientada de solos do Quadrilátero derivados de itabirito, em posição de encosta de serra.

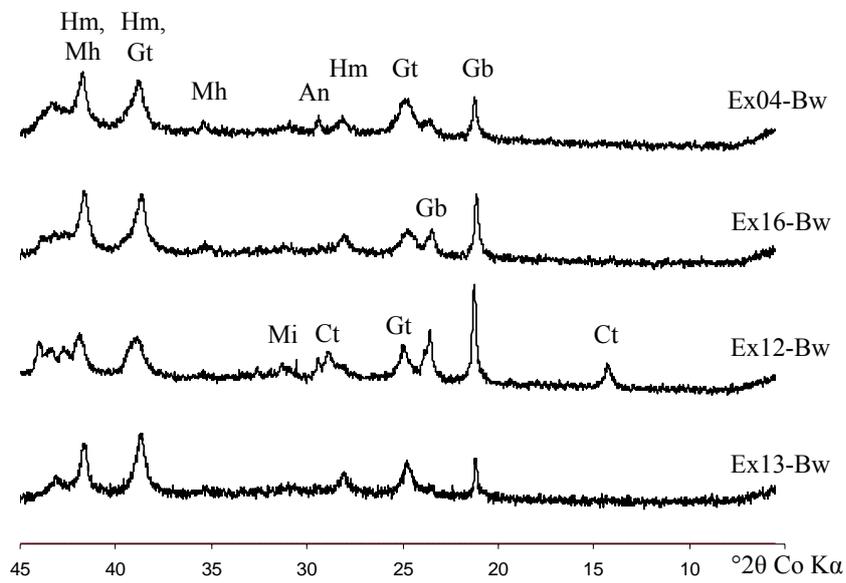


FIGURA B3. Difratomogramas de raios-X da fração argila orientada de solos do Quadrilátero Ferrífero desenvolvidos de itabirito, em posição de pedimento.

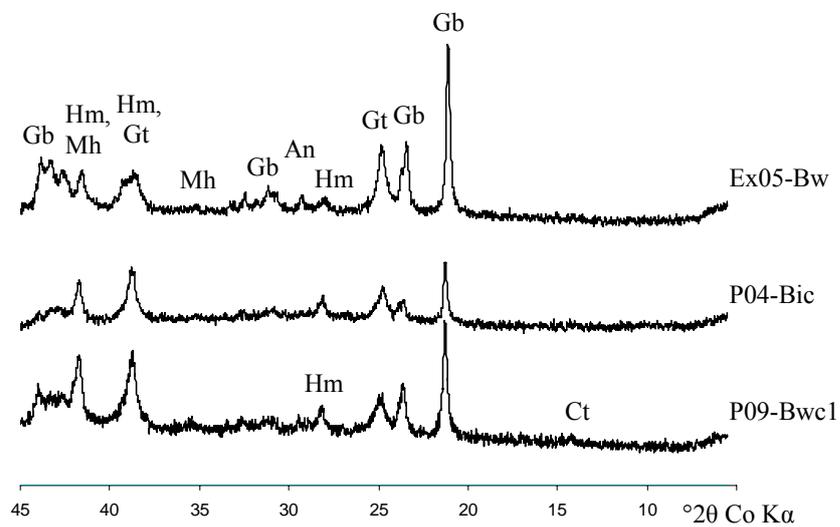


FIGURA B4. Difratomogramas de raios-X da fração argila orientada de solos do Quadrilátero Ferrífero desenvolvidos de dolomito ferruginoso do Platô da Moeda.

