



**CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DE SAPROLITOS DE GNAISSE E DE  
BASALTO, E IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS**

**DALCIMAR REGINA BATISTA WANGEN**

2012

**DALCIMAR REGINA BATISTA WANGEN**

**CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DE SAPROLITOS DE GNAISSE E DE  
BASALTO, E IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutora”.

Orientador

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

W246c Wangen, Dalcimar Regina Batista, 1973-  
2012 Caracterização pedológica de saprolitos de gnaisse e de basalto, e  
implicações para o desenvolvimento de plantas / Dalcimar Regina  
Batista Wangen. -- 2012.  
148 f. : il.

Orientador: Gilberto Fernandes Corrêa.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pro-  
grama de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Solos - Fertilidade - Teses. 3. Plan-  
tas e água - Teses. 4. Plantas e solo - Teses. 5. Plantas - Desen-  
volvimento - Teses. I. Corrêa, Gilberto Fernandes. II. Universi-  
dade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. III. Título.

---

CDU: 631

**DALCIMAR REGINA BATISTA WANGEN**

**CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DE SAPROLITOS DE GNAISSE E DE  
BASALTO, E IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutora”.

APROVADA em 06 de fevereiro de 2012.

Prof. Dr. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer (UFV)

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira (UFU)

Dr. Guilherme Resende Corrêa (UFV)

Prof. Dr. João Carlos Ker (UFV)

Dr. João Herbert Moreira Viana (EMBRAPA - CNPMS)

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

Aos meus pais,  
Joana Cruvinel Batista e Joaquim Batista (*in memoriam*),

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de cursar o doutorado.

A CAPES, pela concessão da bolsa, a qual possibilitou a realização deste curso, com dedicação exclusiva.

A FAPEMIG, pelo financiamento do projeto que deu origem a esta tese.

Ao meu orientador, professor Gilberto Fernandes Corrêa, pela confiança, orientação e ensinamentos fundamentais à minha formação científica e profissional, bem como pela amizade.

Aos pesquisadores João Herbert Moreira Viana e Guilherme Resende Corrêa, bem como aos professores Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer, Hamilton Seron Pereira e João Carlos Ker, por terem aceitado participar da Banca de Defesa desta tese, e pela colaboração na realização deste trabalho.

Ao professor Elias Nascentes Borges, pela colaboração na realização das análises físicas, bem como pelo grande apoio na minha iniciação profissional.

À professora Regina Maria Quintão Lana, pela colaboração na realização das análises químicas.

Aos professores Adão de Siqueira Ferreira, Beno Wendling e Elias Nascentes Borges, por terem aceitado participar da Banca de Qualificação, bem como pela importante contribuição na melhoria dos projetos apresentados.

Ao professor Adriano Rodrigues dos Santos, do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, pela amizade, viagens de campo proporcionadas, bem como conhecimento compartilhado.

Ao Sr. Joaquim Lopes, funcionário técnico da Universidade Federal de Uberlândia, pelo companheirismo e apoio nos trabalhos de campo.

Ao Thiago Torres Costa Pereira, doutorando do departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio na realização das análises de digestão total, bem como auxílio na confecção dos difractogramas de raios-X.

À Fátima Resende Corrêa (esposa do prof. Gilberto), pelo apoio, paciência e compreensão durante estes cinco anos de trabalho árduo, compartilhados pelo professor Gilberto.

Ao Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos da Universidade

Federal de Viçosa, em Viçosa - MG, pela realização das análises mineralógicas.

Ao Laboratório de Física do Solo do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Embrapa, em Sete Lagoas - MG, pela determinação das constantes hídricas, bem como pela realização de parte das análises físicas.

Ao Laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Laboratório de Análises de Solos, bem como ao Laboratório de Pedologia, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia - MG, pela realização de grande parte das análises físicas e químicas.

A todos os funcionários dos laboratórios supracitados, pelo apoio na realização das análises.

Aos amigos Marco Aurélio Pontes Raimundo e Reinaldo Rodrigues Pimentel, pelo companheirismo e apoio na realização das análises físicas.

Aos colegas e professores de todas as disciplinas cursadas nos Programas de Pós-graduação em Agronomia do ICIAG-UFU, Geografia da UFU e Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP, pelo companheirismo e ensinamentos.

Aos funcionários da secretaria do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Maria Aparecida Fontoura e Eduardo Isaac Rodrigues, pelo apoio prestado durante a realização do curso de doutorado.

Aos colegas de curso e amigos, Heliomar Baleeiro de Melo Junior, Isabel Cristina Vinhal, Ivaniele Nahas Duarte e Tatiane Pereira Santos Morais, pela amizade, apoio e momentos compartilhados.

Às amigas e colegas de trabalho, Flávia Andrea Nery Silva e Alcione da Silva Arruda, pela confiança, carinho e apoio, fundamentais à minha iniciação profissional.

Aos meus pais, Joana Cruvinel Batista e Joaquim Batista (*in memoriam*), pelo amor, respeito, valores e educação transmitidos.

Ao meu esposo, Jeffrey Lee Wangen, pelo companheirismo, carinho, apoio e paciência, em todos os momentos.

Aos meus irmãos e irmãs, os quais sempre estiveram ao meu lado, me apoiando em todos os aspectos.

Aos meus sogros, cunhados, concunhada e sobrinhos, pelo carinho, apoio e momentos compartilhados, sempre.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus, pela vida e possibilidade de concluir mais este projeto.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
CAPÍTULO 1. SAPROLITOS .....	1
1. INTRODUÇÃO .....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3. QUADRO GERAL DO ESTUDO .....	8
3.1. Seleção das áreas de estudo .....	8
3.2. Abertura dos perfis para descrição e amostragem .....	10
REFERÊNCIAS .....	11
CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA .....	13
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
2.1. Teste de resistência à penetração .....	18
2.2. Coleta e preparo das amostras .....	18
2.3. Análises físicas .....	19
2.3.1. Análise granulométrica .....	19
2.3.2. Argila dispersa em água.....	19
2.3.3. Grau de floculação (GF) .....	19
2.3.4. Relação silte/argila .....	20
2.3.5. Densidade aparente ou do solo .....	20
2.3.6. Densidade de partículas ou real .....	20
2.3.7. Porosidade .....	20
2.4. Constantes hídricas .....	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
3.1. Caracterização física dos perfis .....	22
3.1.1. Caracterização textural (granulometria) .....	22
3.1.2. Porosidade e densidade .....	25
3.2. Resistência à penetração .....	28

3.3. Curvas características de retenção de água .....	31
4. CONCLUSÃO .....	36
REFERÊNCIAS .....	37
CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA .....	40
RESUMO .....	41
ABSTRACT .....	42
1. INTRODUÇÃO .....	43
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	45
2.1. Separação das frações areia grossa e argila .....	45
2.2. Análises mineralógicas .....	45
2.3. Análises geoquímicas .....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
3.1. Mineralogia .....	47
3.1.1. Minerais nos saprolitos de basalto .....	47
3.1.1.1. Fração argila .....	47
3.1.1.2. Fração areia .....	51
3.1.2. Minerais nos saprolitos de gnaisse .....	55
3.1.2.1. Fração argila .....	55
3.1.2.2. Fração areia .....	60
3.2. Geoquímica .....	67
4. CONCLUSÃO .....	71
REFERÊNCIAS .....	72
CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA .....	76
RESUMO .....	77
ABSTRACT .....	78
1. INTRODUÇÃO .....	79
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	82
2.1. Obtenção da terra fina seca ao ar .....	82
2.2. Análises químicas .....	82
2.2.1. pH em água e em KCl 1 mol L <sup>-1</sup> .....	82
2.2.2. Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> Al <sup>3+</sup> trocáveis .....	82
2.2.3. P e K <sup>+</sup> assimiláveis e Na <sup>+</sup> trocável .....	83
2.2.4. Soma de bases trocáveis (valor S) .....	83

2.2.5. $H^+ + Al^{3+}$ (Acidez potencial) .....	83
2.2.6. Capacidade de troca catiônica a pH 7 (Valor T ou CTC) .....	84
2.2.7. Capacidade de troca catiônica efetiva (Valor t ou CTC efetiva) .....	84
2.2.8. Percentagem de saturação por bases (Valor V) .....	84
2.2.9. Percentagem de saturação por $Al^{3+}$ (Valor m) .....	84
2.2.10. Sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) .....	84
2.2.11. Matéria orgânica .....	85
2.2.12. Nitrogênio (N) total .....	85
2.2.13. Relação C/N .....	85
2.2.14. Micronutrientes: Cu, Fe, Mn, Zn e B .....	86
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	87
3.1. Caracterização química dos perfis de basalto .....	87
3.2. Caracterização química dos perfis de gnaisse .....	93
4. CONCLUSÃO .....	99
REFERÊNCIAS .....	100
ANEXOS .....	104

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA</b>	
TABELA 1. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade dos perfis desenvolvidos de basalto (perfis 1 e 2) e de gnaisse (perfis 3 e 4) .....	26
TABELA 2. Densidade do solo e do saprolito de perfis desenvolvidos de basalto (perfis 1 e 2) e de gnaisse (perfis 3 e 4) .....	27
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA</b>	
TABELA 1. Alguns minerais primários e secundários e os possíveis produtos de sua intemperização .....	68
TABELA 2. Geoquímica dos principais elementos constituintes dos minerais nos saprolitos estudados, expressos na forma de óxido .....	68
<b>CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA</b>	
TABELA 1. TABELA 1. Fórmula química e nutrientes presentes nos minerais identificados nas frações argila e areia grossa de amostras dos perfis 1, 2, 3 e 4.....	91
TABELA 2. Teores de micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no solo e no saprolito dos perfis 1, 2, 3 e 4 .....	92

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA</b>	
FIGURA FIGURA 1. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2$ mm) nas amostras de solo e saprolito do perfil 1. <i>Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup></i> .....	22
FIGURA 2. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2$ mm) nas amostras de solo e saprolito do perfil 2. <i>Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup></i> .....	22
FIGURA 3. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2$ mm) nas amostras de solo e saprolito do perfil 3. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup></i> .....	23
FIGURA 4. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2$ mm) nas amostras de solo e saprolito do perfil 4. <i>A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup></i> .....	23
FIGURA 5. Resistência à penetração no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup></i> .....	29
FIGURA 6. Resistência à penetração no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup></i> .....	29
FIGURA 7. Resistência à penetração no perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup></i> .....	30
FIGURA 8. Resistência à penetração no Perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. <i>A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup></i> .....	30
FIGURA 9. Curva característica de retenção d água do perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap: A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup></i> .....	32
FIGURA 10. Curva característica de retenção de água do perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup></i> .....	32
FIGURA 11. Curva característica de retenção de água do perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm,</i>	

<i>Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup></i> .....	34
--	----

FIGURA 12. Curva característica de retenção de água do perfil 4 – Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm <sup>+</sup> .....	34
---	----

FIGURA 13. Água disponível nos perfis 1, 2, 3 e 4 .....	35
---	----

### CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA

FIGURA 1. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado - perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Observações: a) Profundidade das amostras: Cr1 = 76-120 cm, Cr2 = 120-186 cm, Cr3 = 186-290 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Ct = caulinita, An = anatásio, Hm = hematita Gb = gibbsita .....</i>	49
---	----

FIGURA 2. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado – perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Observações: a) Profundidade das amostras: Cr1 = 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280<sup>+</sup> cm. b) Minerais: Mi = mica, Em = esmectita, Ct = caulinita, An = anatásio, Hm = hematita, Gb = gibbsita .....</i>	50
---	----

FIGURA 3. DRX da fração areia, preparada em lâmina escavada – perfil - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Observações: a) Profundidade das amostras: Cr1 = 76-120 cm, Cr2 = 120-186 cm, Cr3 = 186-290 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Vm = vermiculita, mHl/Hl = metahaloisita/haloisita (caulinita ?), Qz = quartzo, Il = ilmenita, An = anatásio, Mg = magnetita, Mh = maghemita .....</i>	52
---	----

FIGURA 4. DRX da fração areia, preparada em lâmina escavada – perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Observações: a) Profundidade das amostras: Cr1 = 67-105 cm, Cr2 = 105-201 cm e Cr3 = 201-280<sup>+</sup> cm. b) Minerais: Fd = feldspato, Ms = muscovita, mHl/Hl = metahaloisita/haloisita, Qz = quartzo, Il = ilmenita, An = anatásio, Mg-Mh = magnetita-maghemita, Go = goethita .....</i>	53
--	----

FIGURA 5. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado - perfil 3 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>Observações: a) Profundidade das amostras: Cr3 = 97-140 cm, Cr4 = 140-170 cm, Cr5 – int. (Cr5 menos intemperizado) = 170-201 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Tc = talco (?), Cc = calcita, It = ilita, Em = esmectita, Ct = caulinita, An = anatásio, Ru = rutilo, Go = goethita, Gb = gibbsita .....</i>	56
--	----

FIGURA 6. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado - perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. <i>Observações: a) Profundidade das amostras: horizonte Bi/R = 18-45 cm, camadas Cr1 = 79-140 e Cr3 = 219-282 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Ms = muscovita, Ct = caulinita, Ru = rutilo, Gb = gibbsita .....</i>	57
--	----

FIGURA 7. DRX da areia, preparada em lâmina escavada - perfil 3 - Neossolo
--

Regolítico Tb eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>Observações: a) Profundidade das amostras:</i> Cr3 = 97-140 cm, Cr4 = 140-170 cm, Cr5 – int. (Cr5 menos intemperizado) = 170-201 <sup>+</sup> . <i>b) Minerais:</i> Cl = clorita, Cl-Vm = interestratificado clorita-vermiculita, Fd = feldspato, Af = anfibólito, Pi = piroxênio, St = estaurolita, Py = pirofilita, Qz = quartzo, Il = ilmenita, Ru = rutilo, An = anatásio, Mg = magnetita, Tt = titanita, Go = goethita, ? = não identificado .....	61
FIGURA 8. DRX da fração areia, preparada em lâmina escavada – perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. <i>Observações: a) Profundidade das amostras:</i> Bi/R = 18-45 cm, Cr1= 79-140, Cr3 = 219-282 cm <sup>+</sup> . <i>b) Minerais:</i> Cl = clorita, Fd = feldspato, Mi = mica, Mg = magnetita, Ms = muscovita, Qz = quartzo, Ru = rutilo .....	63
<b>CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA</b>	
FIGURA 1. Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-23 cm, <i>A/Cr:</i> 23-76 cm, <i>Cr1:</i> 76-120 cm, <i>Cr2:</i> 120-186 cm, <i>Cr3:</i> 186-290 cm <sup>+</sup> .....	87
FIGURA 2. Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-22 cm, <i>A/Cr:</i> 22-67 cm, <i>Cr1:</i> 67-105 cm, <i>Cr2:</i> 105-201 cm, <i>Cr3:</i> 201-280 cm <sup>+</sup> .....	88
FIGURA 3. Teores de Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> e K <sup>+</sup> trocáveis no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-23 cm, <i>A/Cr:</i> 23-76 cm, <i>Cr1:</i> 76-120 cm, <i>Cr2:</i> 120-186 cm, <i>Cr3:</i> 186-290 cm <sup>+</sup> .....	88
FIGURA 4. Teores de Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> e K <sup>+</sup> trocáveis no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-22 cm, <i>A/Cr:</i> 22-67 cm, <i>Cr1:</i> 67-105 cm, <i>Cr2:</i> 105-201 cm, <i>Cr3:</i> 201-280 cm <sup>+</sup> .....	88
FIGURA 5. Valores de acidez trocável (Al <sup>3+</sup> ), acidez potencial (H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-22 cm, <i>A/Cr:</i> 22-67 cm, <i>Cr1:</i> 67-105 cm, <i>Cr2:</i> 105-201 cm, <i>Cr3:</i> 201-280 cm <sup>+</sup> .....	89
FIGURA 6. Valores de acidez trocável (Al <sup>3+</sup> ), acidez potencial (H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-23 cm, <i>A/Cr:</i> 23-76 cm, <i>Cr1:</i> 76-120 cm, <i>Cr2:</i> 120-186 cm, <i>Cr3:</i> 186-290 cm <sup>+</sup> .....	89
FIGURA 7. Teores de P-assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-23 cm, <i>A/Cr:</i> 23-76 cm, <i>Cr1:</i> 76-120 cm, <i>Cr2:</i> 120-186 cm, <i>Cr3:</i> 186-290 cm <sup>+</sup> .....	90
FIGURA 8. Teores de P-assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. <i>Ap:</i> 0-23 cm, <i>A/Cr:</i> 23-76 cm, <i>Cr1:</i> 76-120 cm,	

<i>Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup> .....</i>	91
<b>FIGURA 9.</b> Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup> .....</i>	93
<b>FIGURA 10.</b> Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 4 – Cambissolo Háplico Tb distrófico típico. <i>A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup> .....</i>	94
<b>FIGURA 11.</b> Teores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{K}^+$ trocáveis no perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup> .....</i>	94
<b>FIGURA 12.</b> Teores de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{K}^+$ trocáveis no perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, substrato gnaisse. <i>A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup> .....</i>	95
<b>FIGURA 13.</b> Valores de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) do perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup> .....</i>	96
<b>FIGURA 14.</b> Valores de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) do perfil 4 – Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. <i>A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup> .....</i>	96
<b>FIGURA 15.</b> Teores de P assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, do perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. <i>A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup> .....</i>	97
<b>FIGURA 16.</b> Teores de P assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, do perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. <i>A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup> .....</i>	97

## **LISTA DE FOTOS**

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 1: SAPROLITOS</b>	
FOTO 1. Área 1, onde foi aberto o perfil 1 .....	8
FOTO 2. Área 2. Ao lado, local onde foi aberto o perfil 2 .....	8
FOTO 3. Vista geral do local onde está situada a Área 3. Em destaque (círculo vermelho) o local onde foi aberto o perfil 3 .....	9
FOTO 4. Vista geral da Área 4. Em destaque (círculo vermelho), local onde foi aberto o perfil 4 .....	9

## RESUMO

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Caracterização pedológica de saprolitos de gnaisse e de basalto, e implicações para o desenvolvimento de plantas.** 2012. 129 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

### **Caracterização pedológica de saprolitos de gnaisse e de basalto, e implicações para o desenvolvimento de plantas**

Em algumas regiões de clima úmido (tropical e subtropical) o saprolito pode ter grande espessura e, dependendo de seu grau de fraturamento, apresenta variados graus de limitação ao desenvolvimento do sistema radicular de plantas, bem como ao movimento de água ao longo do perfil. No entanto, saprolitos com maior grau de alteração podem se comportar de modo semelhante a determinados solos, no que concerne à drenagem, armazenamento de água, bem como fornecimento de nutrientes e suporte físico às plantas. Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de se contribuir com informações acerca de saprolitos e de sua importância para o desenvolvimento de plantas. Foram coletadas amostras em quatro perfis solo-saprolito, situados em áreas sob vegetação florestal secundária. Os solos de três dos perfis foram classificados como Neossolo Regolítico eutrófico típico (dois derivados de basalto e um de gnaisse – perfis 1, 2 e 3, respectivamente) e o solo do quarto perfil (desenvolvido de gnaisse – perfil 4) foi classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico. Foram realizadas análises físicas e químicas, usualmente empregadas para compor o quadro analítico de perfis de solos, além de análises mineralógicas, mediante a técnica de difractometria de raios-X (DRX), e análises geoquímicas, as quais consistiram na determinação dos teores totais dos principais elementos (expressos na forma de óxido) constitutivos dos minerais identificados nos perfis. Constatou-se que os perfis desenvolvidos de basalto apresentam textura fina e maior volume de poros totais (~ 55 % e 65 % nos perfis 1 e 2, respectivamente), contrastando com os perfis desenvolvidos de gnaisse, cuja textura foi mais grosseira e a porosidade total menor (~ 45 % e 40 % nos perfis 3 e 4, respectivamente). Os saprolitos dos quatro perfis evidenciaram altos valores de microporosidade (39-46 %, 48-56 %, 23-43 % e 30-37 %, nos perfis 1, 2, 3 e 4, respectivamente). Foram identificados os seguintes minerais na fração argila dos perfis de basalto: mica, esmectita, caulinita, anatásio, hematita e gibbsita, enquanto que na fração areia grossa os minerais constatados foram: feldspato, muscovita, vermiculita, haloisita-metahaloisita (caulinita?), quartzo, ilmenita, anatásio, magnetita-maghemita e goetita. No entanto, os perfis desenvolvidos de gnaisse diferem substancialmente entre si quanto à sua constituição mineralógica. A assembléia de minerais foi maior no perfil 3, com os seguintes minerais presentes na fração argila: talco, calcita, ilita, esmectita, caulinita, anatásio, rutilo, goethita e gibbsita, e na areia grossa: clorita, interestratificado clorita-vermiculita, feldspato, anfibólito, piroxênio, estaurolita, pirofilita, quartzo, ilmenita, rutilo, anatásio, magnetita, titanita e goethita. No perfil 4, foram identificados os seguintes minerais na fração argila foram: muscovita, caulinita, rutilo e gibbsita, e na fração areia: clorita, feldspato, mica, magnetita, muscovita, quartzo e rutilo. Nos saprolitos desenvolvidos de basalto o pH em água varia de alto (6,1-7,0) a muito alto (> 7,0), a saturação por  $\text{Al}^{3+}$  é nula e a saturação por bases é muito boa; a capacidade de troca catiônica (CTC) é muito boa no perfil 1 (> 15  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e boa (8,61 a 15  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) no perfil 2. No saprolito sob Neossolo de gnaisse (perfil 3) o pH em água varia de alto (6,1-7,0) a muito alto (> 7), a saturação por  $\text{Al}^{3+}$  é nula, e a saturação por bases e a CTC muito boas,

contrastando com o saprolito sob Cambissolo desenvolvido de gnaisse (perfil 4), cujo pH é baixo (4,5 a 5,4), saturação por  $\text{Al}^{3+}$  média (30,1-50,0 %), e saturação por bases baixa ( $\leq 20$  %) e CTC muito baixa ( $\leq 1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), o que indica maior grau de intemperismo e lixiviação. Concluiu-se que os saprolitos desenvolvidos de basalto e de gnaisse apresentam grande potencial para armazenamento e disponibilidade de água às plantas. No entanto, sua capacidade de fornecer nutrientes varia com seu grau de intemperismo e lixiviação. Os saprolitos sob Neossolo Regolítico apresentam considerável potencial para fornecer nutrientes às plantas, em contraste com o saprolito sob o Cambissolo Háplico Tb distrófico, bem mais pobre. Há uma estreita relação entre o solo e o saprolito subjacente, no que concerne à capacidade de manutenção de plantas arbóreas, cujo sistema radicular se desenvolve também nesta seção do regolito.

Palavras-chaves: Neossolo Regolítico, Cambissolo Háplico, alterito, mineralogia, geoquímica, relações solo-água-planta, fertilidade do solo.

---

<sup>1</sup>Orientador: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## ABSTRACT

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Pedological characterization of gneiss and basalt saprolite and its importance for plant development.** 2012. 129 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

### **Pedological characterization of gneiss and basalt saprolite and its importance for plant development**

Saprolite may be very thick in regions with humid tropical and subtropical climates. Depending on the degree of fracturing, saprolite can restrict root development and water movement throughout the profile. However, saprolite that has undergone greater alteration can function like soil in terms of drainage, water storage, nutrient supply and physical support for plants. Our objective was to contribute to knowledge about saprolite and its importance for plant development. Samples were collected from four soil-saprolite profiles located under second-growth forests. Soils from three of these profiles were classified as Haplustoll (two derived from basalt and one from gneiss - profiles 1, 2 and 3, respectively) and soil from the remaining profile was classified as Ustochrept derived from gneiss (profile 4). The samples were characterized by standard physical and chemical analyses, mineralogical analysis by X-ray diffraction (XRD), and geochemical analysis via identification of the most significant elements (expressed as oxides) of the constituent minerals. The basalt profiles were finely textured and had higher total pore volumes (~55% and 65% in profiles 1 and 2, respectively), whereas the gneiss profiles had coarser texture and lower total porosity (~ 45 % and 40 % in profiles 3 and 4, respectively). The microporosity of the saprolite was 39-46 %, 48-56 %, 23-43 % and 30-37 %, in profiles 1, 2, 3 and 4, respectively. The clay of the basalt profiles contained mica, smectite, kaolinite, anatase, hematite and gibbsite whereas the coarse sand contained feldspar, muscovite, vermiculite, halloysite-metahalloysite (kaolinite?), quartz, ilmenite, anatase, magnetite, maghemite and goethite. The mineral compositions of the gneiss profiles differed substantially from each other. Profile 3 had the greatest number of minerals with talc, calcite, illite, smectite, kaolinite, anatase, rutile, goethite and gibbsite in the clay and chlorite, interstratified chlorite-vermiculite, feldspar, amphibole, pyroxene, staurolite, pyrophyllite, quartz, ilmenite, rutile, anatase, magnetite, titanite and goethite in coarse sand. In profile 4, muscovite, kaolinite, rutile and gibbsite were identified in the clay and chlorite, feldspar, mica, magnetite, muscovite, quartz and rutile were identified in the sand. In the basalt saprolite, pH in water ranges from high (6.1 to 7.0) to very high (> 7.0), Al<sup>3+</sup> saturation is zero, base saturation is very good and cation exchange capacity (CEC) is very good in profile 1 (> 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) and good in profile 2 (8.61 to 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). In the gneiss saprolite (profile 3) the pH in water varies from high (6.1-7.0) to very high (>7), Al<sup>3+</sup> saturation is zero and base saturation and CEC are both very good. These numbers contrast with those of the gneiss saprolite (profile 4) where pH is low (4.5 to 5.4), Al<sup>3+</sup> saturation is average (30.1-50.0%), base saturation is low ( $\leq$  20 %) and CEC is very low ( $\leq$  1.6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). These values indicate greater weathering and leaching. We concluded that basalt and gneiss saprolites have great potential to store and supply water to plants. However, the ability of these saprolites to supply nutrients varies with the degree of weathering and leaching. Saprolite under Haplustoll soil has considerable potential to supply nutrients to plants, unlike the much poorer saprolite under Ustochrept soil. There is a direct relationship between the soil

and its underlying saprolite. This is especially significant for woody plants in this region of the regolith given that their root development occurs in the soil and the saprolite.

Keywords: Haplustoll, basalt and gneiss alterite, mineralogy, geochemistry, soil-water-plant relationship, soil fertility.

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## **CAPÍTULO 1**

### **SAPROLITOS**

## 1. INTRODUÇÃO

O material resultante do intemperismo mais ou menos intenso da rocha e que ainda mantém a estrutura original da mesma, no sentido petrológico, é denominado saprolito (HANDAM; BURNHUM, 1996). De acordo com a etimologia, saprolito refere-se à porção do manto de alteração constituído pela rocha apodrecida, o qual tem sido tratado como um dos materiais de origem do solo (EMBRAPA, 1982).

O saprolito tem sido muito pouco contemplado em pesquisas pedológicas. No entanto, ultimamente seu estudo vem sendo requerido, uma vez que, particularmente em solos rasos, o mesmo é também explorado pelo sistema radicular, com variados graus de limitação ao seu livre desenvolvimento. De certa forma, este fato estende o conceito de solo, considerado como “um meio propício ao desenvolvimento de plantas”. A presença de raízes da vegetação nativa nesta porção do regolito, particularmente em solos rasos, indica que aí as plantas encontram água e nutrientes, essenciais para sua sobrevivência. Isto assume importância capital quando estas reservas são limitadas devido à pequena profundidade dos solos, quadro comum em litologias basálticas e gnáissicas em áreas íngremes. O presente estudo foi conduzido em áreas sob vegetação florestal secundária (florestas tropical caducifólia e subcaducifólia) em Neossolos Regolíticos e Cambissolo, fases substratos basalto e gnaisse, expostos em cortes de barranco de estradas.

O saprolito, também denominado de camada Cr na descrição morfológica de perfis de solos, é considerado como material de origem destes e, por esta razão, pouco foi estudado do ponto de vista pedológico. Atualmente tem-se repensado sobre sua importância para o desenvolvimento de plantas, particularmente em solos rasos, sendo que seu estudo tem sido estimulado.

Neste contexto, a pesquisa ora proposta foi conduzida em áreas sob vegetação florestal secundária, sobre solos rasos (Neossolos e Cambissolo), com presença de saprolito a pouca profundidade, e objetivou contribuir no que concerne aos conhecimentos a respeito do saprolito, bem como de sua importância para o desenvolvimento das plantas, sobretudo aquelas com sistema radicular profundo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Saprolito é conceituado como o material resultante do intemperismo mais ou menos intenso da rocha. Este mantém a estratificação original da rocha, podendo apresentar qualquer dureza compatível com a condição de rocha semi-alterada (EMBRAPA, 1999), porém macio o suficiente de modo que possa ser penetrado por uma pá de lâmina afiada ou uma faca (SCHAETZL; ANDERSON, 2005). De acordo com a etimologia, o termo saprolito refere-se à porção do manto de alteração constituído pela rocha apodrecida, de qualquer origem - ígneas, metamórficas e sedimentares (CURI et al., 1993), e tem sido tratado como material de origem do solo (EMBRAPA, 1982).

O saprolito situa-se entre a rocha inalterada e o solo, juntamente com o qual constitui a camada superficial da crosta terrestre conhecida como regolito (STÜRMER, 2008). A diferenciação entre saprolito e rocha consolidada se faz pela compressão não confinada menor que 100 MPa (BUOL, 1994), enquanto que o saprolito se distingue do solo por apresentar predomínio de mecanismos de alteração geoquímicos sobre os pedogenéticos (CALVERT et al., 1980, *apud* PEDRON, 2007).

Embora o saprolito tenha sido referido na literatura por meio dos símbolos C (CURI et al., 1993; PEDRON et al., 2009; TOLEDO et al., 2008), Cr (SANTOS et al., 2005; OLIVEIRA, 2005; PEDRON et al., 2009), CrR (PEDRON et al., 2009; OLIVEIRA, 2005), RCr (PEDRON et al., 2009) e R (OLIVEIRA, 2005), as notações mais adequada para indicá-lo são Cr e CrR (OLIVEIRA, 2005; PEDRON et al., 2009). O símbolo C se refere ao “horizonte” no qual predomina a estrutura do solo, enquanto que Cr se aplica à “camada” que ainda preserva a estrutura da rocha, mas que pode ser escavada com uma pá (SANTOS et al., 2005, *apud* PEDRON et al., 2009). As notações CrR e RCr, por sua vez, se empregam para rocha moderadamente alterada (CrR) a fracamente alterada (RCr), enquanto o símbolo R se refere à rocha sã ou muito fracamente alterada (EMBRAPA, 2006). Outra falta de consenso entre os pesquisadores, para a qual Azevedo e Vidal-Torrado (2006) chamam a atenção, é em relação ao termo “mais apropriado” para se referir à rocha podre: saprolito ou saprólico?

Quando formado em regiões sob clima úmido, tropical e subtropical, o saprolito pode apresentar grandes espessuras, chegando a atingir até dezenas de metros (STÜRMER et al., 2008), principalmente quando derivado de rochas ígneas e

metamórficas (CURI et al., 1993). Em muitas situações, essa camada chega a constituir a maior parte do volume do regolito (OLIVEIRA, 2005).

Dependendo do grau de intemperismo e da composição da rocha parental, os saprolitos podem sofrer intemperismo isovolumétrico ou colapsado. O colapso ocorre quando os minerais são intemperizados e seus produtos são removidos em solução, resultando em grande perda de massa e volume. Esse tipo de intemperismo é comum em rochas com elevadas quantidades de minerais solúveis, como é o caso da rocha calcária (SCHAETZL; ANDERSON, 2005). Alternativamente, a formação de saprolitos a partir de rochas cristalinas é comumente isovolumétrica, ou seja, embora haja perda de massa, o volume não varia, ou varia muito pouco (STOLT; BACKER, 2000, *apud* SCHAETZL; ANDERSON, 2005). Neste caso, a estrutura da rocha parental (originalmente expressa pelo arranjo dos minerais primários, como, por exemplo, cristais e grãos) se mantém preservada (EGGLETON, 2001).

Devido à grande variação em sua morfologia e estágios de alteração (STÜRMER, 2008), os saprolitos podem apresentar diversos graus de limitações ao livre desenvolvimento de raízes (EMBRAPA, 1999) e ao movimento de água ao longo do perfil (LIETZKE; WEBER, 1981). No entanto, estima-se que saprolitos com maior grau de alteração possam apresentar comportamento semelhante ao de solos, no que se refere à drenagem e armazenamento de água, retenção e transformação de substâncias e fornecimento de nutrientes aos organismos vivos (PEDRON, 2007). A infiltração de água no solo guarda estreita relação com o grau de fraturamento do saprolito (STÜRMER, 2008), bem como da rocha subjacente.

Frequentemente, a rocha intemperizada apresenta apreciável porosidade e, assim como o solo, pode conduzir e armazenar volumes consideráveis de água. Essa característica é de grande importância para o suprimento de água, sobretudo em solos rasos, localizados em regiões sujeitas a períodos sazonais (STERNBERG et al., 1996). Nos Estados Unidos, em Piedemont e na Província de Montanhas do Estado da Carolina do Norte, existe uma extensa região caracterizada pela ocorrência de solos rasos e saprolitos profundos. Aí, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de se caracterizar, física, química e mineralogicamente o saprolito, dada a importância do mesmo para o suprimento de água e nutrientes, essenciais para a manutenção da vegetação florestal local (SCHOENEBERGER et al., 1991, KRETZSCHMAR et al., 1998, BUOL; WEED, 2003; McVAY et al., 2004).

Embora saprolitos associados a solos rasos ocupem extensas áreas no Brasil

(MACHADO, 1997), seu estudo tem sido muito pouco contemplado em pesquisas pedológicas. Nas descrições de perfis de solos contidas nos boletins de levantamentos pedológicos, por exemplo, as descrições geralmente se limitam a mencionar essa seção como rocha semi-alterada, enquanto que a descrição de determinados perfis com presença de saprolito carece de informações (OLIVEIRA, 2005).

Pedron (2007) destaca o fato de o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) fazer referência ao contato lítico fragmentário (definido como material endurecido subjacente ao solo, onde o alto grau de fraturamento permite a penetração de raízes e a livre circulação de água), sem no entanto, estabelecer critério diagnóstico que caracterize a presença de camada saprolítica. Conforme este mesmo autor, nessa camada (contato lítico fragmentário) pode ocorrer materiais friáveis que permitem a penetração de raízes, retenção de água e até fornecimento de nutrientes, caracterizando-se como um ambiente favorável ao crescimento de raízes, permitindo o desenvolvimento de espécies anuais e perenes. Este fato é de grande importância para solos rasos, como Neossolos, os quais têm seu potencial de uso superior ao usualmente estimado devido, à presença dessa camada próxima à superfície.

Para Machado (1997), a carência de estudos focados no saprolito se deve ao fato de o mesmo não ser explorado pelo sistema radicular de plantas cultivadas, quando associado a solos profundos. No entanto, quando de sua ocorrência sob solos rasos, nos quais a seção passível de exploração do sistema radicular é limitada, devido a pouca profundidade efetiva do mesmo, a importância do saprolito deve ser considerada.

Para Sternberg et al., (1996), o saprolito é um componente essencial do ecossistema, particularmente onde o solo é raso e sujeito a uma estação seca, detentor de propriedades significantes para classificação, interpretação e mapeamento de solos. De acordo com Machado (1997), a presença de saprolito a pouca profundidade, dependendo de seu grau de dureza, intensidade de fraturamento e de alteração, bem como de sua permissividade ao enraizamento das plantas, deveria se considerado como critério distintivo nos levantamentos de solos executados em nosso país.

Possivelmente, devido à inexistência de informações mais precisas e detalhadas sobre o saprolito, alguns solos com presença desse material a pouca profundidade, e em igualdade de condições de relevo e cobertura vegetal, têm sido interpretados, sob o ponto de vista de aptidão agrícola ou de capacidade de uso, como pertencentes a uma mesma unidade de manejo e classe (MACHADO, 1997), o que pode contribuir para

subestimar o potencial de uso de solos rasos, com presença de camadas saprolíticas profundas.

Marques et al. (2007), ao realizarem estudo de caracterização e classificação de Neossolos na Ilha de Fernando de Noronha (PE), não conseguiram enquadrar adequadamente alguns solos pertencentes a essa classe no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006). Diante de tal fato, estes mesmos autores sugeriram a criação de uma nova subordem, a dos Neossolos “Saprolíticos”, a fim de que solos com horizonte A assente sobre saprolito (A-Cr-R) e com contato lítico superior a 50 cm de profundidade sejam devidamente classificados, e não apenas incluídos entre os Neossolos Regolíticos reconhecidos até o presente, cujo grau de desenvolvimento é ligeiramente mais avançado e possuem morfologia bem distinta, com sequência de horizontes A-C-R.

Pedron et al. (2009), por sua vez, sugerem a troca do termo “Regolítico”, empregado no segundo nível na classificação dos Neossolos (Neossolos Regolíticos), por “Saprolítico” (Neossolos Saprolíticos), a fim de que o SiBCS passe a contemplar Neossolos apresentando características morfológicas importantes, relacionadas aos diferentes graus de resistência do saprolito, ignoradas presentemente.

Conforme Azevedo e Vidal-Torrado (2006), devido à importância do saprolito para a classificação de solos, sua inclusão em pesquisas sobre solos viria contribuir para facilitar o intercâmbio de informações entre a Ciência do Solo e outras ciências afins, bem como para a própria evolução do SiBCS. Afinal, se o processo de intemperismo é parte essencial na Ciência do Solo, faz-se necessário que o saprolito, como principal produto do intemperismo (OLLIER, 1997, *apud* VITTE, 2001) e material de origem do solo seja assumido nos estudos de pedologia.

Neste contexto, a pesquisa ora proposta foi conduzida em áreas sob vegetação florestal secundária, em solos rasos (Neossolos e Cambissolo), com presença de saprolito a pouca profundidade, e teve como objetivo contribuir no que concerne aos conhecimentos a respeito de saprolitos, bem como de sua importância para o desenvolvimento de plantas, sobretudo aquelas com sistema radicular profundo.

A maior parte da água e nutrientes é absorvida pelas plantas através de sua superfície radicular. No entanto, a disponibilidade destes elementos é função de seu movimento e da distribuição de raízes, o que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde estas se encontram (GERARD et al., 1972). Portanto, a presença de raízes no saprolito indica que esta seção do regolito constitui-se num meio

propício ao seu desenvolvimento, proporcionando, além de suporte físico, fornecimento adequado de ar, água e nutrientes, de modo semelhante ao solum suprajacente.

### **3. QUADRO GERAL DO ESTUDO**

#### **3.1. Seleção das áreas de estudo**

Diversas incursões a campo foram realizadas com a finalidade de se definir quatro áreas para a abertura de perfis (Fotos 1, 2, 3 e 4). Levou-se em consideração duas litologias, basalto (Grupo São Bento, Formação Serra Geral) e gnaisse (Grupo Araxá), e o fato destes locais apresentarem solo raso e, portanto, estreitamente relacionado com o saprolito. A presença de vegetação natural foi também considerada, a fim de se avaliar o potencial do saprolito na fixação e nutrição de plantas.



##### **Área 1**

Latitude: 18°48'12.2"S  
Longitude: 48°11'59.7"O  
Altitude: 730 m

FOTO 1. Área 1, onde foi aberto o perfil 1.

##### **Área 2**

Latitude: 18°53'37.6"S  
Longitude: 48°05'77.9"O  
Altitude: 740 m



FOTO 2. Área 2. Ao lado, local onde foi aberto o perfil 2.



**Área 3**  
Latitude: 18°53'11.4"S  
Longitude: 48°02'45.1"O  
Altitude: 709 m

FOTO 3. Vista geral do local onde está situada a Área 3. Em destaque (círculo vermelho) o local onde foi aberto o perfil 3.



**Área 4**  
Latitude: 18°48'70.2"S  
Longitude: 48°10'06.1"O  
Altitude: 632 m

FOTO 4. Vista geral da Área 4. Em destaque (círculo vermelho), Local onde foi aberto o perfil 4.

As áreas selecionadas situam-se no vale do Rio Araguari, região do Triângulo Mineiro - MG, integrante da Bacia do Paraná. Nesta região, um transecto cortando o vale do rio Araguari compreende vertentes situadas entre o topo dos interflúvios, a cerca de 930 m de altitude (testemunhos da superfície geomórfica Sul-americana), e o Rio Araguari a aproximadamente 570 m de altitude. Esta diferença de nível, da ordem de 360 m, produziu relevos accidentados onde ocorre a exposição de diferentes litologias propiciando condições ideais para o estudo em questão.

Conforme classificação de Köppen, o clima na área de estudo é do tipo Aw - tropical de savana – inverno seco e verão chuvoso (EMBRAPA, 1982). Nestas

áreas mais dissecadas (solos mais novos) a vegetação original é do tipo florestal, variando de subcaducifólia a caducifólia.

### **3.2. Abertura dos perfis para descrição e amostragem**

Na descrição morfológica dos perfis e coleta de amostras para caracterização e classificação dos solos foram empregadas as técnicas preconizadas por Embrapa (1988a, 1988b) e Santos et al. (2005), e a classificação feita conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (EMBRAPA, 2006).

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Uso do vocáculo saprolito nos congressos e Revista da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 31, n. 1, 2006.
- BUOL, S. W. Saprolite-Regolith Taxonomy: an approximation. **Whole Regolith Pedology**. Soil Sci. Soc. Am. Publicação especial, n. 34, p. 119-133, 1994.
- BUOL, S. W.; WEED, S. B. Saprolite-soil transformations in the Piedmont and Mountains of North Carolina. **Geoderma**, Amsterdam, v. 51, p. 15-28, 2003.
- CURI, N. et al. **Vocabulário da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.
- EGGLETON, R. A. (ed.). **The regolith glossary**: surficial geology, soils and landscapes. Canberra, CRC LEME, 2001. 152p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de pesquisa, nº 1).
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. **Soil Survey Staff. Soil survey manual**. Washington, D. C., 1951. 503p. (USDA, Agriculture Handbook, 18).
- HAMDAN, J.; BURNHAM, C. P. The contribution of nutrients from parent material in three deeply weathered soils of Peninsular Malaysia. **Geoderma**, Amsterdam, n. 76, p. 219-233. 1996.
- KRETZSCHMAR, R. et al. Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite gneiss, **Geoderma**, Amsterdam , v. 75, 3-4, p. 155-170, 1998.
- MCVAY, K. A. et al. Anion Exchange in Saprolite. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 3, n. 2, p. 668-675, 2004.
- LIETZKE, D. A.; WEBWR, R. S. The importance of Cr horizons in classification and interpretation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 45, p. 593-599, 1981.

MACHADO, S. R. V. **Caracterização química, física e mineralógica de saprolitos do estado de São Paulo e suas implicações na taxonomia e uso agrícola.** 1997. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1997.

MARQUES, F. A. et al. Caracterização e classificação de Neossolos da Ilha de Fernando de Noronha (PE). **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, v. 31, n.6, p. 119-128, 2007.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada.** 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574p.: il.

PEDRON, F. A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul.** 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2007.

PEDRON, F. A. et al. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, v. 33, p. 119-128, 2009.

SANTOS, R. D. dos et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo.** 5. ed. Revisada e ampliada, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005. 92p.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soil: genesis and geomorphology.** Cambridge University Press: New York, 2005. 791p.

SCHOENEBERGER, P. J. et al. Color Zonation Associated with Fractures in a Felsic Gneiss Saprolite. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1855-1859, 1991.

STERNBERG, P. D. et al. Root distribution and seasonal water status in weathered granitic bedrock under chaparral. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, p. 89-98, 1996.

STÜRMER, S. L. K. et al. Relação da granulometria do solo e morfologia do saprolito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2009nahead/a276cr1274.pdf>>. Acesso em: 11 de fev. 2011.

STÜRMER, S. L. K. **Infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul.** 104 f. 2008. Dissertação (em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 140-166.

VITTE, A. C. Considerações sobre a teoria da etchplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Terra Livre**, São Paulo, n. 16, p. 11-24, 2001.

## **CAPÍTULO 2**

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA**

## **RESUMO**

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Caracterização física e hídrica.** 2012. 27 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

## **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HÍDRICA**

A carência de estudos sobre o potencial do saprolito como meio para o desenvolvimento de raízes e fornecimento de água, fundamentais, sobretudo para a manutenção de vegetação com sistema radicular profundo, motivou este estudo. Foram selecionados quatro perfis, dois sobre litologia basáltica (perfis 1 e 2) e dois sobre litologia gnáissica (perfis 3 e 4). Os três primeiros perfis foram classificados como Neossolo Regolítico eutrófico típico, e o quarto como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico. Quando da descrição morfológica dos perfis, foram realizados testes de resistência à penetração em cada horizonte e camada. Também foram coletadas amostras para realização de análises físicas de rotina e de constantes hídricas. A textura do perfil 1 foi classificada como argilosa, tanto no solo (média de 456 g kg<sup>-1</sup> de argila) quanto no saprolito (média de 443 g kg<sup>-1</sup> de argila). No perfil 2 o solo apresenta textura muito argilosa (média de 630 g kg<sup>-1</sup> de argila), enquanto no saprolito esta se situa na classe argilosa (média de 555 g kg<sup>-1</sup> de argila). No perfil 3, a textura do solo foi classificada como média (média de 356 g kg<sup>-1</sup> de argila), assim como a do saprolito (média de 211 g kg<sup>-1</sup> de argila). No perfil 4, a textura do solo e do saprolito é média (média de 243 g kg<sup>-1</sup> de argila). Em relação à porosidade total nos saprolitos de basalto, esta ficou em torno de 55 % no perfil 1 e 65 % no perfil 3, enquanto nos perfis derivados de gnaisse o espaço poroso ficou em torno de 45 % no perfil 3 (Neossolo) e de 40 % no perfil 4 (Cambissolo). Os valores de microporosidade foram superiores aos de macroporosidade, sendo que, em algumas camadas dos perfis 2, 3 e 4, esta última foi inferior à considerada mínima ideal para o desenvolvimento de plantas (10 %). Estes mesmos perfis apresentaram capacidade de água disponível no saprolito semelhante ou mesmo superior à do solo suprajacente. O maior valor de resistência à penetração encontrado ao longo dos quatro perfis foi de 0,37 MPa, bem abaixo do valor considerado limitante ao desenvolvimento de raízes (2,0 MPa). Estes resultados permitiram concluir que os saprolitos estudados apresentam, de modo geral, boa capacidade de infiltração e armazenamento de ar e água, bem como permissividade física ao aprofundamento do sistema radicular de plantas, fundamentais à manutenção da vegetação florestal local.

Palavras-Chave: Neossolo Regolítico, Cambissolo Háplico, relações solo-planta, alteritos, resistência à penetração, basalto, gnaisse.

---

<sup>1</sup>Orientador: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## ABSTRACT

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Physical and hydraulic characterization.** 2012. 27 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

## PHYSICAL AND HYDRAULIC CHARACTERIZATION

This study was motivated by a lack of research on the potential of saprolite as a medium for root development and water supply, which are fundamental for vegetation with deep root systems. Four profiles were selected, two on basalt lithology (profiles 1 and 2) and two on gneissic lithology (profiles 3 and 4). Profiles 1 - 3 were classified as Haplustoll, and profile 4 as Ustochrept. Penetration resistance tests were performed at each horizon and layer to determine profile morphology. In addition, samples were collected for routine physical analysis and to determine hydraulic constants. In profile 1, the texture of both the soil (average clay content of  $456 \text{ g kg}^{-1}$ ) and saprolite (average clay content of  $443 \text{ g kg}^{-1}$ ) was classified as clayey. In profile 2, the texture of the soil (average clay content of  $630 \text{ g kg}^{-1}$ ) was very clayey and saprolite (average clay content of  $555 \text{ g kg}^{-1}$ ) was clayey. In profile 3, the texture of both the soil (mean  $356 \text{ g kg}^{-1}$  clay) and saprolite (average clay content of  $211 \text{ g kg}^{-1}$ ) was medium. Finally, the texture of the soil and saprolite in profile 4 was average (average clay content of  $243 \text{ g kg}^{-1}$ ). Total porosity of the basalt saprolite was about 55 % for profile 1 and 65 % in profile 2. In the gneiss profiles, porosity was 45 % in profile 3 (Haplutatoll) and 40 % in profile 4 (Ustochrept). Microporosity was greater than macroporosity. In some layers of profiles 2, 3 and 4, macroporosity was lower than the ideal minimum for plant development (10 %). Water capacity in the saprolite layer of these same profiles was equal to or higher than that of the overlying soil. The highest penetration resistance found in any of the profiles was 0.37 MPa, which is below the limit for root development (2.0 MPa). We concluded that the saprolites studied have, in general, good capacity for infiltration and storage of water and air and physical characteristics that permit deep root development. These factors are essential for maintenance of the area's forest vegetation.

Keywords: Haplustoll, Ustochrept, soil-plant relationship, alterite, penetration resistance, basalt, gneiss.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## **1. INTRODUÇÃO**

A profundidade efetiva de um solo refere-se à máxima profundidade que as raízes penetram livremente no corpo do mesmo, em razoável número, sem impedimentos, proporcionando às plantas suporte físico e condições para absorção de água e nutrientes. Portanto, esta nem sempre se limita ao solum, podendo ultrapassá-lo (CURI et al., 1993).

O saprolito é uma fase de alteração da rocha, que antecede a pedogênese, mas frequentemente já apresenta porosidade (STERNBERG et al., 1996; WITTY et al. (2003) e, por conseguinte, possibilita a infiltração e a retenção de água no perfil, bem como o desenvolvimento de raízes (LIETZKE; WEBER, 1981; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1999; PEDRON, 2007). Quando seu grau de alteração é mais avançado, essa camada pode apresentar comportamento próximo ao do solo, no que concerne a estes processos, bem como ao fornecimento de nutrientes aos organismos (PEDRON, 2007). Neste caso, quando associado a solo raso, o mesmo pode contribuir para o aumento de sua profundidade efetiva (MACHADO, 1997). Por outro lado, saprolitos com valores elevados de resistência mecânica à penetração e com alta densidade podem limitar severamente o movimento e o estoque de água, bem como o enraizamento das plantas (STURMER, 2008).

Na formação da porosidade em saprolitos, a dissolução de grãos de minerais primários durante o intemperismo é um processo importante. Neste caso, a dissolução de cristais maiores leva à formação de macroporos, enquanto que os poros menores resultam da dissolução de cristais pequenos. Os primeiros são responsáveis por permitir o fluxo de água, ao passo que os segundos retêm a solução de água e elementos químicos, onde importantes reações se processam (CLEMENTE; AZEVEDO, 2007).

A atividade da pedofauna e de raízes também contribui para o desenvolvimento da porosidade em saprolitos. Existem na literatura relatos sobre escavações de termitas no interior do saprolito, contribuindo para a formação de poros. As raízes das plantas, ao penetrarem através de fraturas na matriz de rochas altamente alteradas, contribuem para a formação de canais, os quais atuam como macroporos, favorecendo a condução de água e ar (GRAHAM et al. 1994, *apud* MACHADO, 1997).

As fraturas presentes no saprolito podem se comportar como macroporos e, portanto, desempenhar papel importante, sobretudo no que concerne ao movimento de

água no perfil (SCHOENEBERGER et al., 1991). No entanto, a eficiência das fraturas na condutividade hidráulica depende, dentre outros fatores, do número e da largura destas (PEDRON et al., 2009).

A distribuição granulométrica do saprolito também pode influenciar o fluxo de água (PEDRON et al., 2009), sendo este menor em saprolitos com teores mais elevados de argila. Driese et al. (2001) relataram a ocorrência de acúmulo de argila pedogenética e óxidos de Fe e Mn em poros radiculares e fraturas em saprolitos, causando obstrução e criando uma barreira de baixa condutividade hidráulica com a camada do solo suprajacente.

Portanto, ao constituir-se em ambiente propício ao desenvolvimento do sistema radicular e para a condução e armazenamento de água ao longo do perfil, o saprolito reveste-se de grande importância para a manutenção de vegetação, sobretudo em solos rasos localizados em regiões sujeitas a períodos sazonais de seca (STERNBERG et al., 1996; WITTY et al., 2003).

Segundo Machado (1997), o estudo do comportamento, organização e constituição de saprolitos sob solos rasos, enfatizando-se os aspectos relativos à porosidade, infiltração e retenção de água, entre outros atributos, é de grande importância para o uso racional de solos a eles associados. Neste mesmo contexto, Stürmer (2008) destaca a importância da realização de análises detalhadas da quantidade de água retida em diferentes potenciais no saprolito, para uma melhor compreensão da influência dessa camada sobre a retenção de água no solo.

Assim, este trabalho teve como objetivo o estudo de algumas propriedades físicas de perfis solo-saprolito de litologias basáltica e gnáissica, a fim de contribuir com informações acerca, principalmente, do potencial do saprolito como meio para o desenvolvimento de raízes e fornecimento de água, fundamentais, sobretudo, para a manutenção de vegetação com sistema radicular profundo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Teste de resistência à penetração**

Foi determinada a resistência à penetração no solo e no saprolito, por meio de um penetrômetro manual. Foram feitas penetrações frontais em quinze pontos distribuídos dentro da seção representativa de cada horizonte e camada, nos locais onde havia presença de raízes. Na confecção dos gráficos ilustrativos da resistência à penetração, utilizou-se a média das resistências apresentadas pelos quinze pontos amostrados em cada horizonte/camada.

### **2.2. Coleta e preparo das amostras**

As amostras indeformadas, destinadas à determinação da densidade aparente e das constantes hídricas, foram coletadas em duplicata, com auxílio de anel volumétrico (anel de Kopeck). As amostras deformadas foram retiradas de forma a abranger a espessura completa dos horizontes do solo e das camadas do saprolito expostas pelo perfil. Todas as amostras foram levadas ao Laboratório de Pedologia do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia – MG, onde foram preparadas para análises.

Para o preparo das amostras empregou-se metodologia preconizada por Embrapa (1997). Primeiramente, o material coletado foi destorrado manualmente e deixado sobre bancadas, em local ventilado e seco, até completa secagem ao ar. A seguir, foram passadas por um conjunto de peneiras com 19 e 2 mm de abertura de malha, para retenção das frações grosseiras: calhaus e cascalhos, respectivamente. O material que passou pela peneira de 2 mm constitui a fração fina (ou TFSA). As proporções das frações grosseiras e da terra fina foram obtidas utilizando-se de proveta de 2000 mL, com um volume de água pré-estabelecido, à qual as frações foram colocadas, obtendo-se os respectivos volumes, com base no deslocamento do líquido. Os dados em volume foram transformados para percentagem (%) (ver quadros analíticos em Anexo B).

Os fragmentos grosseiros ( $> 2$  mm) das amostras dos saprolitos foram quebrados, com auxílio de um martelo pedológico, e o material obtido foi passado por peneira de abertura de malha de 2 mm e, em seguida, misturado à TFSA originalmente

contida na amostra, a fim de se obter fração terra fina representativa da amostra como um todo, destinada às análises diversas.

As análises, granulométrica e de argila dispersa em água, foram feitas no Laboratório de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia - MG. As análises de densidade aparente e densidade de partículas e as constantes hídricas, foram determinadas no Laboratório de Física do Solo no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Embrapa, em Sete Lagoas - MG.

### **2.3. Análises físicas**

#### **2.3.1. Análise granulométrica**

A composição granulométrica foi determinada conforme metodologia descrita por Embrapa (1997). Para tanto, empregou-se 20 g de TFSA, dispersa com solução de 50 mL de solução NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> sob agitação mecânica em agitador elétrico “stirrer” por 15 minutos (solo) e 5 minutos (saprolito) à rotação de 10.000 rpm. A fração areia (fina + grossa) foi separada por tamisagem (úmida), seca e quantificada. O conteúdo que passou pela peneira (solução contendo silte + argila) foi transferido para proveta de 1000 mL e a fração argila determinada pelo método da pipeta, conforme Embrapa (1997). O silte foi obtido por diferença entre os teores de areia e argila totais.

#### **2.3.2. Argila dispersa em água**

Para a determinação da argila dispersa em água empregou-se o mesmo princípio utilizado na obtenção da argila total na análise granulométrica (método da pipeta), porém com o emprego de água destilada como dispersante químico, associado à dispersão mecânica, conforme descrito por Embrapa (1997).

#### **2.3.3. Grau de floculação (GF)**

O grau de floculação foi calculado a partir dos valores de argila total (obtido na análise granulométrica) e de argila dispersa em água, tendo-se empregado a seguinte equação, conforme Embrapa (1997):

$$GF (\%) = 100 \times (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / \text{argila total}.$$

#### 2.3.4. Relação silte/argila

A relação silte/argila foi calculada a partir da razão entre os valores de argila e silte totais, obtidos por meio da análise granulométrica, conforme Embrapa (1997).

#### 2.3.5. Densidade aparente ou do solo

Na determinação da densidade aparente empregou-se o método do anel volumétrico, conforme Embrapa (1997). Para tanto, determinou-se a massa da amostra indeformada (coletada por meio de anel volumétrico) seca em estufa ( $105^{\circ}\text{C}$ ) e seu (volume do anel contendo a amostra). A partir destes dados, determinou-se sua densidade.

#### 2.3.6. Densidade de partículas ou real

A densidade de partículas foi determinada pelo método do picnômetro, conforme Blake a Hartge (1986). Para tanto, empregou-se 10 g de terra fina seca a  $105^{\circ}\text{C}$  e álcool etílico absoluto como líquido penetrante para completar o volume do picnômetro contendo a amostra. Conhecendo-se o volume e a massa da amostra, determinou-se a densidade de partículas.

#### 2.3.7. Porosidade

A porosidade do solo e do saprolito foi calculada de acordo com as seguintes expressões, conforme Embrapa (1997):

$$\text{Porosidade total (\%)} = \frac{100 \text{ (Massa* da amostra saturada} - \text{Massa da amostra seca**)}}{\text{Volume do anel volumétrico contendo a amostra}}$$

$$\text{Microporos (\%)} = \frac{100 \text{ (Massa da amostra após tensão de } 6 \text{ kPa} - \text{Massa da amostra seca})}{\text{Volume do anel volumétrico contendo a amostra (cm}^3\text{)}}$$

$$\text{Macroporos (\%)} = \frac{100 \text{ (Massa da amostra saturada} - \text{Massa da amostra após tensão de } 60 \text{ cm})}{\text{Volume do anel volumétrico contendo a amostra (cm}^3\text{)}}$$

\*Massa em gramas (g).

\*\*Seca em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$ .

## **2.4. Constantes hídricas**

As constantes hídricas foram determinadas conforme metodologia descrita por Embrapa (1997). Para tanto, amostras indeformadas do solo e do saprolito (em duplicata) foram saturadas com água, por capilaridade (durante 48 horas). Em seguida foram pesadas e colocadas sobre uma mesa de tensão ajustada a 60 cm de coluna de água (6 kPa) e ali mantidas até atingirem o equilíbrio (término da drenagem) e, em seguida, novamente pesadas. Estas mesmas amostras foram recolocadas sobre a mesa, desta vez submetidas à tensão de 1,0 m de coluna de água (10 kPa) até atingirem o equilíbrio (término da drenagem), sendo então pesadas. Após estas determinações, as amostras foram transferidas para um aparelho extrator de Richards com placa porosa e submetidas à pressão de 33 kPa até o equilíbrio. Depois de pesadas, foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 105 °C, até atingirem peso constante.

Amostras deformadas (TFSA) foram colocadas em anel de borracha (em duplicata) e saturadas com água e postas em câmeras de pressão de Richards com placa porosa, onde foram submetidas às pressões de 500 kPa e 1500 kPa, até atingirem o equilíbrio. Em seguida, as mesmas foram pesadas e colocadas para secar em estufa com circulação de ar, a temperatura de 105 °C, até atingirem peso constante.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização física dos perfis

##### 3.1.1. Caracterização textural (granulometria)

A distribuição granulométrica dos perfis 1, 2, 3 e 4 está ilustrada nas Figuras 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

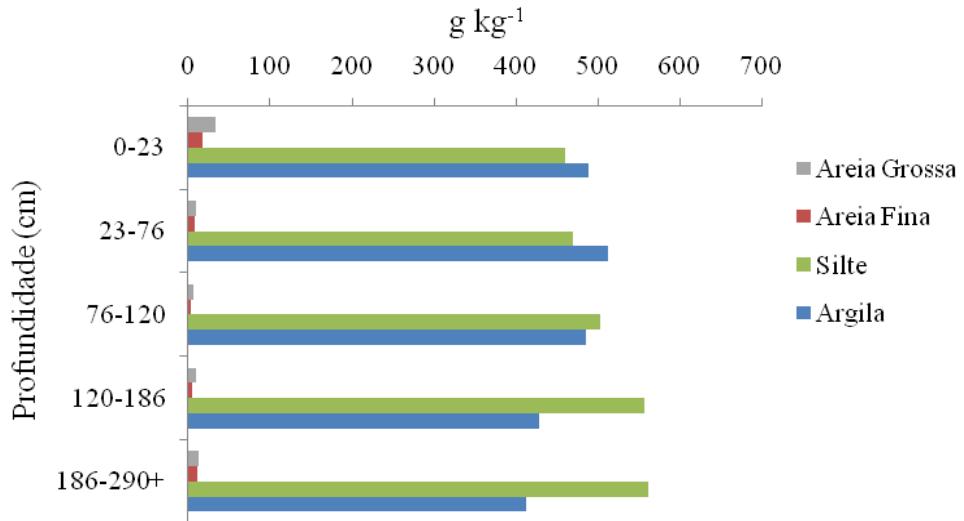


FIGURA 1. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2 \text{ mm}$ ) nas amostras de solo e saprolito do perfil 1. *Ap*: 0-23 cm, *A/Cr*: 23-76 cm, *Cr1*: 76-120 cm, *Cr2*: 120-186 cm, *Cr3*: 186-290 cm<sup>+</sup>.