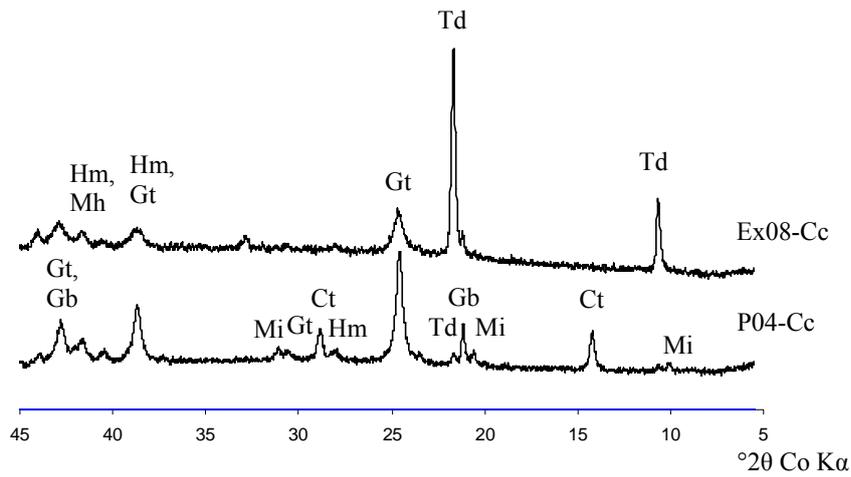


FIGURA B5. Difratoigramas de raios-X da fração argila orientada de horizontes C de solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso, do Platô da Moeda.

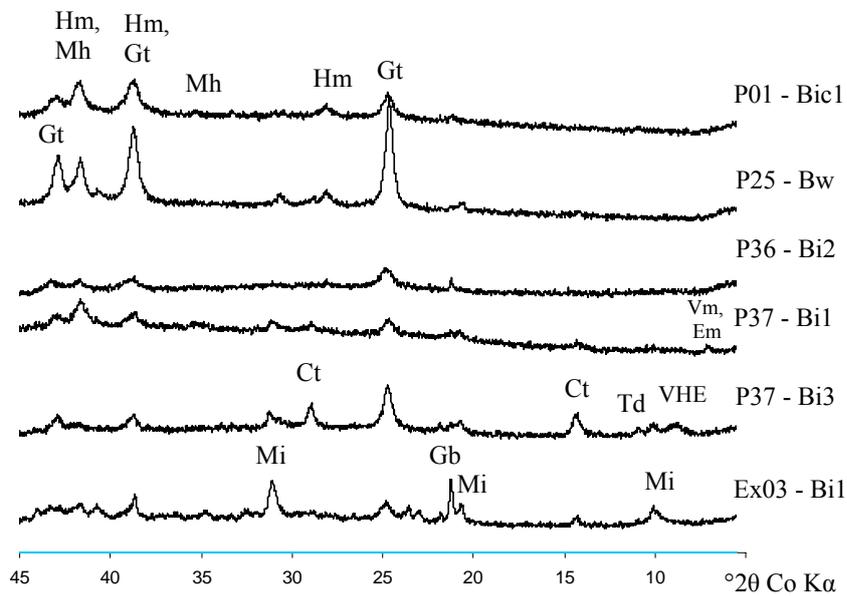


FIGURA B6. Difratoigramas de raios-X da fração argila orientada de solos desenvolvidos de dolomito ferruginoso, do ambiente Gandarela.

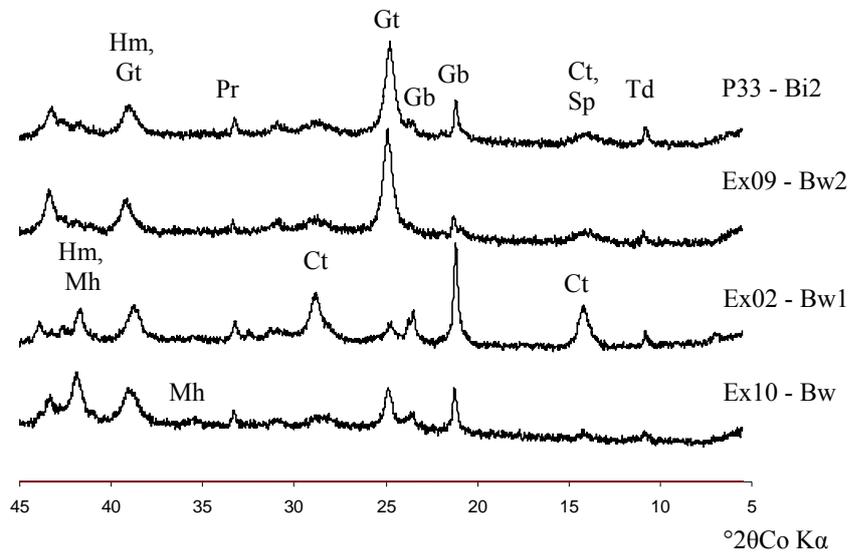


FIGURA B7. Difratogramas de raios-X da fração argila orientada de solos do Quadrilátero Ferrífero desenvolvidos de serpentinito.