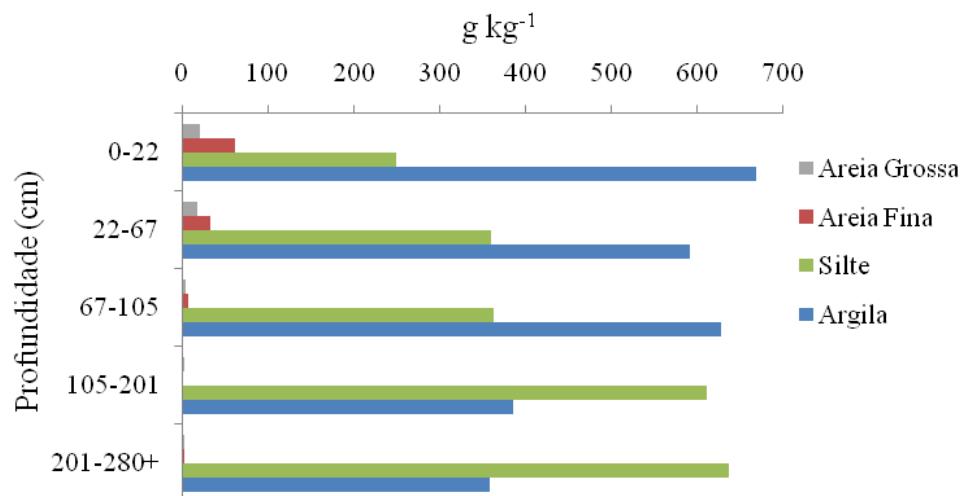


FIGURA 2. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2 \text{ mm}$ ) nas amostras de solo e saprolito do perfil 2. *Ap*: 0-22 cm, *A/Cr*: 22-67 cm, *Cr1*: 67-105 cm, *Cr2*: 105-201 cm, *Cr3*: 201-280 cm<sup>+</sup>.

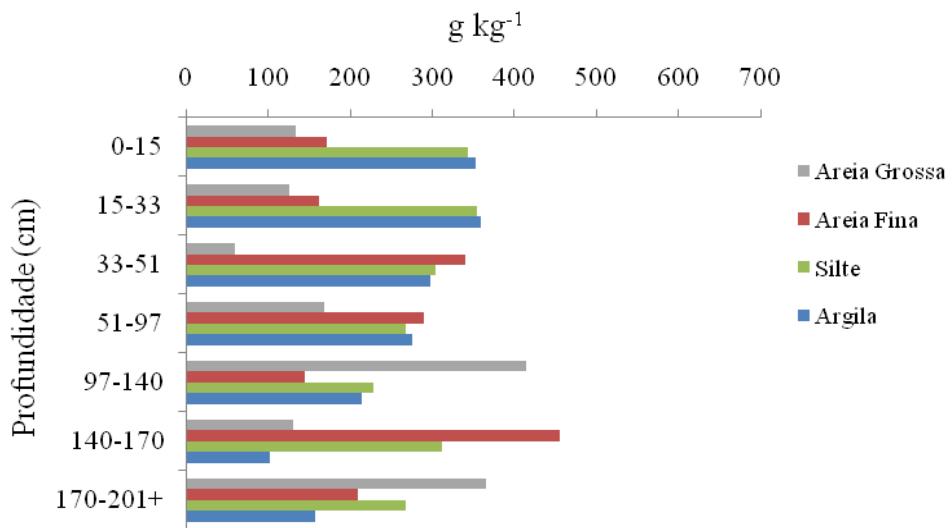


FIGURA 3. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2 \text{ mm}$ ) nas amostras de solo e saprolito do perfil 3. A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140 cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

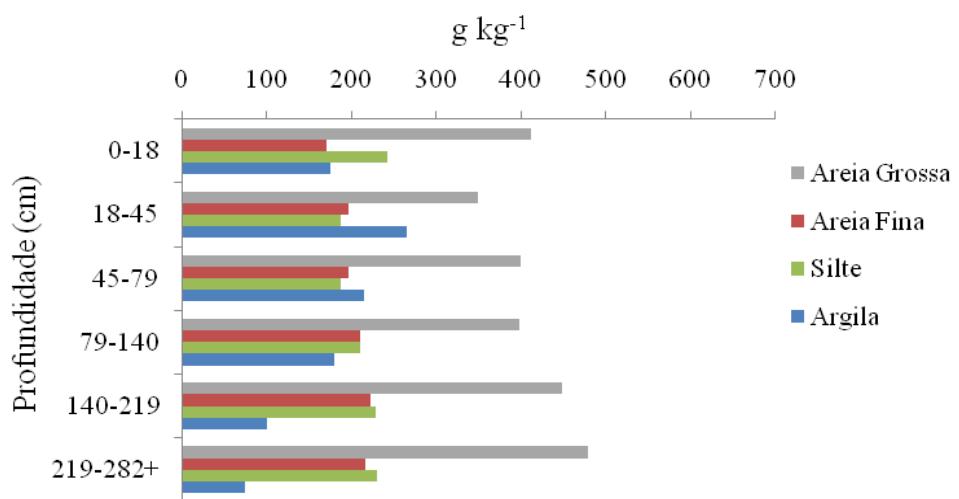


FIGURA 4. Distribuição das frações granulométricas da terra fina ( $\theta < 2 \text{ mm}$ ) nas amostras de solo e saprolito do perfil 4. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

Em se tratando de perfis solo-saprolito, a variável textura será abordada mais em termos de grandes grupamentos, embora as Figuras 1, 2, 3 e 4 apresentem a contribuição de cada fração mineral da terra fina ( $\theta < 2 \text{ mm}$ ). No perfil 1 (basalto), a textura foi classificada como argilosa, tanto no solo (média de  $456 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), quanto no saprolito (média de  $443 \text{ g kg}^{-1}$  de argila) (Figura 1 e Anexo C e D).

No perfil 2 (basalto), o solo apresenta textura muito argilosa (média de  $630 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), enquanto no saprolito esta se situa na classe argilosa (média de  $555 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), conforme constatado na Figura 2 e nos Anexos A e B. Nota-se que

a contribuição das frações areia e silte juntas foi superior a 90 % da fração terra fina, tanto no solo como no saprolito destes dois perfis.

A distribuição granulométrica dos perfis 3 e 4 está ilustrada nas Figuras 3 e 4, respectivamente. No terceiro perfil (substrato gnaisse), os horizontes A/Cr e Cr/A apresentam textura média (média de 356 g kg<sup>-1</sup> de argila), assim como o saprolito (média de 211 g kg<sup>-1</sup> de argila). O fato de o gnaisse apresentar textura bandeada implica em variações texturais, o que torna necessário analisar a granulometria em cada camada Cr, com base no triângulo de 13 classes. Assim, a camada Cr1 e a porção caulinizada da camada Cr2 apresentam textura franco-argilosa, enquanto as demais camadas (inclusive na porção biotítica da camada Cr2) a classificação textural variou de franco-argilo-arenosa até areia-franca (Figura 3 e Anexos C e D).

A textura do no perfil 4 (gnaisse) foi classificada como franco-arenosa no horizonte A e nas camadas Cr1, Cr2 e Cr3, e franco-argilo-arenosa nos horizontes Bi/R e C/Cr (Figura 4 e Anexos C e D). Conforme se constatou, a contribuição da fração areia variou de cerca de 30 % a 75 % no perfil 3 e de aproximadamente 55 % a 70 % no perfil 4, o que contrasta muito com os perfis sobre basalto (perfis 1 e 2).

O contraste verificado entre a textura mais fina dos perfis originários de basalto (perfis 1 e 2) e a textura mais grossa dos perfis desenvolvidos a partir de gnaisse (perfis 3 e 4) reflete a contribuição do material de origem. Segundo Resende et al. (2007), solos oriundos de rochas de textura grosseira tendem a apresentar teores mais elevados de areia e baixos teores de argila, contrariamente a solos formados a partir de rochas de textura fina, os quais tendem a apresentar baixo teor de areia e alto teor de silte e/ou argila. Portanto, o basalto, rocha de textura fina, e o gnaisse, rocha de textura grosseira (CURI et al., 1993), contribuem para dar origem a materiais de granulometria fina e grosseira, respectivamente, conforme constatado neste estudo.

Convém, no entanto, ressaltar que a terra fina das amostras do saprolito foi, em grande parte, obtida pela quebra (com martelo pedológico) dos fragmentos saprolíticos menos intemperizados (sobretudo das camadas mais profundas), a fim de se obter material para realização das diversas análises. Logo, isto pode ter influenciado os resultados das análises texturais destas camadas.

No entanto, é importante ter em consideração que problemas de dispersão são comuns, particularmente em solos bem estruturados (por exemplo, estrutura forte granular), superestimando o teor de silte (pseudosilte) em detrimento do real conteúdo de argila. De modo geral, a relação silte/argila aumentou com a profundidade nos quatro

perfis estudados (Anexo B), o que está coerente com o menor grau de intemperismo dos horizontes e camadas mais profundas, em relação àquelas situadas mais superficialmente no perfil.

Segundo Clemente et al., (2000) e Ferreira (2010), materiais com menor grau de intemperismo tendem a evidenciar teores mais elevados de silte, quando comparados a materiais mais intemperizados. De acordo com Corrêa (1989), horizontes minerais superficiais bem estruturados são mais resistentes à desagregação, devido à forte ação agregante da matéria orgânica. Por este motivo, bem como por razões metodológicas (dificuldade de dispersão total), pequenas variações nas relações silte/argila em horizontes contíguos não devem ser levadas em consideração. É o caso dos horizontes Ap e A/Cr do perfil 1 (Anexo B).

No entanto, no perfil 4 (Anexo B), o horizonte superficial apresentou relação silte/argila superior (1,38) à do horizonte Bi/R (0,70), não obstante seu maior grau de evolução. Neste caso a discrepância é grande e deve ter como causa, de uma parte, o maior problema de dispersão no horizonte A, devido à maior influência agregadora da matéria orgânica e, por outro lado, possíveis variações comuns, em se tratando de gnaisse, o que está bem evidente no perfil 3 (Anexo B).

Baixa relação silte/argila em solos novos de basalto (Neossolo do perfil 2 - Anexo B) deve ser esperada, uma vez que, mineralogicamente já não diferem substancialmente do latossolo proveniente da mesma rocha. Ambos apresentam argila de atividade baixa (Ta) e caráter férrico Embrapa (1982), embora o SiBCS – Embrapa (2006) ainda não permita a classificação correta.

### 3.1.2. Porosidade e densidade

O volume ocupado pela porosidade surpreende pelos altos valores constatados nos saprolitos (Tabela 1), os quais são similares àqueles encontrados nos solos (solum), ao longo dos perfis. Nas duas sequências solo-saprolito sobre basalto a porosidade total ficou em torno de 55 % (perfil 1) e 65 % (perfil 2), enquanto nos perfis derivados de gnaisse o espaço poroso foi menor, ficando em torno de 45 % no Neossolo e de 40 % no Cambissolo. Estes valores estão dentro da faixa considerada ideal para o bom desenvolvimento de plantas, os quais são de 40 a 60 % para solos argilosos e de 35 a 50 % para solos arenosos (KIHEL, 1979).

TABELA 1. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade dos perfis de desenvolvidos de basalto (perfis 1 e 2) e de gnaisse (perfis 3 e 4)

Horizontes e camadas	Porosidade total (%)	Microporosidade (%)	Macroporosidade (%)
	Perfil 1 (Basalto)		
A1	56	44	12
A/Cr/R	59	39	20
Cr1	50	39	11
Cr2	55	41	14
Cr3	59	46	13
Perfil 2 (Basalto)			
Ap	56	38	18
A/Cr	58	43	15
Cr1	59	48	11
Cr2	61	54	7
Cr3	59	56	3
Perfil 3 (Gnaisse mesocrático)			
A/Cr	53	36	17
Cr/A	48	40	8
Cr1	44	43	1
*Cr2/Cr2	47/36	36/34	11/2
Cr3	44	32	12
Cr4	45	41	4
**Cr5/Cr5	30/40	23/35	7/5
Perfil 4 (Gnaisse leucocrático)			
A	48	30	18
Bi/R	41	32	9
C/Cr	41	32	9
Cr1	37	30	7
Cr2	41	37	4
Cr3	45	34	11

Perfil 1 - Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup>.

Perfil 2 - Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup>.

Perfil 3 - A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

Perfil 4 - A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

\*Cr2/Cr2: material biotítico/caulinizado, \*\*Cr5/Cr5: Cr5 mais intemperizado/Cr5 menos intemperizado.

Houve apenas um discreto aumento da macroporosidade no horizonte dos perfis de gnaisse (Tabela 1), o que certamente se deve aos maiores teores de matéria orgânica (Anexo B), avaliado em termos de carbono C, os quais respondem pelos menores valores de densidade do solo (Tabela 2). De acordo com Ferreira (2010) e Lepsh (2002), a matéria orgânica tem participação fundamental na estruturação dos horizontes superficiais do solo, aumentando a porosidade e, por conseguinte, determinando valores mais baixos de densidade, comparativamente a camadas mais subsuperficiais, com

menores teores de matéria orgânica. Apesar de o horizonte A do perfil 1 (basalto) ter evidenciado maiores teores de matéria orgânica (Anexo B), notam-se menores valores de porosidade total, associados a uma maior densidade neste horizonte, em relação ao horizonte subjacente (bem mais expressivo que no perfil 2) (Tabelas 1 e 2). Isto se deve, provavelmente, à compactação devida ao pisoteio pelo gado (atualmente este solo vem sendo usado para pecuária bovina). A compactação contribui para reduzir a porosidade total de solos (LANZANOVA et al., 2007), resultando em maior densidade (FERREIRA, 2010). A maior variação na porosidade total do perfil 3, comparada a do perfil 4 se deve, provavelmente, à heterogeneidade do gnaisse.

TABELA 2. Densidade do solo e do saprolito de perfis de basalto (perfis 1 e 2) e de gnaisse (perfis 3 e 4)

	<b>Horizontes e Camadas</b>	<b>Densidade do solo/saprolito g cm<sup>-3</sup></b>	<b>Densidade de partícula g cm<sup>-3</sup></b>
<b>Perfil 1 (Basalto)</b>	Ap	1,13	2,57
	A/Cr/R	1,06	2,76
	Cr1	1,22	2,77
	Cr2	1,18	2,82
	Cr3	1,17	2,77
<b>Perfil 2 (Basalto)</b>	Ap	1,06	2,55
	A/Cr	1,05	2,72
	Cr1	1,08	2,69
	Cr2	1,10	2,84
	Cr3	1,18	2,87
<b>Perfil 3 (Gnaisse mesocrático)</b>	A/Cr	1,16	2,57
	Cr/A	1,24	2,62
	Cr1	1,54	2,63
	*Cr2/Cr2	1,39/1,94	2,84/2,60
	Cr3	1,44	2,61
	Cr4	1,54	2,73
	**Cr5/Cr5	2,13/1,75	2,90/2,95
<b>Perfil 4 (Gnaisse leucocrático)</b>	A	1,08	2,47
	Bi/R	1,32	2,50
	C/Cr	1,41	2,52
	Cr1	1,46	2,59
	Cr2	1,47	2,61
	Cr3	1,33	2,61

Perfil 1 - Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup>.

Perfil 2 - Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup>.

Perfil 3 - A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

Perfil 4 - A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

\*Cr2/Cr2: Cr2 biótico/Cr2 caulinizado, \*\*Cr5/Cr5: Cr5 mais intemperizado/Cr5 menos intemperizado.

Com relação à microporosidade, os valores foram bem superiores aos percentuais de macroporos (Tabela 1). Todavia, esperava-se encontrar um maior volume de macroporos na porção pedogenizada. Houve apenas um discreto aumento da macroporosidade nos horizontes A (Tabela 1), o que certamente deve-se aos maiores teores de matéria orgânica (Anexo B), avaliado em termos de carbono C, os quais respondem pelos menores valores de densidade do solo (Tabela 2).

Os microporos são importantes para a retenção e armazenamento de água no perfil, ao passo que os macroporos são responsáveis pela infiltração, rápida redistribuição e aeração (FERREIRA, 2010). O volume de microporos encontrado nos saprolitos indica que há uma grande capacidade de armazenamento de água, o que representa um grande potencial de suprimento de água e nutrientes (sólido) para as plantas. Representa também tratar-se de um meio em que o processo de lixiviação é potencialmente eficiente.

Conforme Kiehl (1979), o ideal é que 2/3 da porosidade total de solos seja constituída por microporos e 1/3 por macroporos. No entanto, de acordo com Ferreira (2010), 10 % de macroporosidade é o valor referencial utilizado como índice de qualidade física de solos, no que concerne à distribuição de poros por tamanho. Observa-se que apenas o perfil 1 (solo e saprolito) apresentou proporção de macro e microporos dentro dos limites considerados adequados, conforme Ferreira (2010).

A maior quantidade de macroporos neste perfil 1 se deve, provavelmente, ao seu maior grau de fraturamento, bem como à presença de material edafisado (com estrutura granular), proveniente da porção superior do perfil, preenchendo parcialmente as fraturas. Uma vez que os fluxos de gases, bem como o movimento da água no perfil, estão intimamente relacionados ao volume e, principalmente, à continuidade dos macroporos (HILLEL, 1998, *apud* STÜRMER, 2008), a descontinuidade da macroporosidade constatada nos perfis 2, 3 e 4 pode contribuir para reduzir o movimento de água e ar da porção superior do perfil para as camadas inferiores.

### **3.2. Resistência à penetração**

Conforme se constatou (Figuras 5 e 6), a resistência à penetração nos perfis de basalto variou entre 0,11 e 0,35 MPa (perfil 1) e entre 0,18 e 0,27 MPa (perfil 2). No perfil 1, a maior resistência foi apresentada pelo horizonte Ap (0,35 MPa), e deve estar relacionada à compactação, uma vez que a resistência do solo à penetração varia

diretamente com a densidade, conforme relata Busscher (1997). No horizonte Ap do perfil 2 (Figura 6), a resistência à penetração apresentou valor bem menor, provavelmente por apresenta-se não compactado.

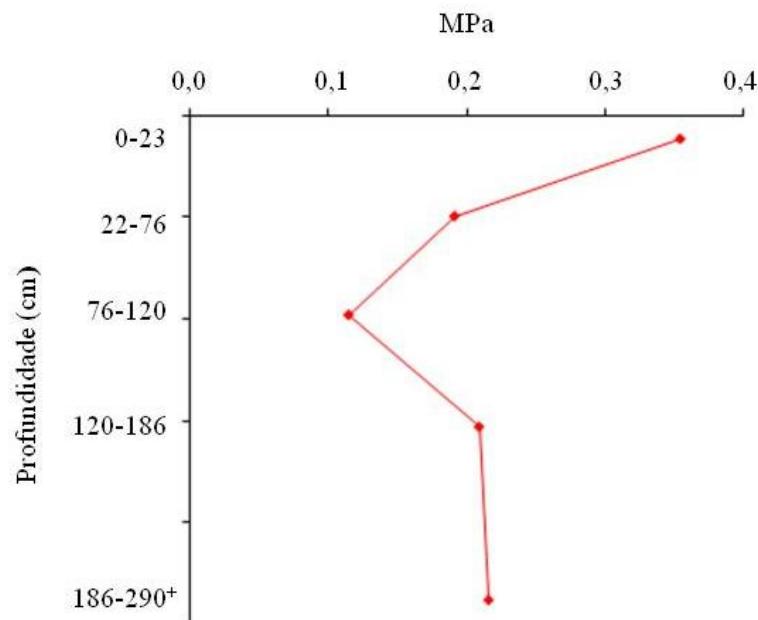


FIGURA 5. Resistência à penetração no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup>.

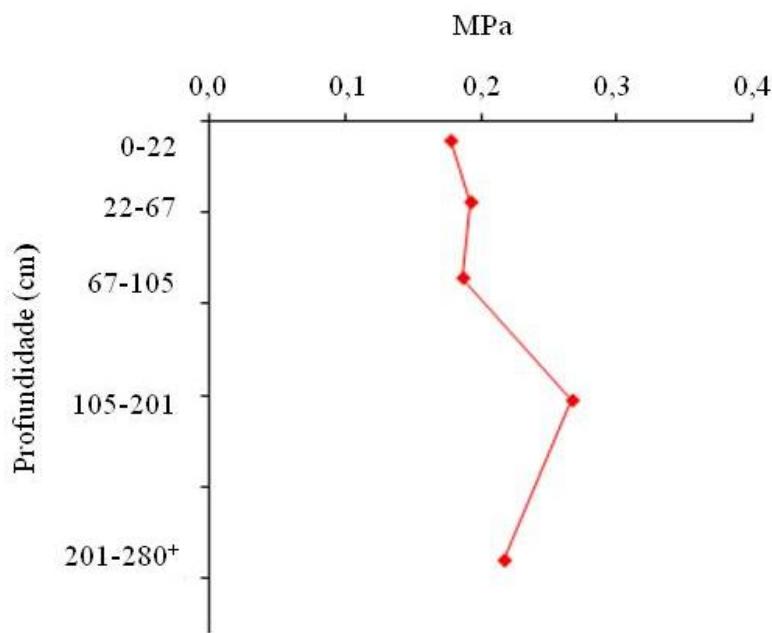


FIGURA 6. Resistência à penetração no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup>.

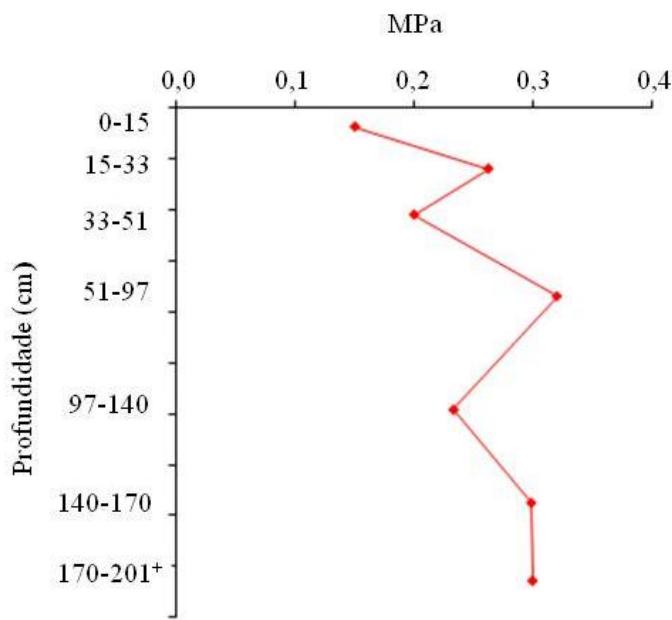


FIGURA 7. Resistência à penetração no perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140 cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

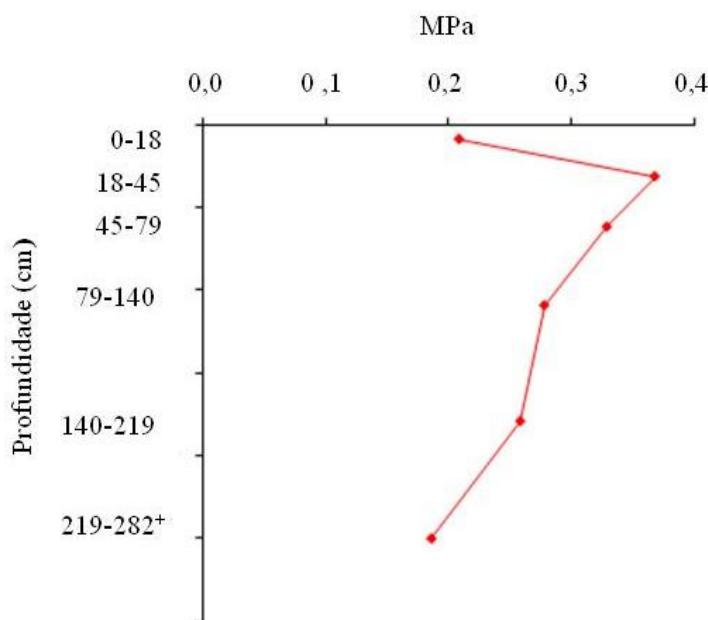


FIGURA 8. Resistência à penetração no Perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

A resistência à penetração nos perfis desenvolvidos de gnaisse variou entre 0,15 e 0,32 MPa (perfil 3) (Figura 7) e 0,19 e 0,37 MPa (perfil 4) (Figura 8). No perfil 3, o menor valor de resistência no perfil 3 foi apresentado pelo horizonte A/Cr, cuja densidade também foi menor (Tabela 2). Comportamento semelhante foi apresentado no

perfil 4. A assinalar ambos os perfis estão sob vegetação florestal, em áreas de reserva legal. A diminuição da resistência à penetração com a profundidade no perfil 4 foi atribuída à natureza caulinizada (pulverulenta) do saprolito.

O teste de resistência à penetração nos saprolitos foi feito em locais por onde se via a penetração de raízes, correspondente às fendas ou antigas aberturas feitas por raízes da vegetação florestal original, preenchidos por material do solum. Afinal, o propósito, neste caso, foi avaliar as condições do saprolito face à penetração do sistema radicular de plantas. Desta análise, constatou-se que, mesmo os mais altos valores de resistência encontrados, tanto no solo como no saprolito dos quatro perfis estudados, estão muito aquém daqueles considerados impeditivos ao crescimento das raízes das plantas, o qual é de 2,0 MPa (MORAES; MÜLLER, 2001).

A maior parte da água e nutrientes é absorvida pelas plantas através de sua superfície radicular. No entanto, a disponibilidade destes elementos é função de seu movimento e da distribuição de raízes, o que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde estas se encontram (GERARD et al., 1972).

Portanto, a constatação de presença de raízes de variados diâmetros no saprolito indica que esta seção do regolito está proporcionando condições adequadas ao seu desenvolvimento, mesmo que estas se limitem às fendas e outros espaços presentes no saprolito. Dessa forma, pode-se inferir que estes saprolitos estejam desempenhando papel relevante na manutenção da vegetação florestal nas áreas selecionadas (floresta tropical caducifólia, perfis 1 e 2, e floresta tropical subcaducifólia, perfis 3 e 4), uma vez que os mesmos são espessos e se encontram sob solos rasos ou pouco profundos (EMBRAPA, 2006), portanto, com limitada profundidade efetiva.

Segundo Sternberg (1996) e Hubbert et al. (2001), em algumas situações, o saprolito é capaz de fornecer água essencial para a manutenção de vegetação durante a estação seca, quando o solo não é capaz de atender à demanda hídrica por parte das plantas. Marques et al. (2007), por sua vez, relataram que a rocha alterada sob Neossolos contribuiu para permitir o aprofundamento do sistema radicular, bem como para fornecer água às plantas, essencial para a manutenção de exuberante cobertura vegetal de encostas, mesmo em áreas de relevo mais acidentado.

### **3.3. Curvas características de retenção de água**

As Figuras 9 e 10 se referem às curvas característica de retenção de água dos

perfis desenvolvidos de basalto (perfil 1 e 2, respectivamente). Nota-se que no perfil 1 (Figura 9) o comportamento das curvas representativas dos horizontes e camadas é bastante semelhante entre si, e sua leve inclinação indica uma relativamente boa distribuição de poros (Tabela 1), favorável ao armazenamento de água para as plantas.

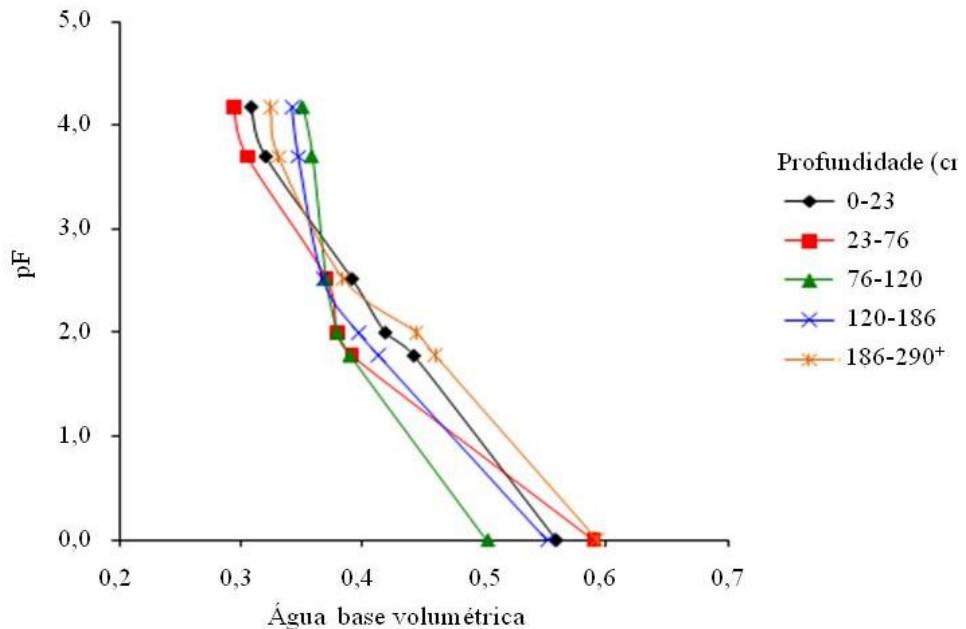


FIGURA 9. Curva característica de retenção d'água do perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto.  $Ap: A/Cr: 23-76\text{ cm}$ ,  $Cr1: 76-120\text{ cm}$ ,  $Cr2: 120-186\text{ cm}$ ,  $Cr3: 186-290\text{ cm}^+$ .

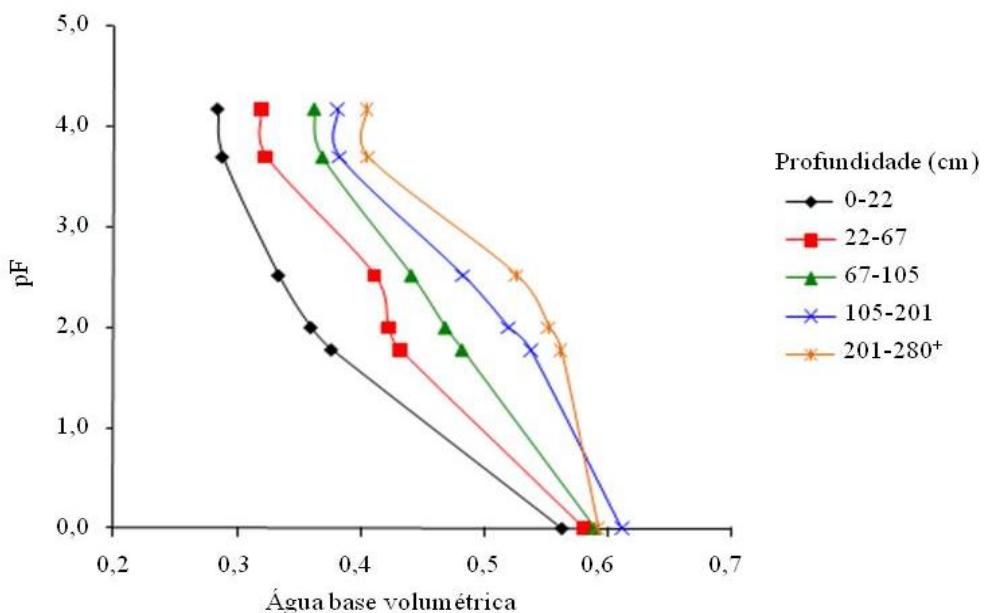


FIGURA 10. Curva característica de retenção de água do perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto.  $Ap: 0-22\text{ cm}$ ,  $A/Cr: 22-67\text{ cm}$ ,  $Cr1: 67-105\text{ cm}$ ,  $Cr2: 105-201\text{ cm}$ ,  $Cr3: 201-280\text{ cm}^+$ .