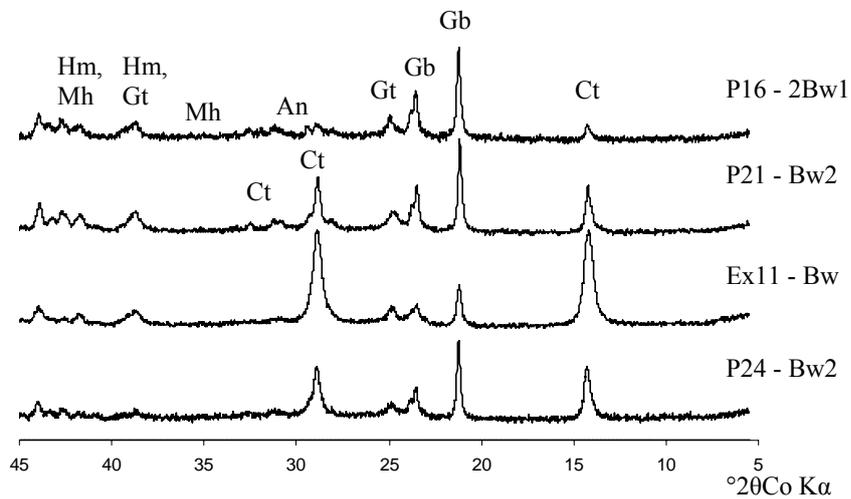


FIGURA B8. Difratogramas de raios-X da fração argila orientada de solos do Quadrilátero Ferrífero desenvolvidos de outros materiais de origem.

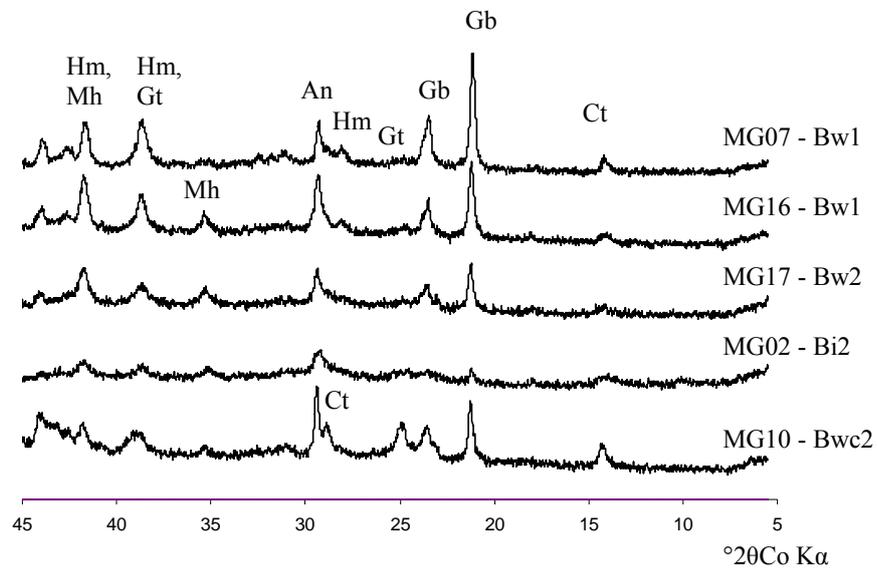


FIGURA B9. Difratomogramas de raios-X da fração argila orientada de solos desenvolvidos de tufito.