No perfil 2 (Figura 10), é observada a mesma inclinação e o mesmo conteúdo de água entre as tensões de 0,0 kPa e 1500 kPa, porém os teores de água retidos diferem mais entre as seções (horizontes e camadas). Neste perfil se verifica um aumento da capacidade de retenção de água com a profundidade.

O contraste entre os comportamentos das curvas dos perfis 1 e 2 pode estar relacionado, em parte, à diferença no grau de fraturamento de seus respectivos saprolitos. O maior grau de intemperismo do saprolito do perfil 1, caracterizado pela presença de grande quantidade de fraturas parcialmente preenchidas por material proveniente do solum, pode estar contribuindo para reduzir as diferenças no comportamento hídrico de suas camadas.

Nestes dois perfis, em que o saprolito é de basalto (Figuras 9 e 10), nota-se que há dois pontos de inflexão das curvas de retenção de água que devem resultar de mudança no diâmetro dos poros. Uma inflexão ocorre em torno do limite entre macro e microporos, à tensão próxima de 500 kPa. Nesta tensão, a inflexão é mais notória no perfil 2 porque aparece em todas as curvas (solum e saprolito), enquanto no perfil 1 se restringe ao solum.

Nas maiores tensões há menor retenção de água nos horizontes do que nas camadas do saprolito, talvez devido à menor condutividade dos microporos neste último. Isto parece indicar que, embora a porosidade total seja elevada no perfil como um todo, a drenagem não deve ser eficiente, aumentando o risco de erosão, favorecida pelo relevo acidentado.

Com relação aos perfis sobre gnaisse (Figuras 11 e 12), nota-se um comportamento que se aproxima do observado nos perfis relacionados ao basalto, ou seja, também não há grandes variações na porosidade ao longo destes perfis. Observam-se também os mesmos pontos de inflexão.

A menor porosidade no sistema solo-saprolito de gnaisse (macro e microporos) responde por uma menor capacidade de retenção de água, mas, certamente há melhor funcionalidade (melhor drenagem interna) o que representaria um maior aporte de água nestes sistemas, relacionados ao gnaisse, tornando-os mais conservadores. Isto explicaria o fato da vegetação ser caducifólia sobre as áreas basálticas e subcaducifólia nas áreas gnáissicas.

No perfil 3 (Figura 11) a distribuição de poros é menos uniforme (Tabela 1) devido à natureza do gnaisse. Em duas camadas mais heterogêneas (Cr2 e Cr5) foram

feitas duas amostragens ( $\text{Cr}_2$  biotítico/ $\text{Cr}_2$  caulinizado e  $\text{Cr}_5$  mais intemperizado/ $\text{Cr}_5$  menos intemperizado), utilizando-se a média dos volumes de água retida.

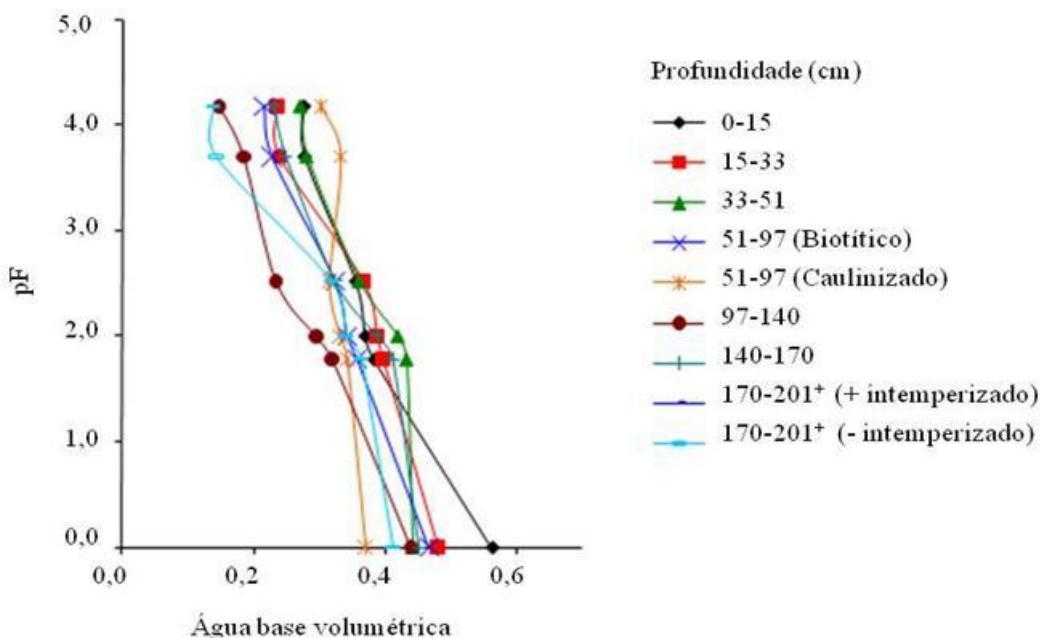


FIGURA 11. Curva característica de retenção de água do perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse.  $A/\text{Cr}$ : 0-15 cm,  $\text{Cr}/A$ : 15-33 cm,  $\text{Cr}_1$ : 33-51 cm,  $\text{Cr}_2/\text{Cr}_2$ : 51-97 cm,  $\text{Cr}_3$ : 97-140 cm,  $\text{Cr}_4$ : 140-170 cm,  $\text{Cr}_5/\text{Cr}_5$ : 170-201 cm<sup>+</sup>.

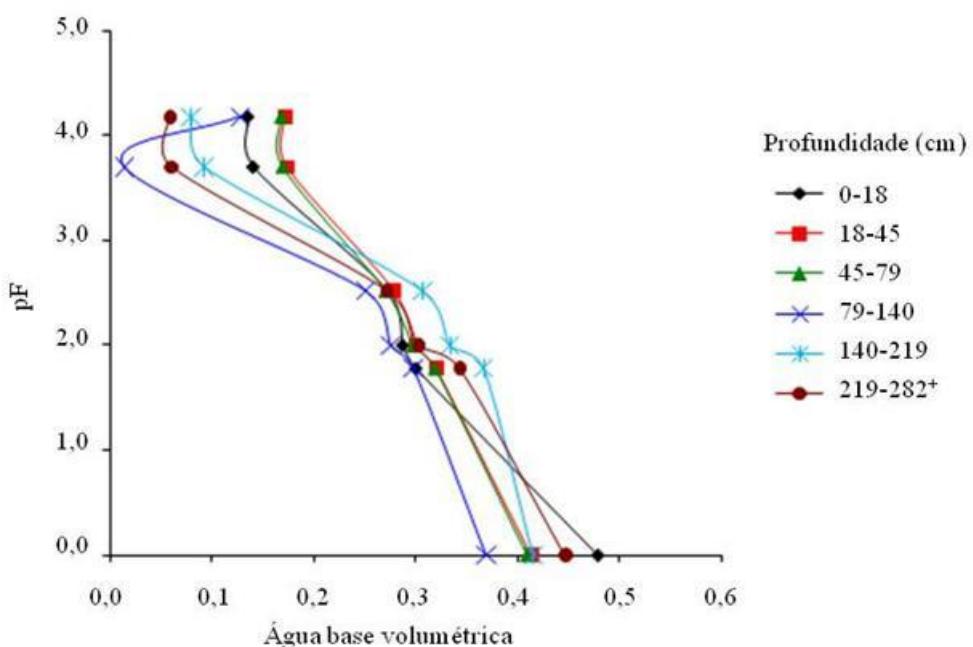


FIGURA 12. Curva característica de retenção de água do perfil 4 – Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse.  $A$ : 0-18 cm,  $\text{Bi}/\text{R}$ : 18-45 cm,  $\text{C}/\text{Cr}$ : 45-79 cm,  $\text{Cr}_1$ : 79-140 cm,  $\text{Cr}_2$ : 140-219 cm,  $\text{Cr}_3$ : 219-282 cm<sup>+</sup>.

Nota-se, ainda, um incremento na CAD em profundidade no saprolito deste perfil, o que está coerente com a quantidade de microporos, também maior nas camadas mais profundas (Tabela 1). No perfil 1, os menores valores de CAD foram constatados nas camadas Cr1 e Cr2, as quais também evidenciaram menor microporosidade, bem como o horizonte A do perfil 2 (Tabela 1), provavelmente devido à compactação pelo pastoreio do solo pelo gado (Figura 5).

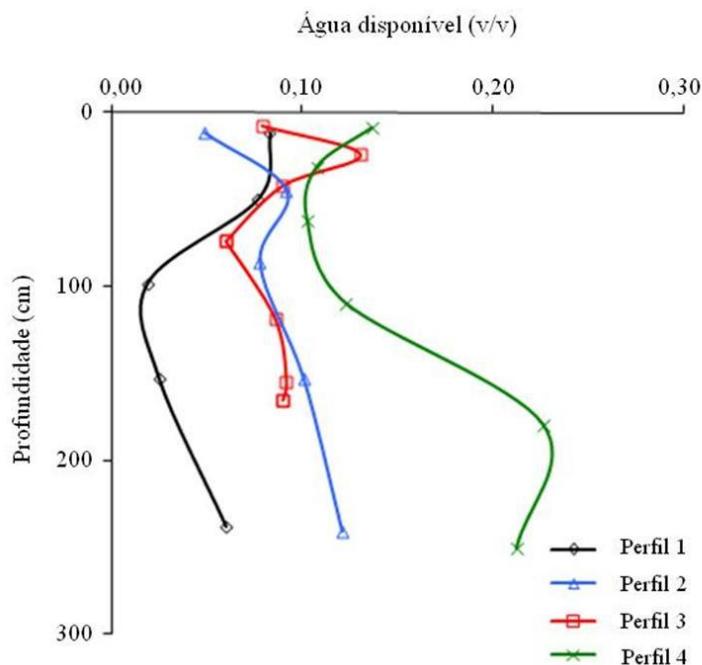


FIGURA 13. Água disponível nos perfis 1, 2, 3 e 4.

Em relação aos perfis de gnaisse, de maneira geral, o perfil 4 evidenciou a maior CAD (Figura 13), a qual aumenta com a profundidade no saprolito. Nota-se que a CAD nas duas camadas mais profundas analisadas deste perfil foi superior a de todos os horizontes suprajacente, tendo sido mais que o dobro, em relação à do horizonte Bi/R. Também, neste caso, os maiores valores de microporosidade foram constatados nestas duas camadas (Tabela 1). A grande variabilidade existente no perfil 3, quanto à capacidade de água disponível, se deve à heterogeneidade das camadas saprolíticas deste perfil, sobretudo a camada Cr2 (porção biotítica/caulinizada) e a camada Cr5 (porção mais intemperizada/menos intemperizada) (Tabela 1). No entanto, segundo Demattê (1988), além da estrutura e do conteúdo da fração argila, a mineralogia desta última influencia a retenção de água no perfil.

#### **4. CONCLUSÃO**

Tanto os saprolitos de basalto quanto os de gnaisse apresentaram características físicas favoráveis ao aprofundamento do sistema radicular. Entre estas características se destacou a capacidade de armazenamento de água, consequência da alta microporosidade, além de valores de resistência à penetração abaixo daqueles considerados impeditivos à penetração de raízes.

Apesar da quantidade de macroporos ter sido abaixo da ideal em algumas camadas saprolíticas, isto parece não constituir um fator limitante ao aprofundamento de raízes, uma vez que estas se desenvolvem no interior das fraturas e outros espaços entre os fragmentos saprolíticos, e a presença destas foi constatada a profundidades entre 2,0 e 3,0 m (profundidade de exposição dos perfis).

## REFERÊNCIAS

- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986, v. 1. p. 377-388.
- BUSSCHER, W. J. et al. Correction of cone index water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 205-217, 1997.
- CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, A. C. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, southern Brazil. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 64, n. 6, p. 601-607, 2007.
- CLEMENTE, C. A. et al. Reflectância espectral e mineralogia de materiais formados sobre diabásio. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 57, n.1, p. 159-168, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162000000100026&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162000000100026&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 de nov. 2011.
- CORRÊA, G. F. **Les microrelief murundus et leur environnement pédologique dans l'ouest du Minas Gerais, région Du plateau central brésilien**. 1989: 144 p. Thèses (Doctorat en Pédologie) - Université de Nancy I, Vandoeuvre-les-Nancy, France, 1989.
- CURI, N. et al. **Vocabulário da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.
- DEMATTÊ, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos-região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.
- DRIESE, S. G.; McKAY, L. D.; Penfield, C. P. Lithologic and pedogenic influences on porosity distribution and groundwater flow in fractured sedimentary saprolite: a new application of environmental sedimentology. **Journal of Sedimentary Research**, Boulder - CO, v. 71, n. 5, p. 843-857, 2001.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos e análises de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos 1997. 212p.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: QUIRIN, J. V. L. (ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.
- GERARD, C. J.; MEHTA, H. C.; HINOJOSA, F. Root growth in a clay soil. **Soil Science**, New Jersey, v. 114, p. 37-49, 1972.

HUBBERT, K. R, BEYERS, J. L, GRAHAM, R. C. Roles of weathered bedrock and soil in seasonal water relations of *Pinus Jeffreyi* and *Arctostaphylos patula*. **Canadian Journal Forest Research**, Canada, v. 31, v. 11, p. 1947–1957, 2001.

KIHEL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LIETZKE, D. A.; WEBER, R. S. The importance of Cr horizons in soil classification and interpretations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 45, p. 593-599, 1981.

MACHADO, S. R. V. **Caracterização química, física e mineralógica de saprolitos do estado de São Paulo e suas implicações na taxonomia e uso agrícola**. 1997. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1997.

MARQUES, F. A. et al. Caracterização e classificação de Neossolos da Ilha de Fernando de Noronha (PE). **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1553-1562, 2007.

MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L. **Qualidade física do solo, métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal, FUNEP, 2001. 225p.

PEDRON, F. A. et al. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 33 n.1, p. 119-128, 2009.

PEDRON, F. A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**. 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Sanata Maria, Santa Maria – RS, 2007.

SCHOENEBERGER P. J. et al. Color zonation associated with fractures in a felsic gneiss saprolite. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1855-1859, 1991.

STERNBERG, P. D. et al. Root distribution and seasonal water status in weathered granitic bedrock under chaparral. **Geoderma**, Amsterdam , v. 72, p. 89-98. 1996.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STÜRMER, S. L. K. **Infiltração de água em Neossolos regolíticos do rebordo do planalto do rio grande do sul**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Processos

Físicos e Morfogenéticos do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008.

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

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005, 92p.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W. et al. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 558p.

VITORINO, A. C. T. et al. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 133-141, 2003.

WITTY, J. H. et al. Contributions of water supply from the weathered bedrock zone to forest soil quality. **Geoderma**, Amsterdam , v. 114, p. 389-400, 2003.

## **CAPÍTULO 3**

### **CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA**

## RESUMO

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Caracterização mineralógica e geoquímica.** 2012. 35 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

## CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA

Esta pesquisa teve entre seus objetivos o estudo de características mineralógicas e geoquímicas de amostras de perfis solo-saprolito, em litologias basáltica e gnáissica, a fim de contribuir com informações acerca da importância do saprolito para o desenvolvimento de plantas, bem como para os estudos pedológicos, de modo geral. Foram coletadas amostras de quatro áreas, sendo três deles pertencentes à classe Neossolo Regolítico eutrófico típico (dois derivados de basalto e um de gnaisse – perfis 1, 2 e 3, respectivamente) e um cujo solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, desenvolvido de gnaisse (perfil 4). As análises mineralógicas foram realizadas mediante a técnica de difractometria de raios-X (DRX), enquanto as análises geoquímicas consistiram de determinação dos teores totais dos elementos, por meio de um espectrógrafo de emissão ICP, após digestão das amostras, com LiBO<sub>2</sub>/Li<sub>2</sub>B4O<sub>7</sub> em forno, a 980 °C. Os minerais constatados na fração argila dos saprolitos de basalto foram mica, esmectita, caulinita, anatásio, hematita e gibbsita, enquanto na fração areia foram identificados feldspato, muscovita, vermiculita, haloisita-metahaloisita, quartzo, ilmenita, anatásio, magnetita-maghemita e goetita. Nos perfis de gnaisse os difractogramas revelaram a presença dos minerais calcita, ilita, muscovita, esmectita, caulinita, óxido de titânio, goethita e gibbsita, na fração argila, e clorita, interestratificado clorita-vermiculita, feldspato, anfibólio, piroxênio, estaurolita, pirofilita, muscovita, quartzo, ilmenita, rutilo anatásio e gorthita, na fração areia. A constituição mineralógica dos saprolitos de basalto revelou que, na profundidade amostrada, os minerais primários já sofreram profundas transformações, tendo como produto, quase exclusivamente, filossilicatos secundários do tipo 1:1 e óxidos residuais ou de neoformação, sugerindo serem pequenas as reservas de nutrientes. Verificou-se grande variação mineralógica entre os saprolitos de gnaisse, a qual está ligada às diferenças marcantes do gnaisse que, nesta região é, em geral, considerado como mesocrático (perfil 3), mas em alguns locais (perfil 4) se apresenta com predomínio de minerais félsicos (material quartzo-feldspático), o que reflete em sua maior ou menor vulnerabilidade ao intemperismo, independente do relevo. A análise de elementos totais permitiu maior consistência à interpretação dos difractogramas de raios-X. Em associação com a análise mineralógica, indicou também uma importante perda de elementos por lixiviação, notadamente sílica, o que indica um processo muito ativo de dessilicificação nestes saprolitos. Por outro lado, mostrou com clareza a marcante disparidade dos dois saprolitos de gnaisse, em estreita relação com o potencial produtivo dos respectivos solos.

Palavras-Chave: Neossolo Regolítico, Cambissolo, relações solo-planta, alteritos, mineralogia, basalto, gnaisse.

<sup>1</sup>Orientador: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## ABSTRACT

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Mineralogical and geochemical characterization.** 2012. 35 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

## MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION

We studied the mineralogical and geochemical characteristics of soil-saprolite profiles in basaltic and gneissic lithologies to contribute information about the importance of saprolite for plant development and to soil studies in general. Samples were collected at four sites. Soils from three of these were classified as Haplustolls (two derived from basalt and one from gneiss - profiles 1, 2 and 3, respectively) and soil from the fourth was classified as Ustochrept (derived from gneiss - profile 4). Mineralogical analysis was carried out via X-ray diffraction (XRD). Geochemical analysis was performed by first digesting the samples with  $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  at 980 °C and then analyzing them via ICP emission spectrograph. XRDs of the basaltic saprolite samples revealed mica, smectite, kaolinite, anatase, hematite, and gibbsite in the clay and feldspar, muscovite, vermiculite, halloysite-metahaloisita, quartz, ilmenite, anatase, magnetite, maghemite and goethite in the sand. In the gneiss profiles, calcite, illite, muscovite, smectite, kaolinite, titanium oxide, goethite and gibbsite were identified in the clay, and chlorite, interstratified chlorite-vermiculite, feldspar, amphibole, pyroxene, staurolite, pyrophyllite, muscovite, quartz, ilmenite, rutile and anatase gorthita were identified in the sand. The mineral composition of the basalt saprolite revealed that, at the depth sampled, its primary minerals had undergone profound changes and consisted almost exclusively of secondary phyllosilicates (type 1:1) and residual or newly formed oxides. This suggests that nutrient reserves are low. Great mineralogical variation existed between the gneiss saprolites due to marked differences in the gneiss. Gneiss of this region is generally mesocratic (profile 3), but in some places (profile 4) is dominated by felsic minerals (quartz-feldspathic material) which reflects its degree of vulnerability to weathering, regardless of relief. Total element analysis allowed greater consistency in the interpretation of the XRDs and together these analyses indicated a significant loss of elements, especially silica, due to leaching. This suggests that desilification is very active in these saprolites. It also clearly demonstrates the marked disparity between the two gneiss saprolites and a direct relationship to the potential productivity of the soil.

Keywords: Haplustoll, Ustochrept, soil-plant relationship, alterite, mineralogy, basalt, gneiss.

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## 1. INTRODUÇÃO

Saprolito, literalmente rocha em decomposição, constitui-se num manto de alteração, produzido pelo intemperismo de rochas, composto por minerais primários e secundários (CURI et al., 1993). Os minerais primários presentes no saprolito são herdados da rocha que lhe deu origem, enquanto que os minerais secundários, além de herdados da rocha original, também podem ser formados *in situ*, por dois mecanismos: transformação, a partir de minerais pré-existentes, ou por neoformação (TOLEDO et al., 2008).

A transformação de uma espécie mineral em outra ocorre mediante a interação entre as soluções de percolação e os minerais primários, modificando a composição química destes e, parcialmente, sua estrutura. Neste caso, surgem os minerais secundários transformados. Este processo é comum entre os filossilicatos, como, por exemplo, quando da transformação de micas (filossilicatos primários) alterados para ilitas ou vermiculitas (filossilicatos secundários). A neoformação se dá a partir da precipitação de substâncias dissolvidas nas águas de percolação, durante o intemperismo químico, originando minerais neoformados. É o caso, por exemplo, da formação dos oxi-hidróxidos de Fe e Al (TOLEDO et al., 2008).

Nos estádios iniciais de intemperização dos saprolitos, os minerais secundários podem substituir pseudomorficamente os minerais primários dos quais são derivados, mantendo continuidade estrutural com estes (KÄMPF et al., 2009a). Murphy et al. (1998), *apud* Kämpf et al., (2009a) constataram transformação progressiva de biotita-biotita alterada-haloisita-caulinita, do centro para a extremidade do cristal, respectivamente, sem alteração na morfologia do mineral original, mas somente aumentando a espessura do cristal. Estes mesmos autores verificaram, em estádios mais avançados de intemperização, a neoformação de caulinita em vazios de mica alterada, sem orientação cristalográfica com a mica. Outros minerais tais como partículas de quartzo, apresentaram corrosão na forma de cavidade de dissolução. Neste caso, a ausência de produtos secundários indica a transferência de Si para outras áreas. Com o progresso da intemperização (pedogênese), a pseudomorfose das estruturas originais tende a desaparecer por pedoturbação, sendo substituída por uma massa fina, identificada microscopicamente como plasma, constituída principalmente por argilominerais (filossilicatos) e óxidos (Fe, Al, Mn, Ti).

Existe certa relação entre a composição química do mineral original e o tipo de mineral secundário. Assim, minerais com altos teores de Al, tais como os feldspatos, podem se dissolver dando origem a gibbsita, por exemplo, enquanto minerais ferromagnesianos (olivinas, piroxênios e anfibólios) se dissolvem originando óxidos de Fe (hematita e goethita). A intemperização de plagioclásios e hornblendas pode originar esmectitas diferenciadas em espécies mais aluminosas e mais ferríferas, respectivamente (KÄMPF et al., 2009a).

Os minerais secundários são os principais constituintes da fração argila dos solos (REATTO et al., 1998) e via de regra, são muito reativos (CLEMENTE; AZEVEDO, 2007) devido, sobretudo, a características de sua superfície (grande área superficial específica e presença de cargas elétricas) (RESENDE et al., 2005), estando intimamente relacionados com o comportamento adsortivo do regolito (CLEMENTE; AZEVEDO, 2007). Entre esses minerais, as argilas silicatadas e os óxidos têm grande influência no comportamento físico-químico do meio onde ocorrem (RESENDE et al., 2005). Além disso, os minerais de argila podem constituir-se em importantes fontes de nutrientes para as plantas. Conforme Melo et al., (2003) a caulinita, por exemplo, mesmo sendo um mineral secundário pode contribuir para reserva de K, quando da ocorrência de camadas residuais de mica preservadas em sua estrutura.

De acordo com Reatto et al. (1998), o estudo da mineralogia é de grande valor, quando se trata de observar o comportamento físico-químico dos solos, sendo, portanto, de grande importância à realização de uma completa identificação dos minerais primários e secundários presentes no regolito, quando a produção vegetal é o objetivo final. Portanto, a caracterização mineralógica não deve se limitar apenas ao solo, mas se estender ao regolito, especialmente em situações em que o solo seja raso, isto é, o saprolito se encontra próximo à superfície, sendo passível de exploração pelo sistema radicular das plantas.

Neste contexto, esta pesquisa teve, entre seus objetivos, o estudo das características mineralógicas e geoquímicas de amostras de perfis de alteração em litologias basáltica e gnáissica, a fim de contribuir com informações acerca da importância do saprolito para o desenvolvimento das plantas, bem como para os estudos pedológicos, de modo geral.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Separação das frações areia grossa e argila**

Para as análises mineralógicas foram empregadas amostras de material das seguintes camadas (e horizonte) dos perfis solo-saprolito: Cr1, Cr2 e Cr3 (perfis 1 e 2 - basalto), Cr3, Cr4 e Cr5 (perfil 3 – gnaisse) e Bi/R, CR1 e Cr3 (perfil 4 – gnaisse).

Na separação das frações areia e argila utilizou-se metodologia preconizada por Embrapa (1997). Empregou-se 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) mais 50 mL de solução NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, mantidos em contato e repouso por uma noite, seguido de agitação mecânica em agitador elétrico “stirrer” à rotação de 10.000 rpm, por 15 minutos (solo) e 5 minutos (saprolito). A fração areia grossa foi separada por tamisagem. O material que passou pela peneira (silte + argila) foi transferido para proveta de 1000 mL, completando-se o volume da mesma com água destilada e, em seguida, agitando-se a suspensão por um minuto. A fração argila sifonada, observando-se o tempo de sedimentação, conforme a lei de queda das partículas (Lei de Stokes). Para flocação da fração argila utilizou-se cloreto de estrôncio.

### **2.2. Análises mineralógicas**

Foram realizadas mediante a técnica de difractometria de raios-X (DRX), no Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa - MG. As lâminas de argila natural (sem pré-tratamentos) foram preparadas a partir de pó compactado, conforme técnica descrita por Corrêa (1989). A fração areia foi disposta em lâminas escavadas.

Os difractogramas foram obtidos a partir de um difractômetro marca PANalytical, série X`Pert Pro, equipado com anticatodo de cobalto e operado a tensão de 40 KW e corrente de 20 mA, com velocidade de varredura de 2° 20/minuto: 0,017° 20 a 1 passo s<sup>-1</sup>, com varredura de 0° a 50° 20.

Empregou-se o software RaioX v. 1.0.0.37 (desenvolvido por Elpídio Inácio Fernandes Filho e Walter Antônio Pereira Abrahão - Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa) e outras fontes (literaturas constantes no item Referências, relacionadas à interpretação dos difractogramas).

### **2.3. Análises geoquímicas**

Duplicatas das amostras empregadas nas análises mineralógicas foram enviadas ao Canadá para análise geoquímica no laboratório AcmeLabs (Acme Analytical Laboratories – Vancouver – Ltd.). O preparo das amostras consistiu em secagem a 60°C, seguida de peneiramento com abertura de malha de 180 µm - 80 mesh. Antes de serem peneiradas, as amostras de saprolito foram trituradas. Para obtenção do extrato de digestão, pesou-se uma alíquota de 0,2 g de amostra em cadrinho de grafite, à qual se adicionou 1,5 g de LiBO<sub>2</sub>/Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>. Os cadrinhos foram colocados em forno aquecido a 980°C, por 30 minutos. O extrato obtido, depois resfriado, foi dissolvido em 5 % HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico grau ACS, diluído em água desmineralizada). Padrões de calibração e brancos foram adicionados à seqüência de amostras. Os teores totais dos Ca, Mg, K, Na, Si, Al, Fe, P e Mn foram determinados por meio de um espectógrafo de emissão ICP (Spectro Ciros Vision or Varian 735).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Mineralogia**

As quatro áreas selecionados correspondem, necessariamente, a regolitos (solum + saprolito) profundos, porém apresentando solum raso, uma vez que o propósito é o estudo do saprolito. Em três destas áreas, representados pelos perfis solo-saprolito, a cobertura pedológica se enquadra na classe Neossolo Regolítico eutrófico típico e no outro (quarta área) corresponde a um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, de acordo com a atual versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2007). A discussão dos resultados seguirá esta ordem, primeiro saprolitos de basalto, depois saprolitos de gnaisse, envolvendo dois perfis para cada litologia.

##### **3.1.1. Minerais nos saprolitos de basalto**

Foram analisadas três amostras em cada perfil, correspondentes a camadas Cr (saprolito), morfologicamente delimitadas. Estas camadas seguem a sequência genética (Cr1, Cr2 e Cr3) e compreenderam uma porção do perfil de mais de dois metros (topo situado a cerca de 70 cm e base próxima a 300 cm).

###### **3.1.1.1. Fração argila**

###### **Mica**

Observa-se na Figura 2 (perfil 2) a presença discreta de mica (pico 1,010 nm) provavelmente biotita trioctaedral, em se tratando de material saprolítico (LUZ et al., 1992, *apud* KÄMPF; CURI, 2003). Embora este pico não seja observado nas amostras P2:Cr2 e P2:Cr3, nota-se uma ombreira com ápice está na mesma posição da reflexão em P2:Cr1. A pouca expressão do pico em torno de 10,17° 2θ sugere que a reflexão basal 003 (0,337 nm) esteja encoberta pela ombreira formada pelo pico de 0,357 nm da caulinita. O pico de 0,442 nm foi duvidosamente atribuído a um mineral micáceo.

###### **Esmectita**

As reflexões em 8,3° 2θ e 6,5° 2θ (Figura 2) foram atribuídas à esmectita (1,591 nm e 1,235 nm), provavelmente produto da intemperização da vermiculita

formada por transformação a partir da biotita (KÄMPF et al., 2009a). Em se tratando de uma rocha rica em ferro (basalto), é esperado tratar-se de uma esmectita ferruginosa (nontronita), conforme relata Borchardt (1989), comumente observada em saprolitos de basalto.

### Caulinita

Constata-se, em ambos os perfis (Figuras 1 e 2), a presença de caulinita, indicada principalmente pelos picos de 0,731-0,723 nm e 0,358-0,357 nm, cuja expressão sugere tratar-se do mineral dominante nesta fração. Estes espectros revelam que a formação de caulinita ocorre de forma expressiva já no interior destes alteritos, conforme constatado em todas as amostras.

A largura dos picos à meia altura, um índice do grau de cristalinidade (KLUG e ALEXANDER, 1954, *apud* (RESENDE et al., 2005), particularmente no perfil 1 (Figura 1), indica uma caulinita pior cristalizada, conforme esperado, em se tratando de um estágio de alteração precedente à pedogenização.

Nota-se que a expressão dos referidos picos indica uma cristalinidade inferior nas amostras de camadas mais profundas. Nota-se também um deslocamento destes picos de caulinita para ângulos 2 $\theta$  menores, o que se acentua em profundidade. Talvez isto seja também um indicador de baixa cristalinidade.

A riqueza de ferro livre, bem como em titânio, no saprolito de basalto, contribui para a pior cristalinidade da caulinita (MURRAY; LYONS, 1960; BUNDY et al., 1966, *apud* RESENDE et al., 2005).

### Anatásio

O anatásio, um mineral presente em rochas ígneas e metamórficas, persiste como um mineral residual no solo (TAYLOR, 1987). Sua ocorrência, no entanto, é mais expressiva em rochas maficas, onde o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é maior (Tabela 2). Os difractogramas apresentados nas Figuras 1 e 2 mostram a presença discreta de anatásio, indicada pelos picos 0,238 nm e 0,354 nm.

O aparecimento do pico de 0,352 nm no perfil 2 (Figura 2) é prejudicada pela baixa cristalinidade da caulinita (0,358 nm), principalmente nas camadas mais profundas (Cr2 e Cr3), indicada pela largura a meia altura (LMA).

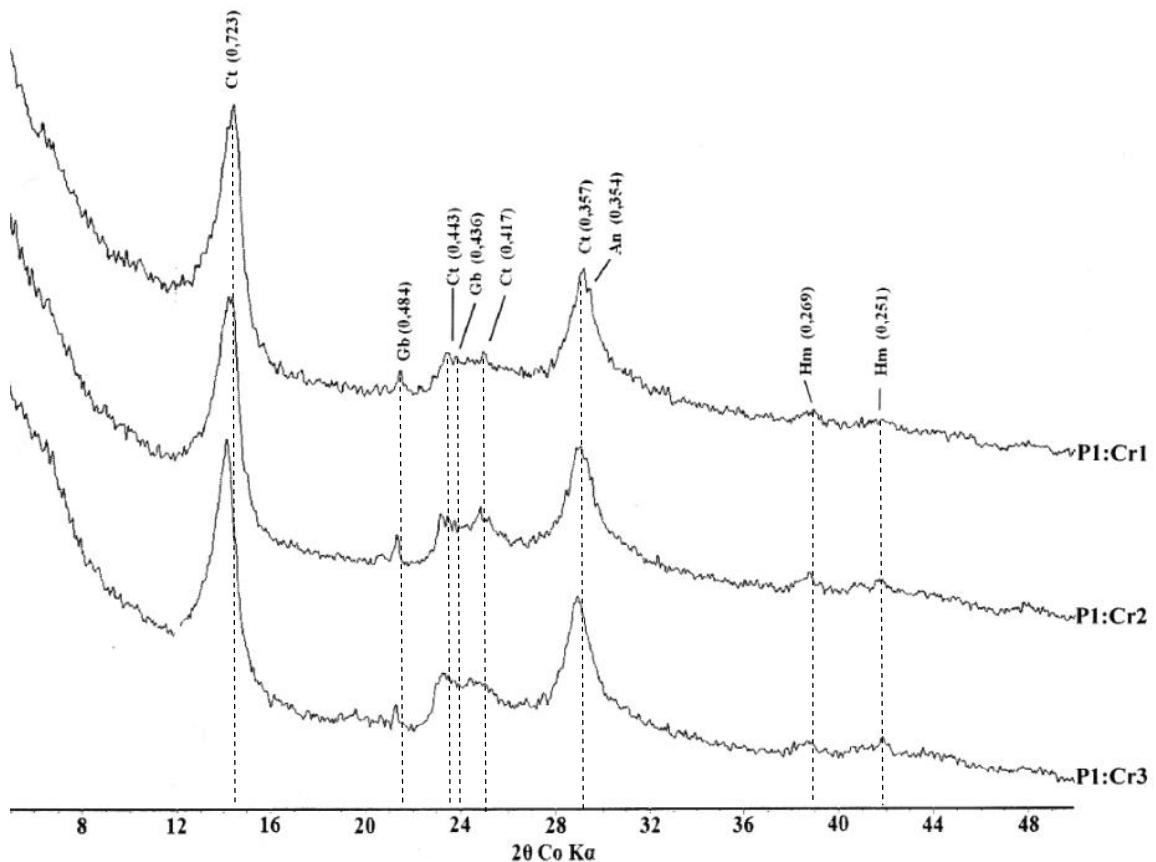


FIGURA 1. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado – perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. *Observações:* a) Profundidade das amostras: Cr1 = 76-120 cm, Cr2 = 120-186 cm, Cr3 = 186-290 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Ct = caulinita, An = anatásio, Hm = hematita Gb = gibbsita.

### Hematita

A presença de hematita no saprolito (Cr), indicada pelos picos 0,251; 0,270-0,269 e 0,220 nm (Figuras 1 e 2) está relacionada ao material bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) do horizonte A (Anexos 1 e 2), o qual penetra fendas presentes no interior das camadas Cr.

### Gibbsita

Verifica-se também a presença discreta de gibbsita, indicada pelos picos 0,486-0,484 nm e 0,436-0,437 nm (Figuras 1 e 2). Esta ocorrência de gibbsita no saprolito era inesperada por se tratar de mineral secundário típico de solos pedogeneticamente muito evoluídos, particularmente nos Latossolos Ácricos (CORRÊA et al., 2011), embora seja um mineral também comum nos solos mais novos (REZENDE, 1980). É possível que a ocorrência deste mineral possa estar relacionada, pelo menor em parte, ao material edafizado da superfície interpenetrado nas fendas presentes no saprolito, o que é muito comum em alteritos de basalto.

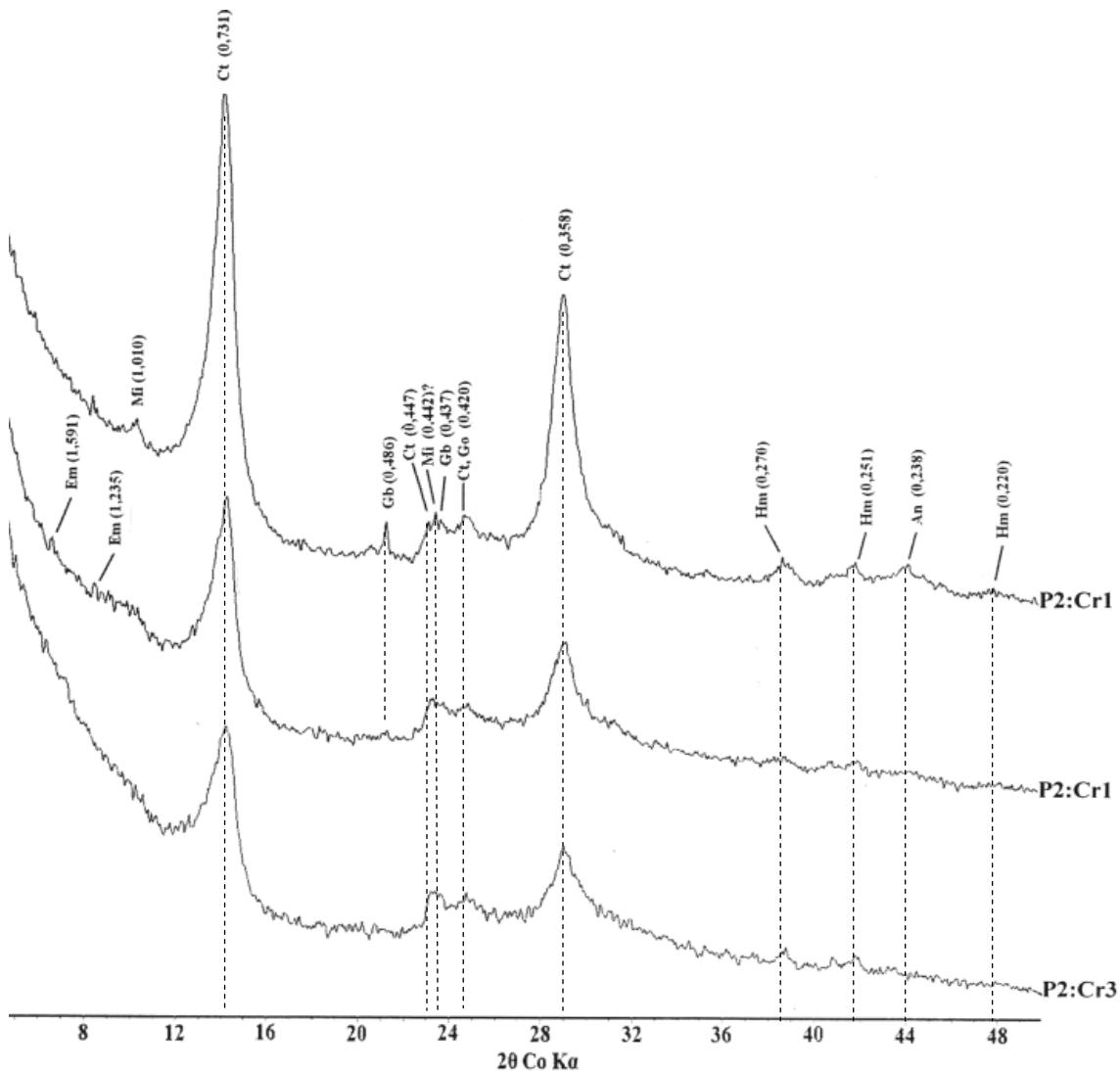


FIGURA 2. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado – perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. *Observações:* a) Profundidade das amostras: Cr1 = 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280<sup>+</sup> cm. b) Minerais: Mi = mica, Em = esmectita, Ct = caulinita, An = anatásio, Hm = hematita, Gb = gibbsita.

Conforme postulado acima, a presença de gibbsita no saprolito de basalto pode estar relacionada ao material edafizado da superfície. Por outro lado, o elevado teor de ferro e relativamente baixo teor de sílica, relacionados ao basalto (Tabela 2), devem estar favorecendo uma incipiente síntese de gibbsita (RESENDE, 1976; CURI, 1983; CORRÊA et al., 2011), mesmo em se tratando de Neossolo.

Embora se trate da fração areia, convém lembrar que esta fração granulométrica é constituída de agregados consequentes da fragmentação do saprolito para obtenção da terra fina (TFSA). Por sua vez, o saprolito, por corresponder a uma fase de transformação rocha-solo, torna possível a ocorrência de minerais secundários derivados de filossilicatos primários menos resistentes à alteração, a exemplo da biotita.

## **Feldspato**

A ocorrência de feldspatos é esperada por ser um constituinte essencial em rochas magmáticas, bem como de gnaisses (LOZET; MATHIEU, 1986). No entanto, sua presença foi, duvidosamente, identificada (picos 0,423; 0,412 e 0,323 nm) em um dos dois perfis estudados em substrato basáltico (Figura 4).

O fato de a biotita ser também um constituinte importante nesta rocha e não ter sido identificada em nenhum dos difractogramas e, considerando se tratar de feldspatos (estabilidade ao intemperismo geralmente inferior à da biotita) (RESENDE et al., 2007), é de se esperar que sua presença tenda a ser discreta no saprolito de basalto e, conforme observado, mais presente em profundidade.

### **3.1.1.2. Fração areia**

## **Muscovita (ilita)**

A presença de muscovita em saprolito de basalto (Figura 4 – P2:Cr3) sugere tratar-se de um produto da alteração da biotita (KÄMPF; CURI, 2003). A muscovita, um mineral alumino-potássico, comumente referida como ilita quando na fração argila (SHULZE, 1989; KÄMPF; CURI, 2003), é bastante resistente à alteração, razão pela qual está frequentemente presente em solos.

A presença da reflexão 002 correspondente ao pico em torno de 0,5 nm, muito fraco ou inexistente na biotita (FANNING et al., 1989; KÄMPF; CURI, 2003), é uma forte indicação de que realmente se trata de muscovita. Os picos em torno de 1,00 a 0,330 nm, associados àquele mencionado anteriormente, confirmam a presença de muscovita na amostra mais profunda do saprolito de basalto do perfil 2.

## **Vermiculita**

Observa-se um pico discreto de 1,440 nm (Figura 3) que foi atribuído à vermiculita. Este mineral também é esperado no saprolito, em decorrência da alteração da biotita. Esta não está mais presente no material estudado, devido sua fácil alteração, principalmente em se tratando de um clima tropical quente e úmido.

## **Haloisita-metahaloisita (caulinita?)**

A análise destes difractogramas (Figuras 3 e 4) indica a presença destes dois minerais, com base nas reflexões basais de primeira e segunda ordens da haloisita,

respectivamente, 0,750-0,721 nm, 0,36 nm e o pico em torno de 0,442 nm (0,446-0,442 nm), além de picos de menor expressão (0,418; 0,256; 0,235-0,234 e 0,223-0,220 nm).

No entanto, não se verifica o pico próximo a 1,0 nm, sugerindo tratar-se de uma forma menos hidratada (WILSON, 1987), ou seja, a metahaloisita. Segundo este mesmo autor, a transformação de haloisita para metahaloisita pode ocorrer pela simples secagem do material, em relação à umidade de campo. É, portanto, possível a presença destas duas formas no material analisado, uma vez que não foi preservada a umidade de campo. Por outro lado, de acordo com o mesmo autor, a forte reflexão em torno de 0,442 nm é indicativa de uma haloisita com morfologia tubular, forma esta tida como mais frequente (BATES et al., 1950, *apud* DIXON, 1989). Apesar dos referidos picos, encontrados na fração areia grossa, terem sido atribuídos ao mineral haloisita-metahaloisita e a discussão acima estar consistente com a literatura consultada, paira a dúvida ante a possibilidade, talvez mais provável, de se tratar do mineral caulinita, devido à similaridade de picos destes dois minerais.

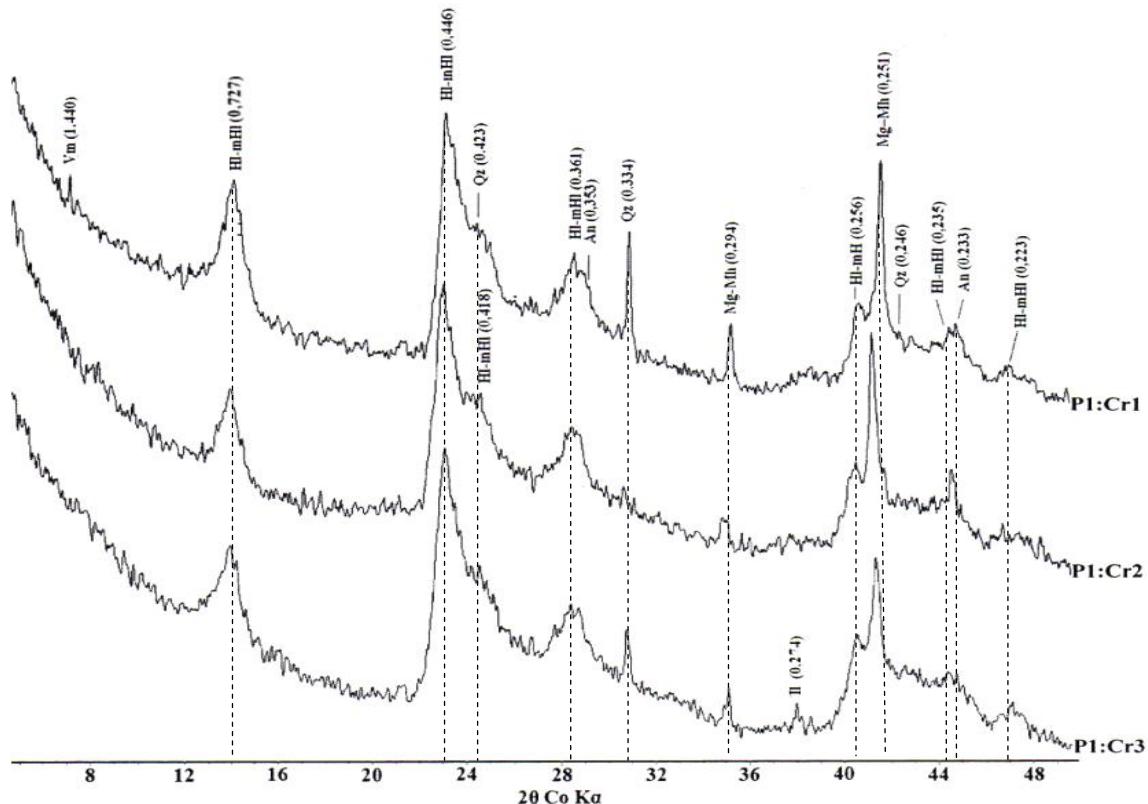


FIGURA 3. DRX da fração areia, preparada em lâmina escavada – perfil 1 - Neossolo Rególico Ta eutrófico típico, substrato basalto. *Observações:* a) Profundidade das amostras: Cr1 = 76-120 cm, Cr2 = 120-186 cm, Cr3 = 186-290 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Vm = vermiculita, mHl/Hl = metahaloisita/haloisita (caulinita ?), Qz = quartzo, Il = ilmenita, An = anatásio, Mg = magnetita, Mh = maghemita.

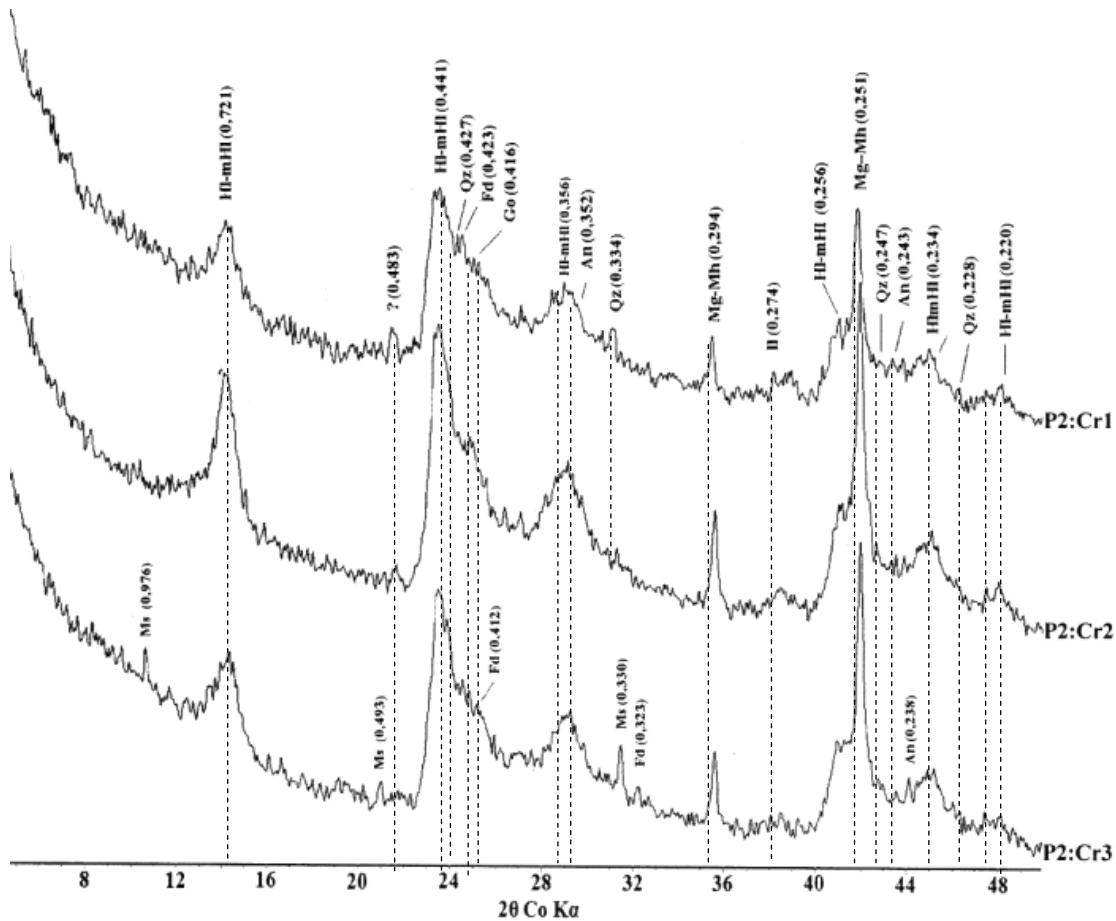


FIGURA 4. DRX da fração areia, preparada em lâmina escavada - perfil 2 - Neossolo Rególico Tb eutrófico típico, substrato basalto. *Observações:* a) Profundidade das amostras: Cr1 = 67-105 cm, Cr2 = 105-201 cm e Cr3 = 201-280<sup>+</sup> cm. b) Minerais: Fd = feldspato, Ms = muscovita, mHl/Hl = metahaloisita/haloisita, Qz = quartzo, Il = ilmenita, An = anatásio, Mg-Mh = magnetita-maghemitita, Go = goethita.

### Quartzo

O pico de 0,334 nm, que corresponde a mais forte reflexão para o quartzo, está bem evidente na Figura 3, além dos picos de 0,427-0,423 e 0,247-0,246 nm, confirmando a presença do mineral quartzo na fração areia do saprolito de basalto. A pouca expressão destes picos nos difractogramas do perfil 2 (Figura 4), onde aparece também o pico de 0,228 nm, pode estar relacionada ao fato deste saprolito apresentar-se quase sem fraturas, ao contrário do perfil 1 (Figura 3). Neste, o fraturamento permitiu a penetração de material edafizado (horizonte A), seguramente com maior concentração de quartzo na fração areia.

### Ilmenita

Este mineral primário é frequente no basalto (FOUCAULT; RAOULT, 1988) e, portanto, comum em solos derivados de rochas maficas (RESENDE et al., 2005).

Devido sua grande resistência ao intemperismo, ocorre em solos como um mineral residual (TAYLOR, 1987), onde tende a se concentrar em relação às rochas de origem (KÄMPF et al., 2009b). Sua presença, embora discreta, é identificada no saprolito de basalto apenas pelo pico de intensidade máxima, 0,274 nm (Figuras 3 e 4).

### Anatásio

A presença esperada de anatásio é confirmada pelos picos 0,352-0,353; 0,238; 0,243 e 0,233 nm (Figuras 3 e 4). A má cristalinidade dos minerais secundários presentes nos saprolitos dificulta uma melhor definição dos picos de anatásio. Este mineral, um polimorfo de  $TiO_2$ , com estrutura cristalina CCP (*cubic close packing*), ocorre em rochas ígneas e metamórficas e pode persistir como mineral residual em solos (TAYLOR, 1987). Observa-se (Tabela 2) que os teores de titânio ( $TiO_2$ ) acompanham os teores de ferro ( $Fe_2O_3$ ), sendo, portanto, substancialmente maiores nos saprolitos de basalto, em relação ao de gnaisse.

### Magnetita-maghemita

O fato da maghemita, em sua forma completamente oxidada, ser um mineral isoestrutural com a magnetita (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989), produz difrações de raios-X similares, o que torna praticamente impossível distinguir estes dois minerais com base apenas na difração de raios-X (WILSON, 1987).

Assim, conforme mostram as Figuras 3 e 4, os picos de 0,294 e 0,251 nm foram atribuídos a estes dois minerais. De fato, em se tratando da fração areia de saprolito de basalto, a presença de magnetita é esperada (CURI; FRANZMEIER, 1984). Por outro lado, devido sua fácil oxidação para maghemita (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989), este mineral deve também estar presente no saprolito, associado à magnetita. Os picos identificados para este mineral (0,294 e 0,251 nm) indicam tratar-se de uma maghemita sem substituição de Fe por Al, considerando-se que esta substituição daria picos de difração com menor valor (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989). Esta é também uma indicação de que se trata de uma maghemita formada diretamente pela oxidação da magnetita (SCHWERTMANN; FECHTER, 1984, *apud* FONTES; WEEDS, 1991).

### Goethita

Conforme é de se esperar, os minerais secundários encontrados no saprolito apresentam-se mal cristalizados, gerando picos de menor resolução. O pico em tono de

0,416 nm (Figura 4) é indicativo da presença de goethita. A cor característica do material terroso que envolve os blocos de basalto, presentes no saprolito, apresentam cor amarela indicativa da presença de goethita. Por outro lado, embora a rocha em alteração seja de natureza máfica, é sabido que, inicialmente, a liberação de Fe (II) é lenta, fato este que favorece a síntese de goethita. No saprolito de basalto certamente a taxa de liberação de Fe é lenta e sua oxidação ocorre num ambiente úmido, fatores estes favoráveis à síntese da goethita:

Hematita ou goethita =  $f[\text{Fe(III)} \text{ na solução do solo}]$  - (RESENDE et al., 2005).

### **3.1.2. Minerais no saprolitos de gnaisse**

Em cada perfil também foram analisadas três amostras. Num deles (Neossolo) as amostras são exclusivamente do saprolito, enquanto no quarto perfil (Cambissolo) a amostra do horizonte Bi/R foi incluída no estudo da mineralogia. Neste perfil (P4), devido ao maior desenvolvimento do regolito, as amostras do saprolito selecionadas não são contiguas (Cr1 e Cr3) e totalizam uma espessura de 155 cm, incluindo o horizonte Bi/R. Ainda com relação a este perfil, vale ressaltar seu aspecto uniforme. Contrariamente, o saprolito do Neossolo (P3) corresponde a um gnaisse com bandeamentos bem distintos e disposição obliqua (Foto 7A – Anexo B), razão pela qual as amostras correspondem a camadas mais estreitas, abrangendo uma espessura menor de amostragens (cerca de 100 cm).

#### **3.1.2.1. Fração argila**

Os difractogramas apresentados nas Figuras 5 e 6 se referem à fração argila de saprolitos de gnaisse a destacar a marcante diferença quando se compara estes dois saprolitos através da constituição mineralógica, relativamente complexa no perfil 3 e simples no perfil 4, traduzindo diferenças marcantes da rocha. Esta diferença é ainda mais notória nos difractogramas da areia grossa, conforme será visto mais adiante. O gnaisse do perfil 3 é possivelmente mesocrático, devido à maior presença de biotita, enquanto o perfil 4, com presença dominante de caulim, está relacionado a um gnaisse de natureza quartzo-feldspática.

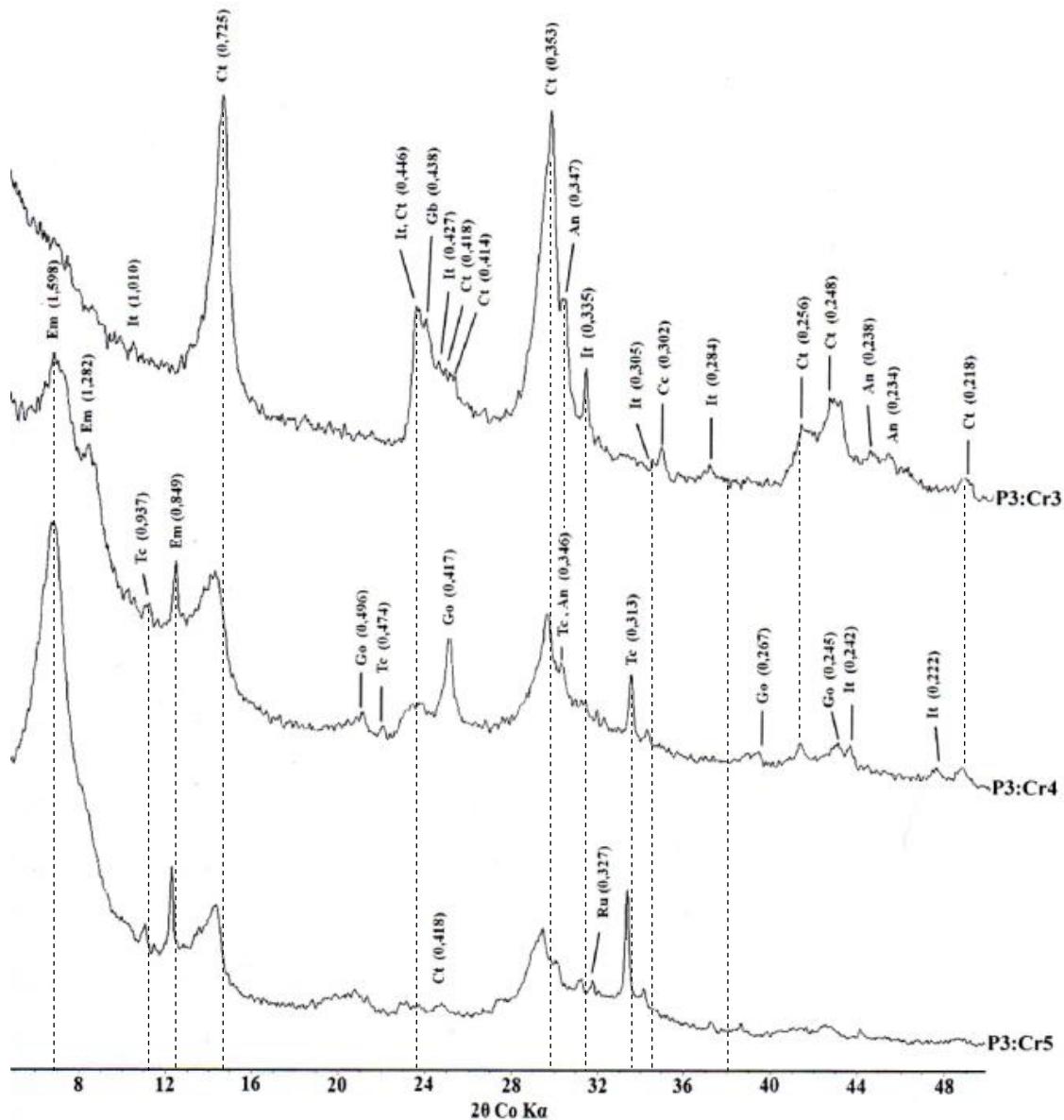


FIGURA 5. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado – perfil 3 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato gnaisse. Observações: a) Profundidade das amostras: Cr3 = 97-140 cm, Cr4 = 140-170 cm, Cr5 - int. (Cr5 menos intemperizado) = 170-201 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Tc = talco (?), Cc = calcita, It = ilita, Em = esmectita, Ct = caulinita, An = anatásio, Ru = rutilo, Go = goethita, Gb = gibbsita.