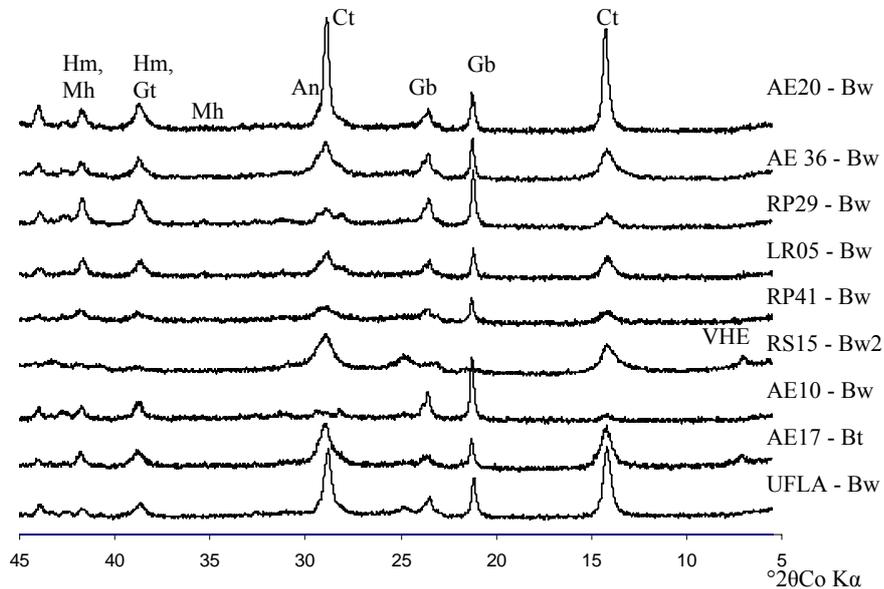


FIGURA B10. Difratomogramas de raios-X da fração argila orientada de solos desenvolvidos de rochas basálticas.

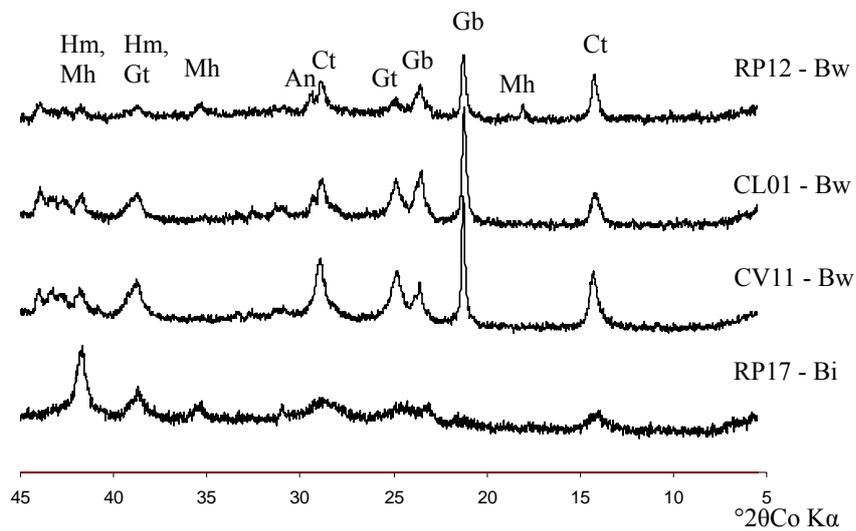


FIGURA B11. Difratoigramas de raios-X da fração argila orientada de solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas.

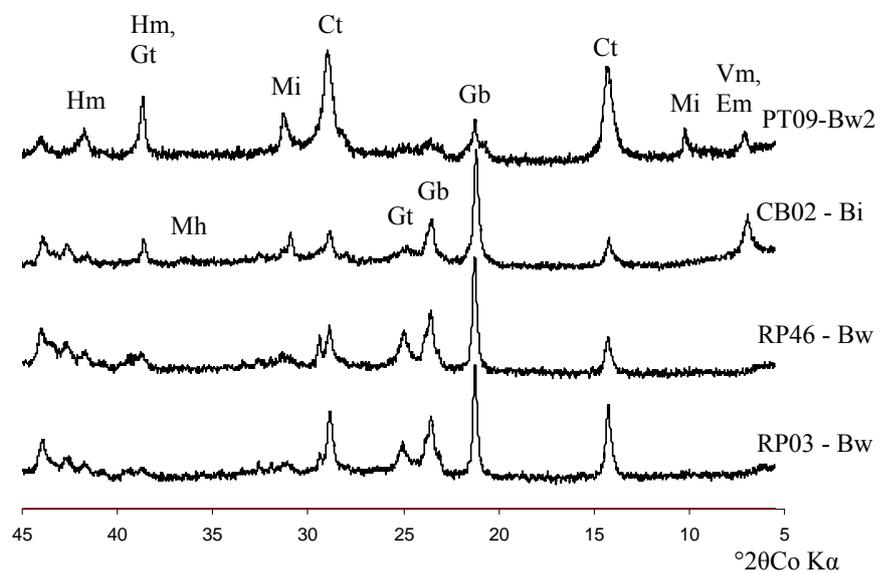


FIGURA B12. Difratoigramas de raios-X da fração argila orientada de solos desenvolvidos de materiais de origem diversos.