### Talco

O mineral primário talco ocorre em rochas metamórficas, podendo, portanto, estar presente no gnaisse. Entretanto, sua presença não é esperada em saprolito de gnaisse, uma vez que neste não foi identificada a presença de biotita (um de seus principais componentes), indicando grau de alteração incompatível com a presença de talco, devido à baixa resistência deste mineral a alteração. A considerar que nem mesmo o quartzo encontra-se presente nos difractogramas (Figura 5). O fato de o material saprolítico ter sido submetido à fragmentação para obtenção da terra fina é, certamente,

responsável pela presença de partículas de minerais primários na granulometria de argila. Os picos 0,937; 0,474; 0,346 e 0,313 nm, nas amostras P3:Cr4 e P3:Cr5 (Figura 5) sugere a presença do mineral talco. Todavia, essa identificação é bastante duvidosa (?), mas foi mantida por não se ter encontrado outro mineral com esta mesma série de picos.

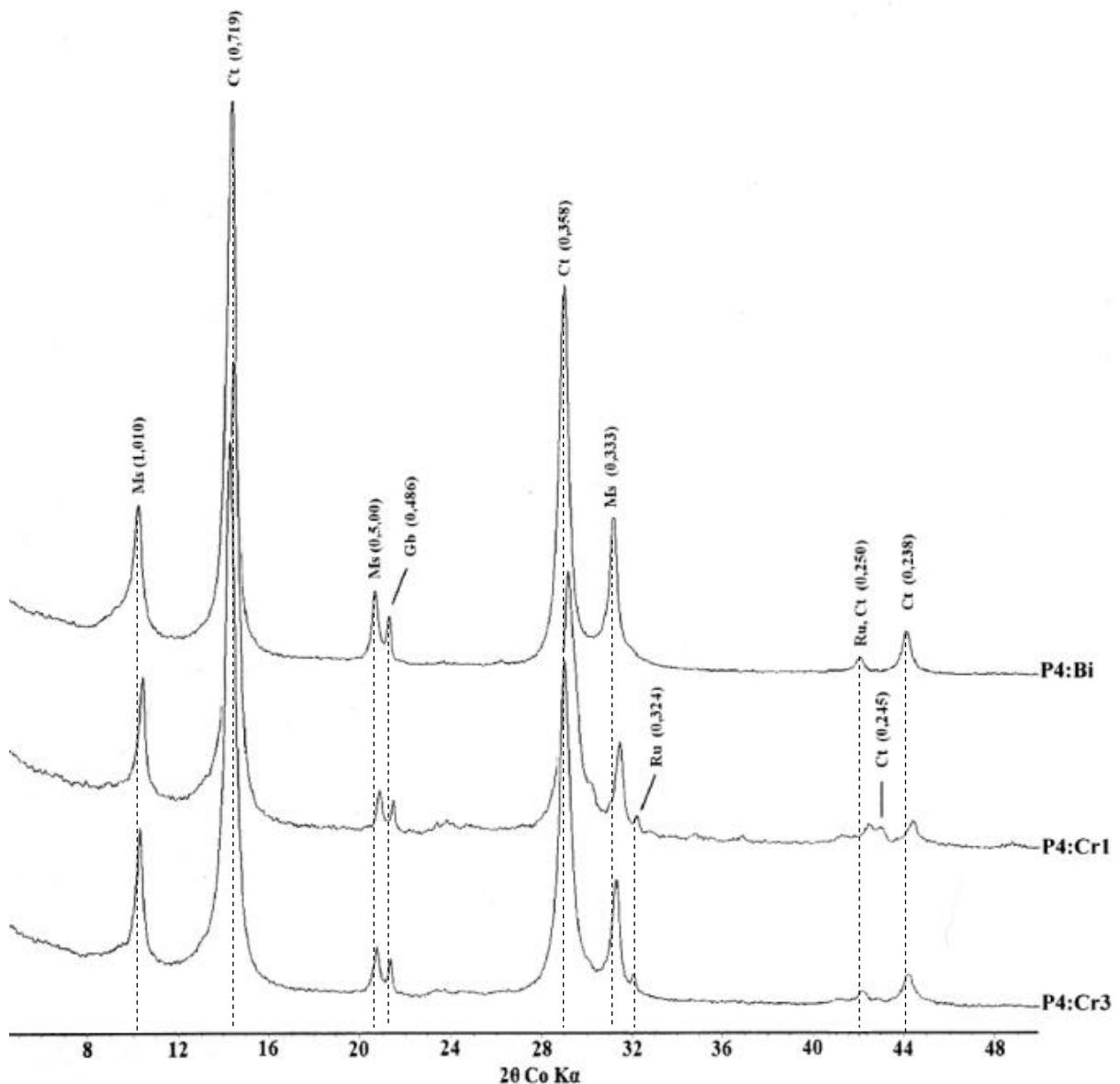


FIGURA 6. DRX da fração argila natural à temperatura normal, preparada em pó compactado – perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. *Observações:* a) Profundidade das amostras: horizonte Bi/R = 18-45 cm, camadas Cr1 = 79-140 e Cr3 = 219-282 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Ms = muscovita, Ct = caulinita, Ru = rutilo, Gb = gibbsita.

### Calcita

O mineral calcita foi identificado na Figura 5, pelo seu pico de intensidade máxima (0,302 nm) na amostra P3:Cr3. Em se tratando de saprolito de gnaisse, muito

provavelmente, este pico se refere a um mineral de  $\text{CaCO}_3$  secundário.

### **Ilita**

A presença esperada de ilita é confirmada pelos picos 1,001; 0,446; 0,427; 0,335; 0,305; 0,284; 0,256; 0,242 e 0,222 nm (Figura 5). Trata-se de um mineral proveniente da alteração das micas, as quais são muito comuns na constituição de rochas como xistos e gnaisses (LOZET e MATHEU, 1986; RESENDE et al., 2005). A identificação deste mineral, apenas no perfil 3, parece estar relacionada ao teor substancialmente maior de biotita no gnaisse deste perfil. Veja o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (essencialmente proveniente da biotita) na Tabela 2.

### **Muscovita**

A ocorrência de muscovita pode ser identificada principalmente por dois picos intensos na região de 1,00 a 0,33 nm e um pico relativamente fraco a 0,5 nm (FANNING et al. 1989). A presença da reflexão 002, muito fraca ou inexistente em biotita (KÄMPF; CURI, 2003; FANNING et al. 1989), é uma forte indicação de que os picos supramencionados pertencem à muscovita. Por outro lado, os difractogramas apresentados na Figura 6 se referem a um saprolito mais profundo e caulinizado, de natureza félsica, com predomínio de material quartzo-feldspático. A ausência de biotita nos difractogramas do perfil 4 deve-se, certamente, à sua vulnerabilidade da alteração deste mineral (LOZET e MATHEU, 1986).

### **Esmectita**

O fato de não ter sido feito nenhum tratamento, tendo em vista a identificação de argilas expansivas, fica difícil a interpretação dos picos em torno de 1,5 nm. Observa-se um pico proeminente na posição em torno de 1,555 nm (Figura 5), indicativo da presença mais provável de esmectita. Segundo Borchardt (1989), sem os devidos pré-tratamentos, os espaçamentos basais de esmectitas podem variar de 1,0 a 2,0 nm, tornando a interpretação difícil ou impossível. Portanto, com base na consideração acima, os picos 1,598 e 1,282 nm devem também ser relacionados a minerais de argila do grupo da esmectita. Por outro lado, a ausência de um pico em torno de 1,4 nm, que seria indicativo de vermiculita, reforça a interpretação de que estes picos estejam relacionados à presença de esmectita.

Segundo Resende et al. (2005), nas condições brasileiras a esmectita ocorre mais frequentemente em ambiente com pouca lixiviação (o exemplo do que deve ocorrer nos saprolitos), contrariamente à vermiculita, mais presente em ambientes com maior propensão à lixiviação.

A ocorrência de um pico bem definido na posição 0,849 nm nas duas amostras mais profundas do saprolito (Figura 5), foi também atribuída à esmectita. Todavia, em se tratando deste mineral, este pico (002), segundo Resende et al. (2005), estaria indicando tratar-se de melhor grau de cristalinidade, o que parece ocorrer em materiais coletados em maior profundidade (amostra P3:Cr5). Porém, o referido pico (002) não apresenta a feição tipicamente mais larga (LMA), característica dos picos de esmectita, conforme relatam estes mesmos autores.

### Caulinita

Observa-se nas Figuras 5 e 6 que a caulinita (0,725-0,719 nm e 0,358-0,353 nm) se destaca, pela expressão desses picos. Embora a análise de raios-X nos apresenta um resultado qualitativo, a expressão dos picos nos dá uma idéia semi-quantitativa do mineral. Por outro lado, a largura à meia altura indica tratar-se de uma caulinita melhor cristalizada (KLUG; ALEXANDER, 1954, *apud* RESENDE et al., 2005). A caulinita em saprolitos de gnaisse (CORREA, 1984), inclusive pseudomorfos de caulinita (PINTO, 1971; MUGGLER, 1998), é de ocorrência comum.

### Óxidos de titânio (rutilo e anatásio)

A presença dos óxidos de titânio ( $TiO_2$ ), anatásio (pico 0,437 e 0,234 nm) no perfil 3 (Figura 3) e rutilo (picos 0,327-0,324 e 0,250 nm) nos perfis 3 e 4 (Figuras 5 e 6), no saprolito de gnaisse é também discreta. Estes picos aparecem mais bem definidos no material saprolítico de gnaisse, em relação ao verificado no saprolito de basalto, possivelmente devido à linha de base dos difractogramas ser mais rebaixada (menor fluorescência devido ao menor teor de ferro, apesar do anticatodo ser de cobalto). Por outro lado, é possível que a estrutura bandeada do gnisso favorece a concentração diferenciada de certos componentes minerais. Isto explicaria a inconsistência entre a expressão dos picos de An e Ru e os teores de  $TiO_2$  da análise total (Tabela 2), quando se compara os resultados obtidos para o saprolito de basalto com aqueles de gnaisse, bem inferiores.

## **Goethita**

A ocorrência de goethita (picos 0,496; 0,417; 0,267 e 0,245 nm) é destacada principalmente na camada Cr4 do perfil 3 (Figura 5), e está relacionada a uma banda biotítica que, devido sua menor resistência à alteração (RESENDE et al., 2005), propiciou mais rápida liberação do Fe e síntese de goethita, conforme indicada pela cor (Figura A. 8)

## **Gibbsita**

A presença de gibbsita é discreta e indicada pelos picos 0,438 nm (Figura 5) e 0,486 nm (Figura 6). A disponibilidade de sílica no saprolito de gnaisse é substancialmente mais expressiva que nos alteritos de basalto (Tabela 2), o que desfavorece a síntese de gibbsita (RESENDE, 1976). Por outro lado, a estrutura do gnaisse (em bandas) não favorece o fraturamento, ao contrário do basalto (rocha massiva), fato este que, evidentemente, propicia a drenagem interna (lixiviação).

### **3.1.2.2. Fração areia**

Os difractogramas da Figura 7 referem-se exclusivamente ao saprolito (Cr), enquanto na Figura 8 há um difractograma de um horizonte de solo (P4:Bi/R).

## **Clorita**

As rochas do complexo cristalino (regionalmente pertencente ao Grupo Araxá) apresentam variações quanto ao grau de metamorfismo, razão pela qual a litologia dominante gnáissica é frequentemente também denominada genericamente de xisto, algumas vezes especificado de micaxisto ou biotita gnaisse, conforme pode ser constatado no levantamento de solos do Triângulo Mineiro (EMBRAPA, 1982). O fato de a clorita, neste tipo de rocha, estar mais relacionada àquelas fracamente metamorfisadas (xistos), sugere, pela pouca expressão dos picos em torno de 0,714 e 0,485 nm (Figuras 7 e 8), que os perfis estudados estão, mais provavelmente, sobre saprolito de gnaisse.

A não detecção do mineral biotita, um componente importante destas rochas, sugere que a clorita identificada deva ser produto da alteração da biotita. Por outro lado, o fato de as reflexões 002 e 004 serem mais pronunciadas estaria indicando tratar-se de uma clorita mais rica em ferro (KÄMPF; CURI, 2003).

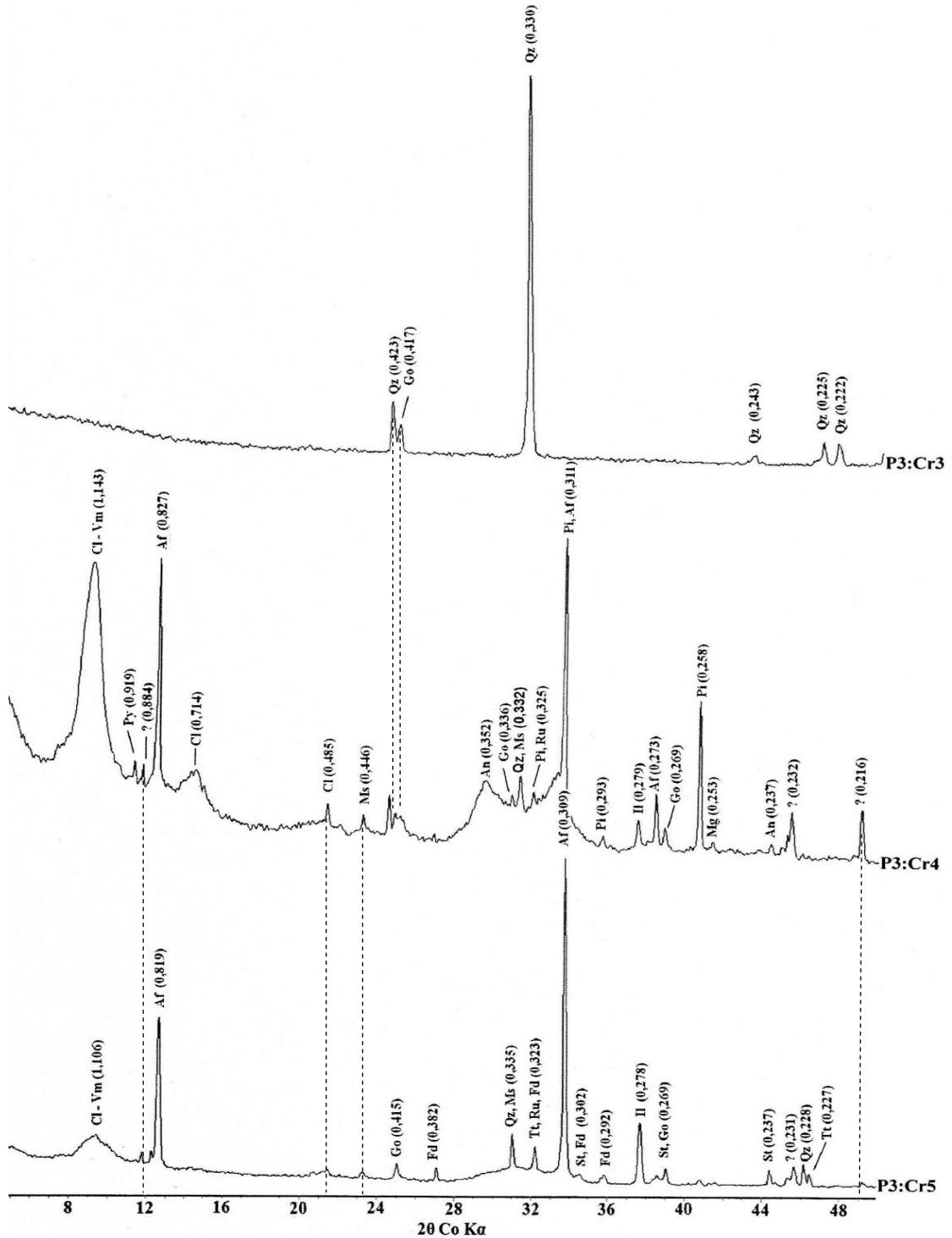


FIGURA 7. DRX da areia, preparada em lâmina escavada - perfil 3 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato gnaisse. *Observações:* a) Profundidade das amostras: Cr3 = 97-140 cm, Cr4 = 140-170 cm, Cr5 – int. (Cr5 menos intemperizado) = 170-201<sup>+</sup>. b) Minerais: Cl = clorita, Cl-Vm = interestratificado clorita-vermiculita, Fd = feldspato, Af = anfibólito, Pi = piroxênio, St = estaurolita, Py = pirofilita, Qz = quartzo, Il = ilmenita, Ru = rutilo, An = anatásio, Mg = magnetita, Tt = titanita, Go = goethita? = não identificado.

Convém lembrar que, segundo Resende et al. (2005), praticamente todos os minerais que se encontram na rocha de origem podem ocorrer na fração areia. Há que se considerar também a presença de pseudomorfos de filossilicatos primários.

### **Interestratificado clorita-vermiculita**

As Análises de raios-X foram feitas em pó compactado e sem pré-tratamentos, o que dificulta sobremaneira uma interpretação mais precisa de minerais 2:1 expansivos. Os picos 1,143 e 1,106 nm (Figura 7) estão em posição que sugerem tratar-se de um mineral interestratificado, possivelmente clorita-vermiculita, resultante da transformação progressiva - lâmina por lâmina - de um mineral argiloso (LOZET; MATHEU, 1986), provavelmente a muscovita (RESENDE et al., 2005). Neste caso (fração areia) trata-se de um pseudomorfo.

### **Feldspato**

A presença de feldspato, um dos minerais essenciais dos gnaisses (LOZET; MATHEU, 1986, FOUCAULT; RAOULT, 1988), é identificada nas Figuras 7 e 8 pela série de picos em torno de 0,419; 0,382; 0,369; 0,331; 0,328; 0,323; 0,302 e 0,292-0,290 nm (RESENDE et al., 2005), indicando tratar-se, mais provavelmente, de feldspato potássico. A presença de duas ou três fortes reflexões em torno de 0,328 nm é uma característica dos feldspatos, segundo Brown (1961).

Na Figura 8, dois picos aparecem emparelhados, com uma pequena decalagem (0,331 e 0,328 nm). O fato de alguns picos não serem comuns aos dois perfis (Figuras 7 e 8) reflete variações do gnaisse. Assim é que, no perfil 3 (P3) o gnaisse é mais escuro, ou seja, mais biotítico, indicando maior riqueza em Fe (Tabela 2), enquanto no perfil 4 (P4), ao contrário, o saprolito de gnaisse apresenta coloração mais clara, indicando uma constituição mais rica em feldspato, a qual se manifesta pela melhor definição e maior presença de picos característicos deste mineral. Neste perfil (P4) o intemperismo foi mais intenso (saprolito mais profundo) e já houve desenvolvimento de horizonte Bi/R no solo (Cambissolo).

### **Anfibólio**

O gnaisse é uma rocha rica em minerais ferromagnesianos, entre os quais micas e anfibólio, em suas bandas de cor escura (FOUCAULT; RAOULT, 1988). Conforme esperado, no perfil 3 (gnaisse mais escuro), este mineral foi encontrado em camadas menos alteradas do saprolito de gnaisse, apresentando picos bem definidos nas posições 0,827-0,819; 0,311 e 0,273 nm (Figura 7) (RESENDE et al., 2005). Possivelmente trata-se do mineral hornblenda. Embora este mineral, na série de Goldich (1938), apareça como menos resistente ao intemperismo do que a biotita convém assinalar que a

estabilidade ou resistência de um mineral à alteração depende não apenas de sua constituição química, mas também de sua estrutura, dureza e granulometria, entre outros fatores (KÄMPF et al., 2009b).

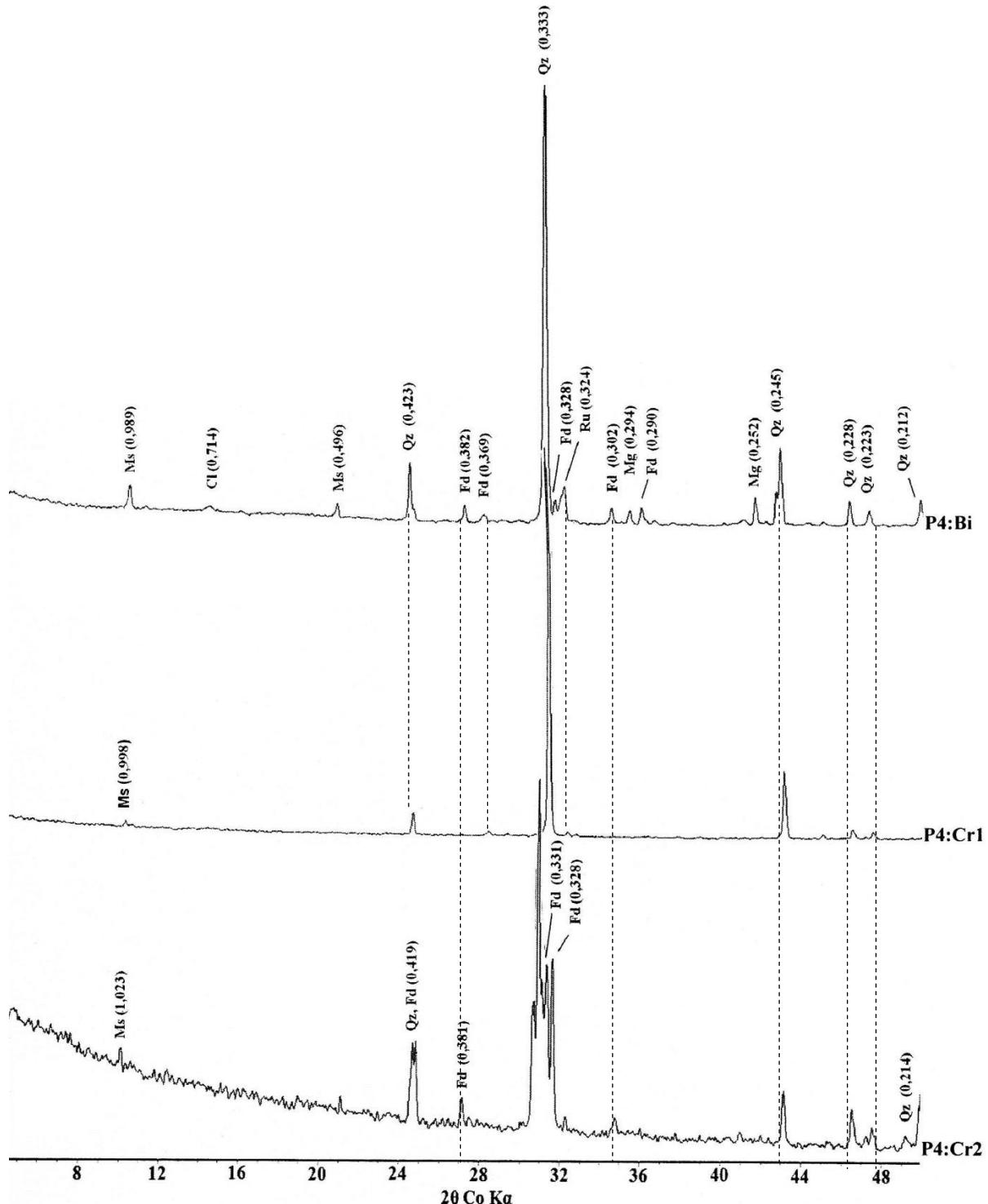


FIGURA 8. DRX da fração areia, preparada em lâmina escavada - perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. *Observações:* a) Profundidade das amostras: Bi/R = 18-45 cm, Cr1= 79-140, Cr3 = 219-282 cm<sup>+</sup>. b) Minerais: Cl = clorita, Fd = feldspato, Mi = mica, Mg = magnetita, Ms = muscovita, Qz = quartzo, Ru = rutilo.

## **Piroxênio**

Trata-se de um silicato de fácil alteração, encontrado em rochas eruptivas e metamórficas (LOZET; MATHEU, 1986), pertencente ao grupo dos chamados minerais ferromagnesianos (KÄMPF et al., 2009a). Sua presença foi constada apenas na amostra P3:Cr4 (Figura 7) através de picos bem definidos (0,325; 0,311; 0,293 e 0,258 nm). A ausência deste mineral na amostra imediatamente mais profunda (P3:Cr5) se deve, provavelmente, às variações decorrentes da disposição bandeada dos minerais no gnaisse. Isto é bem evidenciado pela disparidade sistematicamente observada nos difractogramas das diferentes amostras de um mesmo perfil, conforme bem exemplificado pelas Figuras 7 e 8.

## **Estaurolita**

Trata-se de um nesossilicato comum em rochas metamórficas, principalmente em micaxistas e gnaisses (LOZET; MATHEU, 1986, FOUCAULT; RAOULT, 1988). A ausência do pico de intensidade máxima do anatásio (0,352 nm), na amostra P3:Cr5 (nível de menor intemperismo), indica que a reflexão de 0,237 nm pertence à estaurolita, assim como aquelas de 0,302 e 0,269 nm. A baixa resistência deste mineral ao intemperismo justifica sua ausência nas amostras coletadas em níveis mais intemperizados (P3:Cr3 e P3:Cr4), bem como no saprolito mais alterado (perfil 4 – Foto 10A), no qual foram identificados essencialmente minerais félsicos.

## **Pirofilita**

Trata-se de um filossilicato parecido com as micas, porém bem mais raro. Sua presença está mais relacionada a rochas que sofreram um metamorfismo mais brando ou uma forte diagênese (LOZET; MATHEU, 1986). A reflexão de 0,919 nm (Figura 7) corresponde à de maior intensidade para este mineral (RESENDE et al., 2005), razão pela qual lhe foi atribuída na interpretação do difractograma da amostra P3:Cr4, única em que aparece este pico.

## **Muscovita**

Embora fosse esperada a presença de biotita no saprolito de gnaisse, sua ausência nos difractogramas é um indicativo da baixa resistência deste mineral nas condições intempéricas que prevaleceram na evolução desses regolitos. A presença do pico de 0,496 nm (Figura 8), reflexão 002, não diferiu muito daquela a 001. Este fato,

segundo Kämpf e Curi (2003), é indicativo da muscovita, uma vez que este pico (0,496 nm) é muito fraco ou inexistente na biotita. Com a profundidade, verifica-se um deslocamento para ângulos  $2\theta$  ligeiramente menores. Ver Figura 8, reflexão de primeira ordem (1,023-0,989 nm). Os demais picos (0,496; 0,446 e 0,332 nm) presentes em difractogramas da Figura 7 são também indicativos de muscovita.

### **Quartzo**

Este mineral é um dos principais constituintes do gnaisse (FOUCAULT; RAOULT, 1988) e sua esperada presença na fração areia (Figuras 7 e 8) é confirmada pelos picos 0,423-0,419; 0,335-0,330; 0,245-0,243; 0,228-0,225; 0,223-0,222 e 0,214-0,212 nm (SMITH, 1967). Nota-se (Figura 7) que na amostra superior (P3:Cr3) a intensidade das reflexões deste mineral são mais expressivas, principalmente a 0,330 nm, o que sugere tratar-se de uma banda do gnaisse mais rica em quartzo, sendo este de melhor cristalinidade.

### **Ilmenita**

Frequente em rochas ígneas e metamórficas (FOUCAULT; RAOULT, 1988), a ilmenita tende a ser de origem litogênica (FERREIRA et al., 2003). Portanto, a possibilidade de ocorrência deste mineral sugere que a reflexão em torno de 0,279-0,278 nm seja atribuída à ilmenita (Figura 7). Neste caso, o deslocamento do pico de maior intensidade da ilmenita (0,274 nm) talvez possa ser explicado pela presença de elementos traço, em geral comum neste mineral (RESENDE et al., 2005). A maior expressão da reflexão de 0,278 nm na camada Cr5 (Figura 7) não se repete na camada superior (Cr4) provavelmente devido à transformação parcial da ilmenita em anatásio (KÄMPF et al., 2009b), neste nível (amostra P3:Cr4), em que a alteração do saprolito já está mais avançada.

### **Rutilo**

Este mineral, acessório de rochas eruptivas e metamórficas, foi identificado através de sua reflexão principal (0,325-0,323 nm - Figura 7). Trata-se de um dos minerais menos alteráveis e, portanto, presente nas frações areia e silte dos solos. Pertence ao grupo dos minerais pesados (LOZET; MATHEU, 1986; KÄMPF et al., 2009b).

### **Anatásio**

Este mineral, cuja ocorrência é mais provável na fração argila (BROWN, 1961), foi também identificado na fração areia. Trata-se de um mineral comum em rochas metamórficas (gnaisses e micaxistas) (FOUCAULT; RAOULT, 1988), podendo, portanto, aparecer como mineral residual. Sua presença é indicada na Figura 7 pelos picos 0,352 e 0,237 nm (RESENDE et al., 2005). O fato de ter sido identificado apenas na camada Cr4 do perfil 3 (P3), coincide com a natureza mais biotítica desta amostra que, por sua vez, apresenta os maiores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  (Tabela 2), dentre os dois saprolitos de gnaiss analisados. A não identificação deste mineral na camada Cr5 sugere, de acordo com Kämpf et al. (2009b), a possibilidade de ser originado da alteração parcial da ilmenita, mais presente na camada inferior.

### **Goethita**

Conforme já discutido com relação à fração argila, a presença de goethita no perfil 3 (Figura 7) decorre da alteração de um filão de biotita, evidenciada pela cor (Foto 8A). O fato de o material saprolítico ter sido submetido à fragmentação para obtenção da terra fina, e esta “TFSA” não ser devidamente dispersa no processo de separação das frações granulométricas, é, provavelmente, a causa da presença de minerais primários na fração argila, bem como de secundários na fração areia. A presença dos dois principais picos da goethita (0,417; 0,336 e 0,269 nm) (Figura 7) corrobora a relativa facilidade de alteração da biotita, particularmente em nossas condições tropicais.

### **Magnetita**

A ocorrência dos dois principais picos deste mineral na faixa de 4° a 50° 20 (0,294 e 0,253-252 nm) (RESENDE et al., 2005) indica sua presença nos dois perfis saprolíticos de gnisso (Figuras 7 e 8). A pequena expressão destas reflexões sugere um baixo teor deste mineral na fração areia.

### **Titanita**

O principal pico deste mineral, situado a 0,323 nm (Figura 7), embora coincidente com o de outros minerais (rutilo e feldspato) aparece em associação com a reflexão 0,227 nm. Este fato sugere tratar-se da titanita, embora picos de intensidade intermediária, como 0,493 nm ( $I = 30$ ), 0,299 nm ( $I = 90$ ) e 0,259 ( $I = 90$ ) (SMITH, 1967), também identificadores deste mineral, não apareçam no difractograma. Vale

ressaltar que a titanita é um mineral encontrado, também, em rochas metamórficas, a exemplo do gánisso (LOZET; MATHEU, 1986). Este mineral aparentemente se altera ao mesmo tempo em que a hornblenda e pode dar origem ao anatásio (SILVA; OLIVEIRA, 1992). Portanto, assim como ocorre com a ilmenita, pode ser o precursor do anatásio identificado em nível de maior alteração do saprolito (Figura 7 – P3:Cr4).

**Observação** – As informações fornecidas pela bibliografia consultada, bem como o recurso disponibilizado pelo software RaioX v. 1.0.0.37, não possibilitaram a identificação dos picos de 0,884; 0,232 e 0,216 nm, presentes no difractograma da camada P3:Cr4 (Figura 7). Esta indefinição decorreu em razão da expressão ser incompatível com a posição da reflexão (0,232 e 0,216 nm) ou devido ao fato de não ter sido encontrado mineral compatível com a reflexão (0,884 nm).

### 3.2. Geoquímica

Os minerais podem constituir-se em importantes reservas de nutrientes para as plantas e, dependendo de sua resistência à alteração, podem formar reserva de curto, médio ou longo prazo. Assim, minerais primários facilmente intemperizáveis, como olivina, piroxênios, anfibólios, biotita (minerais máficos) e mesmo aqueles mais resistentes, como feldspato potássico, muscovita, entre outros, quando na fração silte, constituem reserva de curto prazo. Porém, os referidos minerais, quando na fração areia, constituem em reserva de médio prazo, exceto o feldspato potássico e a muscovita que, por serem mais resistentes à alteração, constituem reserva de longo prazo (COSTA, 2004). A mica biotita, por exemplo, libera significantes quantidades de K e Mg, enquanto que os feldspatos constituem, principalmente, reserva de K (SONG; HUANG, 1988). Logo, a presença de minerais primários no meio pode ser um indicativo de reserva de nutrientes para as plantas (REATTO et al., 1998).

Na Tabela 1 estão resumidos os principais minerais primários e os possíveis produtos da sua intemperização expressos na forma de elementos liberados na solução do solo e de minerais secundários formados. Na Tabela 2 estão dispostos os teores ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) dos elementos requeridos em maior quantidade pelas plantas, além de alguns outros (Al, Si e Ti) que não são essenciais aos vegetais, porém são constituintes fundamentais (principalmente o Si e o Al) da fração mineral dos solos e, portanto, de fundamental importância nos estudos pedológicos. As amostras que foram analisadas

TABELA 1. Alguns minerais primários e secundários e os possíveis produtos de sua intemperização

Mineral primário	Principais elementos liberados	Mineral secundário
Olivinas	Si, Al, Mg, Fe	Serpentina, esmectita, goethita, caulinita, haloisita
Piroxênios e anfíbólios	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Clorita, esmectita, calcita, talco, gibsita
Feldspatos	Si, Al, K, Na, Ca	Mica, esmectitas, haloisita, caulinita, gibbsita
Micas (biotita, muscovita)	Si, Al, Mg, Fe, K	Ilita, interestratificado mica-vermiculita, vermiculita, esmectita, interestratificado mica-caulinita, caulinita, haloisita, goethita, hematita, gibbsita
Cloritas	Si, Al, Mg, Fe	Vermiculita, interestratificado clorita-esmectita, esmectita, ilita, caulinita, haloisita
Esmectitas <sup>(1)</sup>	Mg, Fe	Esmectita com hidroxi-entrecamadas, interestratificado caulinita-esmectita, caulinita, goethita
Vermiculita <sup>(1)</sup>	Si, Al, Mg	Vermiculita com hidroxi-entrecamadas

<sup>(1)</sup>Minerais secundários.

Fonte: (KÄMPF et al., 2009a).

TABELA 2. Geoquímica dos principais elementos constituintes dos minerais nos saprolitos estudados, expressos na forma de óxido

Amostra	Prof. (cm)	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	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	MnO
..... dag kg <sup>-1</sup> .....											
<b>Perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico (Basalto)</b>											
Cr1	76-120	0,74	1,16	0,51	0,04	34,60	18,59	20,88	4,99	0,13	0,28
Cr2	120-186	0,65	0,89	0,21	0,03	29,31	19,42	24,56	6,07	0,27	0,28
Cr3	186-290 <sup>+</sup>	0,49	0,61	0,22	0,01	28,75	20,35	25,52	6,05	0,24	0,23
<b>Perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico (Basalto)</b>											
Cr1	67-105	0,33	0,48	0,25	0,33	29,01	22,03	24,10	5,28	0,43	<0,01
Cr2	105-201	0,34	0,52	0,28	0,34	28,53	21,71	24,17	5,30	0,45	0,01
Cr3	202-280 <sup>+</sup>	0,28	0,60	0,34	0,28	28,73	20,38	25,02	5,67	0,49	<0,01
<b>Perfil 3 - Neossolo Regolítico eutrófico Ta típico (Gnaisse mesocrático)</b>											
Cr3	97-140	0,27	0,86	0,02	0,72	48,61	30,15	2,67	0,43	0,04	0,03
Cr4	140-170	3,05	4,99	0,22	0,85	38,16	18,40	17,29	2,73	0,13	0,33
Cr5	170-201 <sup>+</sup>	8,05	11,43	0,18	0,63	44,04	12,27	13,36	1,84	0,38	0,92
<b>Perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (Gnaisse leucocrático)</b>											
Bi/R	18-45	0,09	0,43	0,08	4,85	54,78	24,67	3,52	0,79	0,10	0,24
Cr1	79-140	0,05	0,39	0,03	5,35	56,22	25,46	2,94	0,52	0,06	0,20
Cr3	219-282	0,02	0,46	0,03	5,27	55,40	26,76	2,42	0,32	0,03	0,23

por digestão total, cujos resultados encontram-se na Tabela 2, são as mesmas que foram submetidas à difração de raios-X para o estudo da mineralogia.

Nota-se que, em se tratando de solos novos, há uma estreita relação entre o potencial nutricional destes e as reservas mineralógicas fonte destes nutrientes, presentes no saprolito. Por sua vez, estas informações geoquímicas constituem um subsídio importante na interpretação das espécies mineralógicas registradas nos difractogramas de raios-X. Assim, por exemplo, os teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  nas amostras do perfil quatro constituem forte indício de que o feldspato identificado em difractogramas da fração areia (Figura 8 – amostras Bi/R e Cr2) seja sódico (albita). Embora este detalhamento tenha sido convenientemente evitado, o exemplo em questão é válido e se aplica a várias outras situações.

Observa-se que há uma grande diferença no conteúdo de constituintes minerais entre as duas litologias. No basalto, por ser uma rocha mais homogênea, não há muita discrepância geoquímica entre as amostras (camadas), ao contrário do gnaisse.

Vale ressaltar que, particularmente na região foco deste estudo, ocorre grande variabilidade espacial das rochas gnáissicas. Este fato, acrescido da estrutura bandeada destas rochas, resulta numa natural segregação de seus constituintes minerais. Estas variações, de intensidades diversas, decorrentes de tipificações do gnaisse (variações entre perfis) ou das segregações resultantes da estrutura bandeada, são de grande relevância no estudo dos respectivos saprolitos.

Calculando-se as relações  $\text{SiO}_2.1,7/\text{Al}_2\text{O}_3$  para o nível de amostragem mais profundo nos perfis de gnaisse, com base nos dados da Tabela 2, constatou-se, corroborando observações de campo, um menor grau de alteração no saprolito do perfil 3 ( $K_i = 6,2$ ), enquanto no perfil 4 este valor foi de 3,5. Para os perfis de basalto, foram encontrados valores bem próximos: 2,7 (perfil 1) e 2,3 (perfil 2).

A transformação da rocha sã em saprolito se dá mediante um processo de intemperismo praticamente isovolumétrico (KLEIN et al., 2008). Com base nas informações que decorrem da interpretação das análises mineralógicas (item 3.1) e dos resultados das análises de elementos totais (Tabela 2), depreende-se que, no desenvolvimento dos saprolitos focados neste estudo, prevaleceram os mesmos mecanismos mencionados em estudo realizado pelos autores supracitados. Assim, dois processos estariam despondo na evolução destes saprolitos: a dissolução de fases minerais e a geração de produtos secundários. De fato, a intensa dessilicificação,

particularmente em saprolitos de basalto, tem sido assinalada na literatura (MELFI, 1974).

Neste estudo, observa-se, ao analisar os teores de SiO<sub>2</sub> na Tabela 2, que estes se situam em torno de 30 % no basalto e de aproximadamente 40 a 55 % no gnaisse, enquanto nestas rochas os teores de SiO<sub>2</sub> situam-se entre 52 e 45 % no basalto (SZABÓ et al., 2001) e 65 % a 55 % no gnaisse (FHLIPP; CAMPOS, 2004).

A análise de elementos totais, particularmente nos perfis de gnaisse, pelas discrepâncias apresentadas (Tabela 2), permitiu maior consistência à interpretação dos resultados de difractogramas de raios-X. Em associação com as análises mineralógicas, indicou também uma importante perda de elementos por lixiviação, notadamente sílica, o que indica um processo muito ativo de dessilicificação nestes saprolitos. Por outro lado, mostrou com clareza a marcante disparidade entre os dois saprolitos de gnaisse, em estreita relação com o potencial produtivo dos respectivos solos.

#### **4. CONCLUSÃO**

A presença quase exclusiva de filossilicatos secundários do tipo 1:1 e óxidos A e B, e a presença quase exclusiva de filossilicatos secundários do tipo 1:1 e óxidos residuais ou de neoformação, resultantes das profundas transformações sofridas pelos minerais dos saprolitos de basalto (Grupo São Bento, Formação Serra Geral) revela pequena reserva de nutrientes nestes sapolitos.

Apesar de terem sido analisados apenas dois perfis para cada litologia, a seleção dos sítios permitiu constatar que, quando o substrato é gnaisse, há uma estreita relação entre a classe de solo e a profundidade do saprolito, característica esta estreitamente relacionada com o potencial de reserva de nutrientes para as plantas.

## REFERÊNCIAS

- BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.). **Minerals in soil environments.** 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 675-727.
- BROWN, G. **Other minerals.** In: BROW, G. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. Mineralogical Society (Clay Minerals Group), London, 1961. p. 467-488.
- CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, A. C. de. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, southern Brazil. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 64, n. 6, p. 601-607, 2007.
- CORRÊA, G. F.; JACOMINE, P. K. T.; KER, J. C. (Org.). Reunião técnica itinerante de classificação e correlação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Guia de Campo.** Uberlândia: UFU, 2011, p. 99.
- CORRÊA, G. F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do Planalto de Viçosa, MG.** 1984. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1984.
- CORRÊA, G. F. **Les microrelief murundus et leur environnement pédologique dans l'ouest du Minas Gerais, région Du plateau central brésilien.** 1989. 144 f. Thèses (Doctorat en Pédologie) - Université de Nancy I, Vandoeuvre-les-Nancy, France, 1989.
- CURI, N. **Lithosequence and Toposequence of Oxisols from Goias and Minas Gerais States, Brazil.** 158 f. 1983. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Department of Agronomy, Purdue University, West Lafayette - Indiana, 1983.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 48, p. 341-346, 1984.
- CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.
- DIXON, J. B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B., (eds.). **Minerals in soil environments.** 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 467-525.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro.** Rio de Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de pesquisa, 1).
- FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESOKOVI, M. A. Micas. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) **Minerals in soil environments.** 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 551- 618.

FERREIRA, B. A. et al. Óxidos de ferro das frações areia e silte de um Nitossolo desenvolvido de basalto. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, v. 27, n. 3, 405-413, 2003.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 55, n. 4, p. 341-346, 1991.

FOUCAULT, A.; RAOULT, J. F. **Dictionnaire de geologie**. 3. ed. Paris: Masson, 1988. 352p.

GOLDICH, S. G. A study in rock weathering. **The Journal of Geology**, Chicago, v. 46, p. 17-58, 1938.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. et al. (eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 1-54.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. de F. **Química e mineralogia de solos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, parte I – Conceitos básicos, 2009a. p. 333-379.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. de F. **Química e mineralogia de solos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, parte I – Conceitos básicos, 2009b. p. 573-610.

KLEIN, E. L. et al. **Geologia e recursos minerais da Folha Cândido Mendes, SA.23-V-D-II, escala 1:100.000, Estado do Maranhão**. Belém, CPRM, 146 p.

LOZET, J.; MATHEU, C. **Dictionnaire de science du sol**. Paris: Lavoisier, 1986, 269p.

MELFI, A. J. Características geoquímicas e mineralógicas dos estádios iniciais da alteração das rochas ultrabásicas de barro alto (GO). **BOL. IG**, dic., São Paulo, v. 5, p. 117-128. 1974, ISSN 0100-3879.

MELO, V. F. et al. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, v. 27, n. 5, p. 807-819, 2003.

MUGGLER, C. C. **Polygenetic Oxisols on Tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil: soil genesis and landscape development**. 1998. 185f. Dissertação (Doutorado em Soil Science) – Laboratorium voor Bodemkunde en geologie (Laboratory of Soil Science and Geology), Wageningen Agricultural University, Netherlands, 1998.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. S. Geologia, petrografia e litogegeoquímica de gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações geotectônicas. **Rev. Pesq. em Geoc.**, Porto Alegre, v. 31, n. 2, p. 79-94, 2004.

PINTO, O. C. B. **Formation of kaolinite from a biotite feldspar gneiss in four Strongly weathered soil profiles from Minas Gerais, Brazil.** 1971. 133f. Thesis (Masters in Soil Science). Department of Agronomy, Purdue University, West Lafayette, 1971.

REATTO, A. et al. Caracterização mineralógica, potencial de reserva e sustentabilidade agrícola de alguns áreas florestais de eucalipto da região do Vale do Rio Doce (MG). **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - MG, v. 22, p. 255-266, 1998.

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

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações.** Lavras: UFLA, 2005. 192p.

REZENDE, S. B. **Geomorfology, mineralogy and Genesis of four soils on gneiss in southeastern Brazil.** 143 f. 1980. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Department of Agronomy, Purdue University, West Lafayette - Indiana, 1980. 143p.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil.** 237 f. 1976. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Department of Agronomy, Purdue University, West Lafayette - Indiana, 1976.

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

SHULZE, D. G. **An introduction to soil mineralogy.** In: DIXON, J. B.; WEED, S. B., (eds.). Minerals in soil environments. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 1-34.

SILVA, M. L. C.; OLIVEIRA, S. M. B. Caracterização mineralógica e química das bauxitas de Nazaré Paulista (São Paulo). **Rev. Bras. Geoc.**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 93-99, 1992.

SMITH, J. V. **X-ray powder data file.** American Society for Testing Materials, 1967, 701p.

SZABÓ, G. A. J.; BABINSKI, M.; TEIXEIRA, W. Rochas ígneas. In: TEIXEIRA, W. et al. (Orgs.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 558p.

SONG, S. K., HUANG, P. M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 52, p. 383-390, 1988.

TAYLOR, R. M. Non-Silicate Oxides and Hydroxides. In: A. C. D. NEWMAN (ed.). **Chemistry of clays and Clay minerals.** Mineralogical society, London, 1987. p. 129-201.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação

do solo. In: TEIXEIRA, W. et al. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 140-166.

WILSON, M. J. (Ed.). **A handbook of determinative methods in Clay mineralogy**. New York: Chapman and Hall. 1987. p. 26-98.

## **CAPÍTULO 4**

### **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA**

## RESUMO

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Caracterização química.** 2012. 28 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Em regiões sob clima tropical e subtropical, caracterizadas por altas temperatura e umidade, o saprolito pode apresentar grande espessura. Quando associado a solo raso, como é o caso de Neossolos e alguns Cambissolos, o saprolito funciona como uma extensão deste, por dispor de nutrientes, além de água, de modo a permitir o aprofundamento do sistema radicular de plantas. Dessa forma, objetivou-se neste capítulo estudar as propriedades químicas de perfis solo-saprolito de litologias basáltica e gnáissica, a fim de contribuir com informações acerca do potencial do saprolito como provedor de nutrientes para as plantas. Foram coletadas amostras para caracterização química em quatro áreas, sendo três delas pertencentes à classe Neossolo Regolítico eutrófico típico (dois derivados de basalto e um de gnaisse, denominados de perfil 1, 2 e 3, respectivamente) e um cujo solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, desenvolvido de gnaisse (denominado de perfil 4). Constatou-se que os saprolitos sob os Neossolos desenvolvidos de basalto apresentam pH em água entre alto (6,1-7,0) a muito alto (> 7,0), saturação por alumínio nula e elevada saturação por bases (> 80 %), além de capacidade de troca catiônica (CTC) muito boa (> 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no perfil 1 e boa (8,61-15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no perfil 2. O saprolito sob Neossolo de gnaisse (perfil 3) evidenciou valores de pH entre alto (6,1-7,0) e muito alto (> 7), saturação por Al nula, conjugados com soma de bases (> 6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), saturação por bases (> 80 %) e CTC (> 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) muito boas. Em contraste com os saprolitos dos perfis de Neossolo, o saprolito sob Cambissolo apresentou pH baixo (4,5 a 5,4) e saturação por alumínio média (30,1-50,0 %), além baixos valores de soma de bases ( $\leq$  0,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), saturação por bases ( $\leq$  20 %) e CTC ( $\leq$  1,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), indicativos de maior grau de intemperismo. As características químicas apresentadas pelos saprolitos apresentam uma estreita relação com aquelas do solo suprajacente, indicando haver um *continuum* entre estas duas seções do regolito, o que é de grande importância para o desenvolvimento da vegetação local.

Palavras-Chave: relação solo-planta, alterito, gnaisse, basalto, disponibilidade de nutrientes.

<sup>1</sup>Orientador: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## ABSTRACT

WANGEN, DALCIMAR REGINA BATISTA. **Chemical characterization.** 2012. 28 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia - MG.<sup>1</sup>

## CHEMICAL CHARACTERIZATION

Tropical and subtropical regions with high temperatures and humidity may have thick saprolite. Under shallow soils, such as Entisols and some Inceptisols, saprolite acts as an extension of the soil, providing nutrients and water and allowing deeper root systems. This chapter examines the chemical properties of soil-saprolite profiles of basaltic and gneissic lithologies to contribute information about the potential of saprolite as a source of plant nutrients. Samples were collected at four sites for chemical characterization. The soil from three of these sites belonged to the Haplustoll class (two derived from basalt and one from gneiss - profiles 1, 2 and 3, respectively) and one classified as Ustochrept (derived from gneiss - profile 4). In the basalt saprolites, pH in water ranges from high (6.1 to 7.0) to very high (> 7.0), Al saturation is zero, base saturation is high (> 80 %) and cation exchange capacity (CEC) is very good (> 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) in profile 1 and good (8.61 to 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) in profile 2. The gneiss saprolite under Haplustoll (profile 3) has pH ranging from high (6.1 to 7.0) to very high (> 7), zero Al saturation, and very good sum of bases (> 6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), base saturation (> 80 %) and CEC (> 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). In contrast, the saprolite under Ustochrept gneiss (profile 4) has low pH (4.5 to 5.4), average Al saturation (30.1 to 50.0 %), low sum of bases ( $\leq$  0.60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), low base saturation ( $\leq$  20 %) and low CEC ( $\leq$  1.6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), indicating greater weathering. The direct relationship between the chemical characteristics of the saprolites and their overlying soils indicates a continuum between the two layers which is of great importance to the vegetation of these areas.

Keywords: soil-plant relationship, alterite, gneiss, basalt, nutrient availability.

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: Gilberto Fernandes Corrêa – UFU.

## **1. INTRODUÇÃO**

Quando as rochas afloram à superfície da Terra, se deparam com um ambiente caracterizado por pressões e temperaturas baixas, riqueza de água e oxigênio, muito diferente daquele onde as mesmas se originaram (TOLEDO et al., 2008). Como consequência, seus minerais constituintes entram em desequilíbrio termodinâmico, sofrem uma série de transformações, dando origem a produtos mais estáveis neste novo ambiente (MELFI; PEDRO, 1977).

As modificações sofridas pelas rochas na superfície terrestres, resultando na alteração de sua estrutura e composição, denomina-se intemperismo. Este, por sua vez, tem sua ação controlada por um conjunto de fatores: o clima, que se expressa na variação sazonal da temperatura e na distribuição das chuvas; o relevo, que influencia o regime de infiltração e drenagem das águas pluviais, direcionando processos erosivos; a fauna e a flora, que fornecem substâncias orgânicas para reações químicas, além de remobilizarem materiais; a rocha parental, que, segundo sua natureza, apresenta resistência diferenciada aos processos de alteração intempérica; e, finalmente, o tempo de exposição da rocha aos agentes intempéricos (TOLEDO et al., 2008).

O intemperismo pode ser de natureza física ou química, embora, em geral, as duas modalidades atuaem concomitantemente. No entanto, dependendo das condições climáticas atuantes, uma forma pode predominar sobre a outra (OLIVEIRA, 2005). Quando a rocha inalterada, sob a ação dos agentes intempéricos, sofre desagregação, com consequente separação de seus grãos constituintes, resultando em material descontínuo e friável, tem-se o intemperismo físico (TOLEDO et al., 2008). O intemperismo químico, por seu turno, resulta da atuação dos agentes intempéricos sobre os minerais, produzindo novas fases mineralógicas, relativamente mais estáveis no novo ambiente (VITTE, 2001).

O intemperismo químico se caracteriza pela ocorrência de importantes reações, as quais contribuem para a fragilização da estrutura cristalina dos minerais, com consequente liberação dos elementos químicos mais solúveis (OLIEVIRA, 2005, THOMAS, 1994). Estes, por sua vez, tornam-se acessíveis aos organismos vivos na cadeia trófica, podendo, também, se lixiviar para a água subterrânea, ou se precipitar como uma nova fase mineral secundária (HUTCHINSON, 1979, *apud* CLEMENTE; AZEVEDO, 2007).

Muitos destes minerais constituem-se, após alteração, em nutrientes essenciais para a biosfera (ZIEGLER et al., 2005). Os minerais secundários formados durante o intemperismo são muito reativos (CLEMENTE; AZEVEDO, 2007) e desempenham papel importante em processos químicos, entre os quais a sorção, tornado possível a retenção (adsorção) e liberação (dessorção) de nutrientes para assimilação pelos vegetais que, assim, atuam na ciclagem destes nutrientes (AZEVEDO et al., 2007).

Nas regiões tropicais quentes e úmidas, o intemperismo químico, ao agir sobre os minerais constituintes das rochas, produz um manto de alteração, normalmente de grande espessura, denominado de regolito (VITTE, 2001). Este é constituído pelo solo, na sua porção superior e pelo saprolito, na seção que vai desde a base do solo até a rocha sã. O solo se forma a partir da ação conjunta do intemperismo e da pedogênese, durante a qual, a rocha alterada sofre importantes modificações, caracterizadas por: perdas, adição, translocação e transformação de matéria. Assim, os materiais constituintes do regolito vão se tornando tanto mais diferenciados em relação à rocha parental, em termos de composição, estruturas e texturas, quanto mais afastados se encontram desta (TOLEDO et al., 2008).

Pavich et al. (1989), *apud* Daniels e Hammer (1992) citam que, devido aos diferentes graus de intemperismo dos saprolitos, estes apresentam zonação química, com suas características variando em profundidade.

Por se constituir de material relativamente pouco ou moderadamente intemperizado, os saprolitos, a princípio, devem apresentar teores mais elevados de minerais primários alteráveis do que o solo suprajacente. Tais minerais constituem-se em importante reserva de nutrientes em regiões de clima úmido, uma vez que, devido à sua instabilidade nestes ambientes, ao se intemperizarem, disponibilizam tais nutrientes para as plantas (OLIVEIRA, 2005).

Dependendo da rocha de origem, os saprolitos podem apresentar altos valores de saturação por bases, além de capacidade de troca catiônica, às vezes superior a do solo suprajacente (MACHADO, 1997), bem como capacidade de troca aniônica, propriedades estas importantes para o armazenamento de nutrientes (McVAY et al., 2004).

Em regiões tropicais e subtropicais, caracterizadas por clima úmido, o saprolito pode apresentar grande espessura (CURI et al., 1993). Portanto, quando associado a solos rasos, como Neossolos Litólicos e Regolíticos, bem como alguns Cambissolos, o mesmo pode formar com o solo um *continuum*, em termos fisiológicos, armazenando

água e nutrientes e permitindo o aprofundamento do sistema radicular da vegetação, contribuindo, assim, para o aumento da profundidade efetiva de tais solos (MACHADO, 1997). Isso faz com que o saprolito adquira importância na manutenção de plantas, sobretudo aquelas com sistema radicular mais possante, como é o caso de essências florestais (OLIVEIRA, 2005) e espécies frutíferas. Segundo Pedron (2007), muitas vezes, é no saprolito que a vegetação encontra meio para se desenvolver.

Para Richter e Markewitz (1995) o solo é muito mais volumoso do que normalmente se considera, ocupando grandes porções do saprolito. Isso porque, segundo estes mesmos autores, o saprolito pode ser intensamente influenciado por processos químicos e biogênicos, o que faz com que suas propriedades não sejam distintas daquelas apresentadas pelos horizontes do solo suprajacente.

Embora o interesse pelo estudo do saprolito, em relação à sua fertilidade, tenha crescido recentemente (RICHTER; MARKEWITZ, 1995), a abordagem desse tema ainda é escassa, sobretudo no que concerne ao papel dessa seção do regolito como fornecedora de nutrientes às plantas (MELO et al., 2004)

Dessa forma, objetivou-se, neste capítulo, estudar as propriedades químicas de perfis solo-saprolito de litologias basáltica e gnáissica, a fim de contribuir com informações acerca do potencial do saprolito como provedor de nutrientes para as plantas, a curto e longo prazo, especialmente aquelas dotadas de sistema radicular profundo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Obtenção da terra fina seca ao ar**

Foram coletadas amostras ao longo de quatro perfis solo-saprolito, sendo três deles pertencentes à classe Neossolo Regolítico eutrófico típico (dois derivados de basalto e um de gnaisse – perfis 1, 2 e 3, respectivamente) e um cujo solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, desenvolvido de gnaisse (perfil 4).

As amostras foram levadas para o Laboratório de Pedologia do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia – MG, onde foram preparadas para análises. Primeiramente, as amostras foram destorroadas manualmente e deixadas sobre bancadas, em local ventilado e seco, até completa secagem. Em seguida, foram novamente destorroadas, com o auxílio de um rolo de madeira, e passadas por peneira com 2 mm de abertura de malha, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), a qual foi empregada nas análises químicas. Estas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia – MG.

### **2.2. Análises químicas**

#### **2.2.1. pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>**

O pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foram determinados potenciometricamente, em solução solo-líquido de 1:2,5, com tempo de agitação de cinco minutos, à rotação de 200 rpm, seguido de repouso por 30 minutos. Metodologia conforme Embrapa (1997).

#### **2.2.2. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis**

A extração foi feita a partir de 10 cm<sup>3</sup> de TFSA e 100 mL de solução KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, mantidos em contato, sob agitação à rotação de 220 rpm, por 15 minutos, seguido de repouso por 12 horas. A determinação dos cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foi feita por meio de espectrofotômetro de absorção atômica, e do Al<sup>3+</sup> por titulação com

NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, com emprego de azul de bromotimol como indicador. Metodologias preconizadas por Embrapa (1997).

#### 2.2.3. P e K<sup>+</sup> assimiláveis e Na<sup>+</sup> trocável

Para extração de K<sup>+</sup> e P assimiláveis e do Na<sup>+</sup> adotou-se o método Melich 1, conforme Embrapa (1997). Empregou-se, para tanto, 10 cm<sup>3</sup> de TFSA mais 100 mL de solução extratora Melich 1 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>), mantidos em contato, sob agitação à rotação de 220 rpm, por cinco minutos, seguido de repouso por 16 horas. O extrato foi separado do solo por meio de filtragem em papel de filtro. O K-assimilável foi determinado por meio de fotômetro de chama e o P-assimilável através de espectrofotômetro UV-visível.

Para extração do P-assimilável pelo método da resina (RAIJ; QUAGGIO, 2001) empregou-se 2,5 cm<sup>3</sup> TFSA mais 25 mL de água deionizada, mantidos em contato, sob agitação à rotação de 220 rpm, durante 15 minutos. Posteriormente, adicionou-se 2,5 cm<sup>3</sup> de resina trocadora de ânions e agitou-se a 220 rpm, por 16 h. Em seguida, separou-se a suspensão de solo e a resina utilizando-se peneiras de abertura de malha de 0,4 mm. A resina foi acondicionada em frascos limpos, onde se adicionou 50 mL de solução extratora (NH<sub>4</sub>Cl 0,8 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,2 mol L<sup>-1</sup>), e colocada para agitar à rotação de 220 rpm, por 1 hora. O extrato obtido foi empregado na determinação do P-assimilável, feita por meio de espectrofotômetro UV-visível. O Na<sup>+</sup> foi determinado por meio de fotômetro de chama.

#### 2.2.4. Soma de bases trocáveis (valor S)

A soma de bases trocáveis foi obtida a partir da soma de todos os cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>), conforme Embrapa (1997):

$$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$$

#### 2.2.5. H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> (Acidez potencial)

A acidez potencial foi determinada pelo método do pH SMP a pH 7, conforme Embrapa (1997). Extração foi feita a partir de 10 cm<sup>3</sup> de TFSA, juntamente com 25 ml

de solução  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,01 mol L<sup>-1</sup> e 5 mL de solução tampão SMP, mantidos em contato, sob agitação à rotação de 220 rpm, por 15 minutos, seguido de repouso por 45 minutos. A determinação foi feita por meio de pHmetro.

#### 2.2.6. Capacidade de troca catiônica a pH 7 (Valor T ou CTC)

No cálculo do valor T, empregou-se a seguinte expressão (EMBRAPA, 1997):

$$T = \text{valor S} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$$

#### 2.2.7. Capacidade de troca catiônica efetiva (Valor t ou CTC efetiva)

No cálculo do valor t, empregou-se a seguinte expressão (EMBRAPA, 1997):

$$t = \text{valor S} + \text{Al}^{3+} \text{ trocável}$$

#### 2.2.8. Percentagem de saturação por bases (Valor V)

A percentagem de saturação por bases foi calculada a partir da seguinte expressão (EMBRAPA, 1997):

$$V (\%) = 100 \times (\text{valor S}/\text{valor T}).$$

#### 2.2.9. Percentagem de saturação por $\text{Al}^{3+}$ (Valor m)

O valor m foi calculado a partir da seguinte expressão (EMBRAPA, 1997):

$$m = 100 \times \text{Al}^{3+}/(\text{valor S} + \text{Al}^{3+})$$

#### 2.2.10. Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Na extração do  $\text{SO}_4^{2-}$  empregou-se 10 cm<sup>3</sup> de TFSA, mais 25 mL de solução extratora [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>] e 0,25 g de carvão ativado, mantidos em contato e sob agitação por 30 minutos, seguido de filtragem em papel Whatman nº 42. Para determinação, empregou-se 10 mL do extrato ao qual se adicionou 1 mL de solução

semente ácida (250 ml de HCl concentrando p.a. e 0,060 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, água destilada para completar o volume de 500 mL de solução) e 0,5 g de BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O. Após repouso por 1 minuto, agitou-se manualmente a mistura a fim de se promover a dissolução dos cristais formados, e deixou repousar por mais oito minutos. A determinação foi feita por meio de espectrofotômetro UV-visível, conforme Cantarella e Prochnow (2001).

#### 2.2.11. Matéria orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica foi feito com base na oxidação a CO<sub>2</sub>, por íons dicromato, em meio fortemente ácido, conforme metodologia preconizada por Cantarella et al. (2001). Para tanto, empregou-se 1 cm<sup>3</sup> TFSA mais 10 ml de solução digestora sulfocrômica dicromato (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.2 H<sub>2</sub>O 2 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mol L<sup>-1</sup>), mantidos em contato, sob agitação à rotação de 170 rpm, por 10 minutos, seguida de repouso por 1 hora. Em seguida, adicionou-se 50 ml de água destilada e deixou repousar por uma noite. Na determinação empregou-se espectrofotômetro UV-visível.

A percentagem de C orgânico foi calculada dividindo-se o valor de matéria orgânica por 1,724 (fator utilizado, admitindo-se que o húmus contenha, em média, 58 % de carbono).

#### 2.2.12. Nitrogênio (N) total

O N total foi determinado pelo método Kjeldahl, adaptado de Embrapa (1997). Na extração, empregou-se 0,2 g de TFSA mais 0,5 g de mistura catalítica (100 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 11,2 g CuSO<sub>4</sub> + 1 g selênio em pó) e 6 mL de ácido sulfúrico-salicílico (50 g de ácido salicílico + 1 L de ácido sulfúrico), mantidos em contato e sob digestão em balão Kjeldahl, inicialmente de 100 °C, com aumento gradativo da temperatura até atingir 340 ° C, temperatura que foi mantida até completa destruição da matéria orgânica. A determinação foi feita por meio de titulação com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,05 mol L<sup>-1</sup>, tendo-se empregado verde de bromotimol como indicador.

#### 2.2.13. Relação C/N

A relação C/N foi calculada a partir da razão entre o valor de C orgânico pelo de N total, obtidos em %.

## 2.2.14. Micronutrientes: Cu, Fe, Mn, Zn e B

A extração dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foi feita a partir de 10 cm<sup>3</sup> de TFSA mais 40 mL de solução extratora (DTPA 0,005 M + Trietanolamina 0,1 M + CaCl<sub>2</sub> 0,01 M, a pH 7,3), mantidos em contato, sob agitação à rotação de 220 rpm, por 1 hora, seguido de repouso por 16 h, e filtração (Whatman nº 42). Para determinação, empregou-se espectrofotômetro de absorção atômica. Metodologia preconizada por Abreu et al. (2001).

Para extração do B, utilizou-se 10 cm<sup>3</sup> de TFSA e 20 mL de solução de cloreto de bário a 0,125 %, mantidos em contato, sob aquecimento em microondas, por 4 minutos na potência de 700 watts e mais 5 minutos na potência de 450 watts. Em seguida, promoveu-se a filtragem (Whatman nº 42). A determinação foi feita a partir de 4 mL do extrato, ao qual se adicionou 1 mL de solução tampão (250 g de acetato de amônio + 15 g de EDTA-2 Na + 400 mL de água deionizada + 125 ml de ácido acético glacial) e 1 mL de solução de azometrina-H a 0,9 % (0,9 g de azometrina-H + 100 mL de solução de ácido ascórbico L a 2 %), após repouso (no escuro) por 30 minutos. Empregou-se espectrofotômetro UV-visível para leitura das amostras.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3. 1. Caracterização química dos perfis desenvolvidos de basalto

Os saprolitos dos perfis 1 e 2 apresentam pH em água variando de alto (6,1-7,0) até muito alto ( $> 7,0$ ), saturação por alumínio nula e saturação por bases, de modo geral, muito boa (> 80 %), segundo Ribeiro et al. (1999), Figuras 1 e 2 e Anexo B.

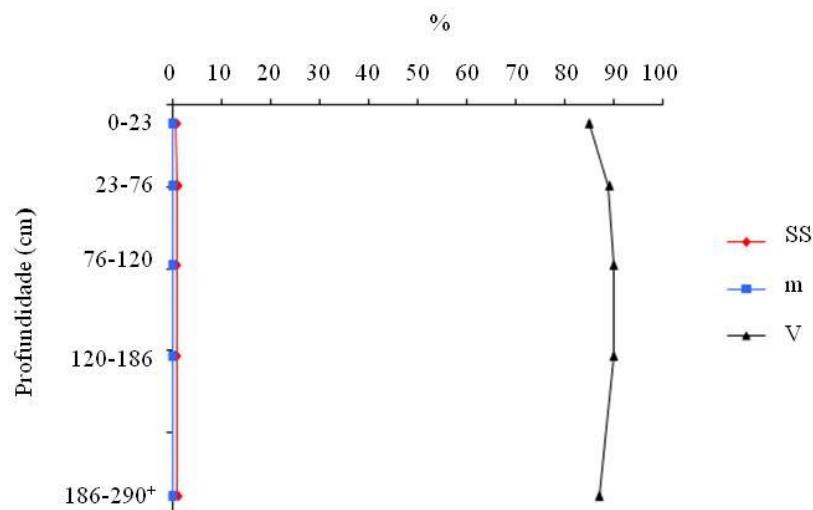


FIGURA 1. Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup>.

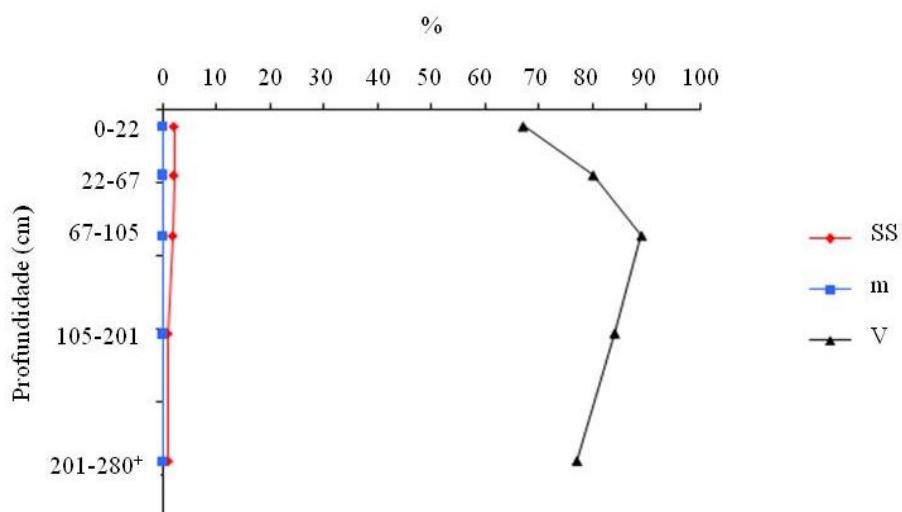


FIGURA 2. Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup>.

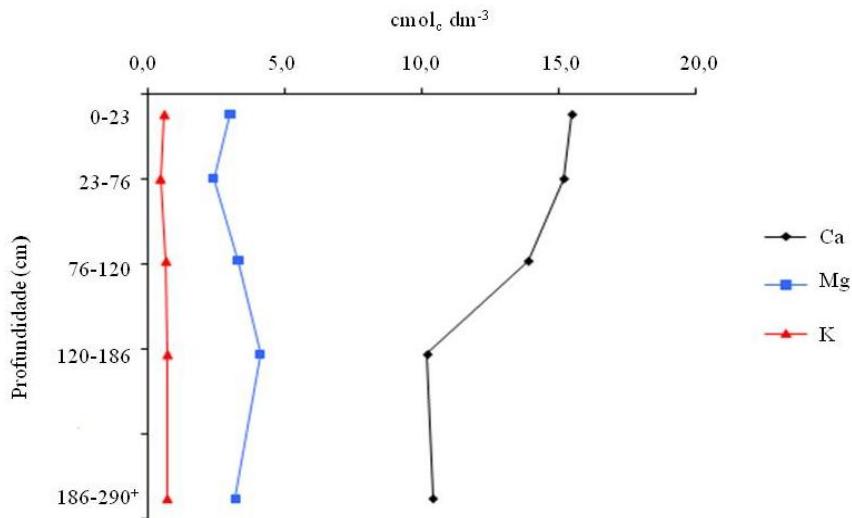


FIGURA 3. Teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  trocáveis no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. *Ap*: 0-23 cm, *A/Cr*: 23-76 cm, *Cr1*: 76-120 cm, *Cr2*: 120-186 cm, *Cr3*: 186-290 cm<sup>+</sup>.

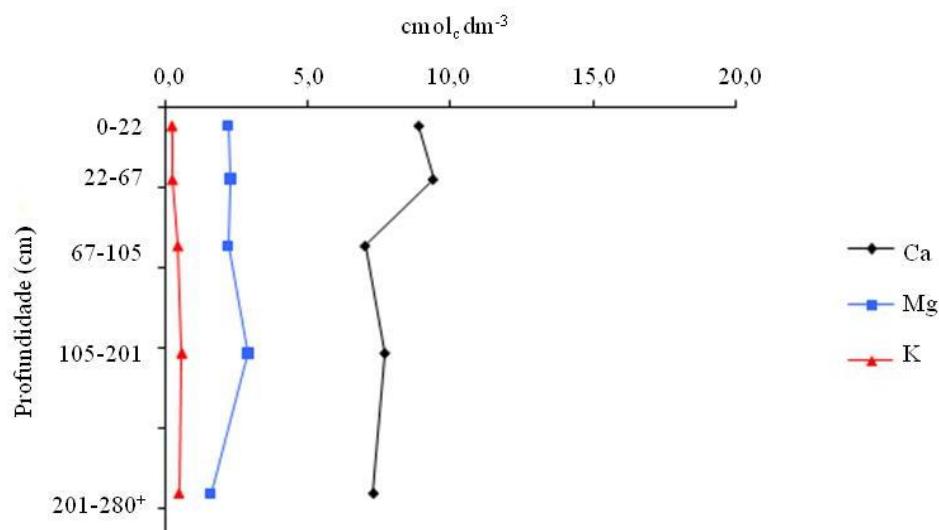


FIGURA 4. Teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  trocáveis no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. *Ap*: 0-22 cm, *A/Cr*: 22-67 cm, *Cr1*: 67-105 cm, *Cr2*: 105-201 cm, *Cr3*: 201-280 cm<sup>+</sup>.

Entre as bases trocáveis presentes nas amostras dos saprolitos de basalto, predominou  $\text{Ca}^{2+}$ , seguido de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  (Figuras 3 e 4 e Anexo B). Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  são considerados muito bons ( $> 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), do ponto de vista da nutrição de plantas, conforme Ribeiro et al. (1999).

O teor de  $\text{Na}^+$  trocável, cuja presença em altas concentrações no meio pode desfavorecer o desenvolvimento de plantas (OLIVEIRA, 2005) não tolerantes (DECHEM; NACHTIGALL, 2007), foi baixo ( $< 2\%$ ) (Embrapa, 2006).

Conforme se constatou, além de saturação por bases muito boa, os saprolitos dos

perfis 2 e 1 também apresentaram CTC, respectivamente, boa ( $8,61\text{-}15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e muito boa ( $> 15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), conforme Ribeiro et al. (1999) (Figuras 5 e 6). A CTC representa a capacidade de liberação de vários nutrientes pelo meio, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período. Estando a maior parte da mesma ocupada por cátions essenciais, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , é um indicativo de que o meio seja favorável à nutrição de plantas (RONQUIM, 2010).

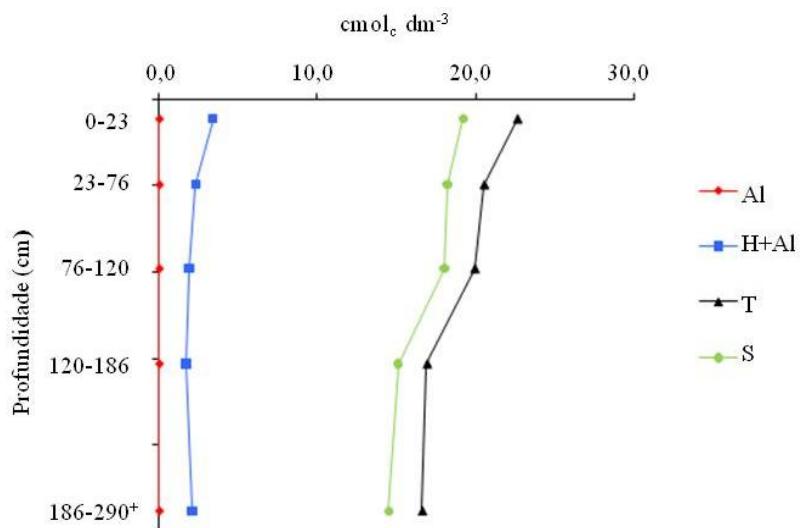


FIGURA 5. Valores de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-22 cm, A/Cr: 22-67 cm, Cr1: 67-105 cm, Cr2: 105-201 cm, Cr3: 201-280 cm<sup>+</sup>.

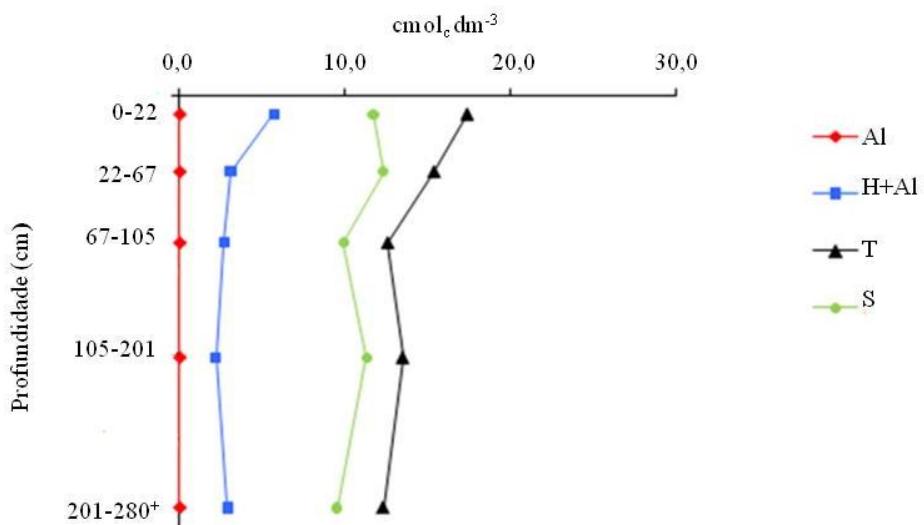


FIGURA 6. Valores de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup>.

Stürmer (2008), ao caracterizar quimicamente saprolitos sob Neossolo Regolítico eutrófico típico, oriundos de basalto, constatou aumento da soma de bases no saprolito, em relação aos horizontes superficiais. Segundo este mesmo autor, o fato de as amostras dos saprolitos (menos intemperizados, em relação ao solo) terem sido moídas, ou apresentarem pH mais alto, permite um maior aparecimento de superfícies de troca, o que favorece o ataque dos reagentes químicos (extratores), com a liberação de nutrientes. No entanto, embora isso possa ter contribuído para os resultados observados no presente estudo (uma vez que as amostras dos saprolitos foram trituradas), a presença destes nutrientes nos saprolitos, mesmo que nem todos estejam disponíveis, indica que os mesmos possuem potencial para fornecer nutrientes às plantas, tanto em curto como em longo prazo. Portanto, a presença de raízes nestes saprolitos (Anexo B) é a prova disso.

Os teores de fósforo (P) assimilável se mostraram baixos ( $4,1\text{-}8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) no saprolito do perfil 1, enquanto no perfil 2 variaram de baixo a médio ( $8,1\text{-}12,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) (Figuras 7 e 8), segundo Ribeiro et al. (1999). Nota-se que o P não é um elemento presente nos principais minerais constitutivos do basalto (Tabela 1).

Durante o intemperismo dos minerais primários o P é absorvido nos minerais secundários ou precipitado, influenciando sua disponibilidade (SOMMER; STHAR, 1996).

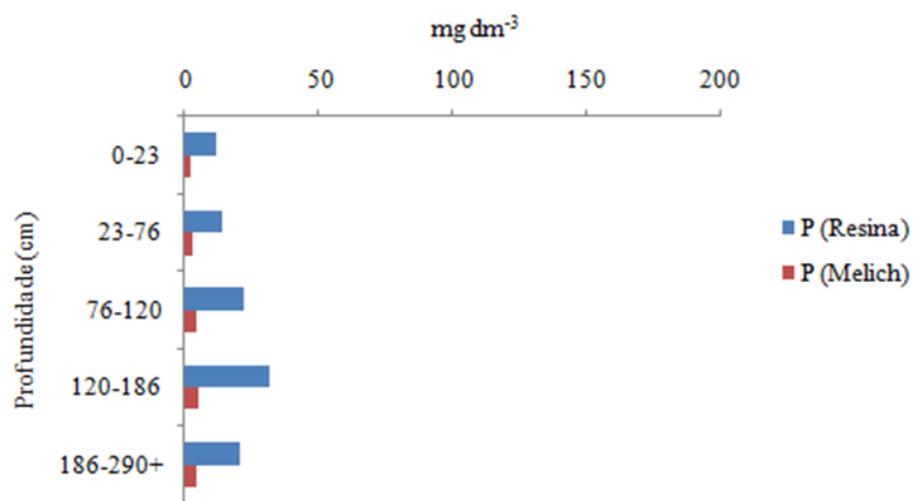


FIGURA 7. Teores de P-assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, no perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. Ap: 0-23 cm, A/Cr: 23-76 cm, Cr1: 76-120 cm, Cr2: 120-186 cm, Cr3: 186-290 cm<sup>+</sup>.

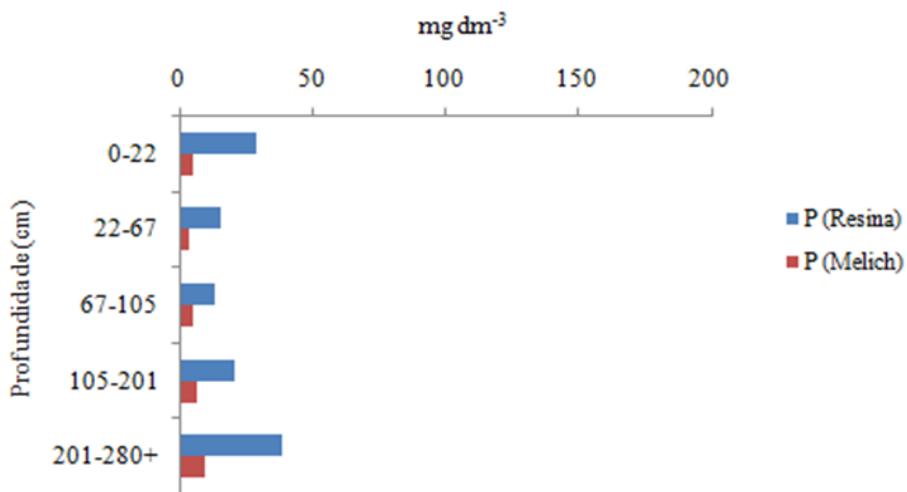


FIGURA 8. Teores de P-assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, no perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico, substrato basalto. *Ap*: 0-23 cm, *A/Cr*: 23-76 cm, *Cr1*: 76-120 cm, *Cr2*: 120-186 cm, *Cr3*: 186-290 cm<sup>+</sup>.

TABELA 1. Fórmula química e nutrientes presentes nos minerais identificados nas frações argila e areia grossa de amostras dos perfis 1, 2, 3 e 4

Mineral	Fórmula química	Nutrientes presente
Anatásio <sup>1</sup>	<sup>c</sup> TiO <sub>2</sub>	-
Anfibólito <sup>1</sup>	<sup>c</sup> Si <sub>4-x</sub> Al <sub>x</sub> O(OH) <sub>2</sub> R <sub>14+2x</sub> [x = 0 a 1, <sub>14+2x</sub> = valências saturáveis por Na (K), Ca, Fe <sup>2+</sup> , Mg, (Ti) Al, Fe <sup>3+</sup> ]	Ca, Mg, Fe, K
Biotita <sup>1</sup>	<sup>d</sup> K(Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al) <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	K, Mg, Fe, F
Calcita <sup>1</sup>	<sup>c</sup> CaCO <sub>3</sub>	Ca
Caulinita <sup>2</sup>	<sup>a</sup> Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	-
Clorita <sup>1</sup>	<sup>d</sup> (Mg, Al, Fe) <sub>3</sub> (SiAl <sub>4</sub> ) <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> [ (Mg, Al, Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> ]	Mg e Fe
Clorita-Vermiculita <sup>2</sup>	<sup>b</sup> Mistura dos dois minerais	Mg, Ca, Fe
Esmectita <sup>2</sup>	<sup>b</sup> Mg <sub>0,5</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Mg, Al <sub>3</sub> Si, Al <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Mg
Estaurolita <sup>1</sup>	<sup>b</sup> (Fe, Mg) <sub>2</sub> Al <sub>9</sub> O <sub>6</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> (O, OH) <sub>2</sub>	Fe, Mg
Feldspato <sup>1</sup>	<sup>a</sup> (K, Na, Ca)(Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	K, Ca
Gibsite <sup>2</sup>	<sup>a</sup> Al(OH) <sub>3</sub>	-
Goetita <sup>2</sup>	<sup>a</sup> FeOOH	Fe
Haloisita <sup>2</sup>	<sup>d</sup> Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	-
Hematita <sup>2</sup>	<sup>a</sup> α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe
Ilita <sup>2</sup>	<sup>d</sup> (Al, Mg, Fe) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> [(OH) <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)]	Mg, Fe
Ilmenita <sup>1</sup>	<sup>a</sup> FeTiO <sub>3</sub>	Fe
Maghemita <sup>2</sup>	<sup>a</sup> γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe
Magnetita <sup>1</sup>	<sup>a</sup> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Fe
Metahalloisita <sup>2</sup>	<sup>e</sup> (Si <sub>2</sub> ) (Al) <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	-
Mica <sup>1</sup>	<sup>d</sup> (K, Na, Ca) <sub>2</sub> (Al, Mg, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>4-6</sub> (Si, Al, Fe, Ti) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH, F) <sub>4</sub>	K, Ca, Mg, Fe
Muscovita <sup>1</sup>	<sup>c</sup> KAl[Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH, Fe) <sub>2</sub> ]	K
Pirofilita <sup>1</sup>	<sup>a</sup> Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	-
Piroxênio <sup>1</sup>	<sup>d</sup> (Ca, Mg, Fe) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ca, Mg, Fe
Quartzo <sup>1</sup>	<sup>c</sup> SiO <sub>2</sub>	-
Rutilo <sup>1</sup>	<sup>d</sup> TiO <sub>2</sub>	-
Serpentina <sup>1</sup>	<sup>c</sup> Mg <sub>6</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ](OH) <sub>6</sub>	Mg, Fe
Titanita <sup>1</sup>	<sup>c</sup> CaTi(SiO <sub>5</sub> )(O, OH, F)	Ca
Talco <sup>1</sup>	<sup>c</sup> Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	Mg
Vermiculita <sup>2</sup>	<sup>b</sup> (Mg, Ca) <sub>0,7</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>6,0</sub> [(Al, Si) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> ] (OH) <sub>4</sub> .8H <sub>2</sub> O	Mg, Ca, Fe

<sup>1</sup>Mineral primário, <sup>2</sup>Mineral secundário, <sup>a</sup>Wilson (1939), <sup>b</sup>Resende et al. (2005), <sup>c</sup>Lozette e Mathieu (1996), <sup>d</sup>Kämpf e Curi (2003), <sup>e</sup>Curi et al. (1993).

Na absorção, o P (íons fosfato) se difunde para o interior de imperfeições presentes na superfície dos minerais (ex.: óxidos), reagindo com estes. Na precipitação, o P presente na solução reage com formas iônicas como  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , dando origem a uma nova fase ou composto pouco solúvel (NOVAIS et al., 2007).

A reação do P com Fe e Al se dá em meio ácido, enquanto em meio alcalino o mesmo reage com Ca. Em ambos os casos, a reação origina compostos de baixa solubilidade (HSU, 1965; SAMPLE et al., 1980, *apud* NOVAIS et al., 2007). Almeida et al. (2003) relatam que a fixação de P em solos ácidos desenvolvidos de basalto foi responsável por reduzir a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Portanto, é possível que parte do P da solução nos perfis 1 e 2 esteja precipitada pelo  $\text{Ca}^{2+}$ , o que estaria contribuindo para reduzir sua disponibilidade.

Os teores de micronutrientes extraídos das amostras dos perfis 1, 2, 3 e 4 estão dispostos na Tabela 2.

TABELA 2. Teores de micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no solo e no saprolito dos perfis 1, 2, 3 e 4

Amostra	Prof. (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
..... mg dm <sup>-3</sup> .....						
<b>Perfil 1 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico (Basalto)</b>						
Ap	0-23	0,27	33,10	40,00	131,50	2,20
A/Cr	23-76	0,19	32,55	22,00	84,35	1,40
Cr1	76-120	0,16	30,40	18,00	68,50	2,70
Cr2	120-186	0,14	21,55	17,00	57,90	3,80
Cr3	186-290 <sup>+</sup>	0,14	14,70	21,50	71,35	3,40
<b>Perfil 2 - Neossolo Regolítico Tb eutrófico típico (Basalto)</b>						
Ap	0-22	0,23	15,35	49,00	157,60	2,90
A/Cr	22-67	0,22	12,80	26,50	110,00	1,15
Cr1	67-105	0,13	6,30	16,50	51,75	1,70
Cr2	105-201	0,12	2,75	19,50	18,80	2,65
Cr3	201-280 <sup>+</sup>	0,10	1,65	35,00	25,00	1,30
<b>Perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico (Gnaisse mesocrático)</b>						
A/Cr	0-15	0,56	5,50	75,5	167,00	9,65
Cr/A	15-33	0,35	6,60	38,5	102,20	3,55
Cr1	33-51	0,19	3,00	14,5	38,40	0,80
*Cr2/Cr2	51-97	0,17/0,13	2,55/1,40	9,5/18,5	22,90/36,10	0,45/0,40
Cr3	97-140	0,11	0,70	2,0	3,6	0,30
Cr4	140-170	0,13	0,40	13,5	29,25	0,40
**Cr5/Cr5	170-201 <sup>+</sup>	0,11/0,20	0,40/0,85	20,0/22,0	11,45/30,50	0,55/0,60
<b>Perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (Gnaisse leucocrático)</b>						
A	0-18	0,16	0,70	45,0	47,35	0,35
Bi	18-45	0,11	0,55	19,5	26,60	0,25
C/Cr	45-79	0,14	0,30	8,0	4,55	0,20
Cr1	79-140	0,12	0,25	5,0	2,50	0,15
Cr2	140-219	0,12	0,20	2,0	1,15	0,15
Cr3	219-282 <sup>+</sup>	0,18	0,15	2,0	0,90	0,15

\*Cr2/Cr2: material biotítico/caulinizado, \*\*Cr5/Cr5: CR5 mais intemperizado/CR5 menos intemperizado.

Os teores de micronutrientes nos perfis de basalto foram, de modo geral, bem mais altos no solo, sobretudo no horizonte superficial, em relação às camadas saprolíticas analisadas (Tabela 2). Tal resultado pode estar relacionado à ciclagem de nutrientes, bem mais intensa na superfície do solo.

Com exceção do micronutriente boro (B), cujos teores nos saprolitos dos perfis 1 e 2 foram classificados como baixos, de acordo com classificação agronômica (RAIJ et al., 1999), os níveis de micronutrientes se enquadram na classe alta, tanto no solo quanto no saprolito dos perfis de basalto (perfis 1 e 2) (Tabela 2).

### 3.2. Caracterização química dos perfis desenvolvidos de gnaisse

Com relação aos saprolitos de gnaisse, verificou-se um contraste entre os resultados das análises químicas apresentados pelos dois perfis (perfis 3 e 4). O saprolito do perfil 3 está sob um Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, enquanto que o saprolito do perfil 4 subjaz a um Cambissolo Háplico Tb distrófico.

Conforme pode ser constatado nas Figuras 9, 11 e 13, e no Anexo B, o saprolito do perfil 3 se caracterizou por apresentar pH em água variando de alto (6,1-7,0) a muito alto (> 7) e ausência de alumínio trocável, além de soma de bases (> 6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), saturação por bases (> 80 %) e CTC (> 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), de modo geral, muito boas, segundo Ribeiro et al. (1999).

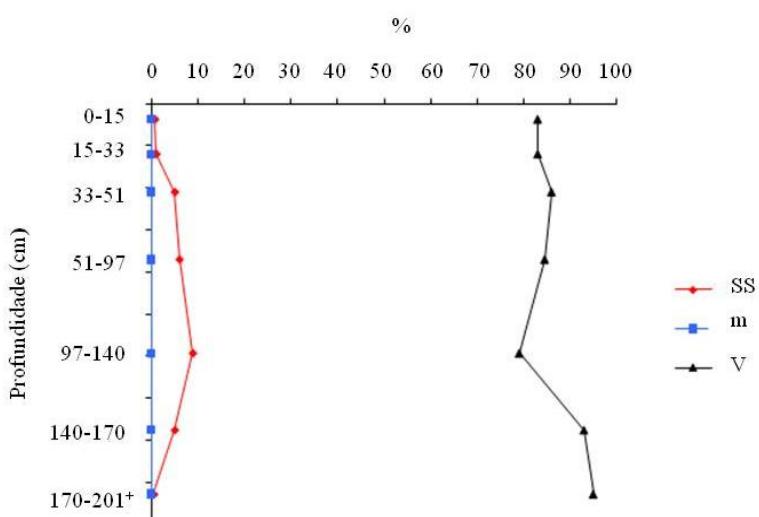


FIGURA 9. Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

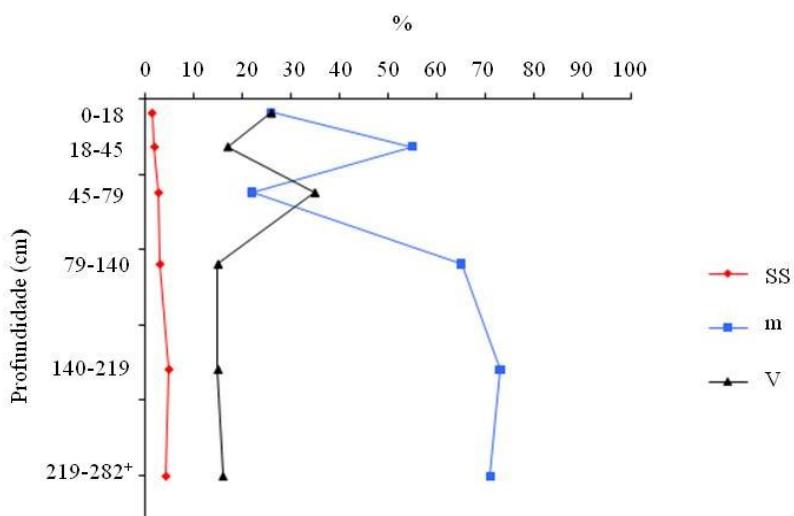


FIGURA 10. Valores de saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio (SS) no perfil 4 – Cambissolo Háplico Tb distrófico típico. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

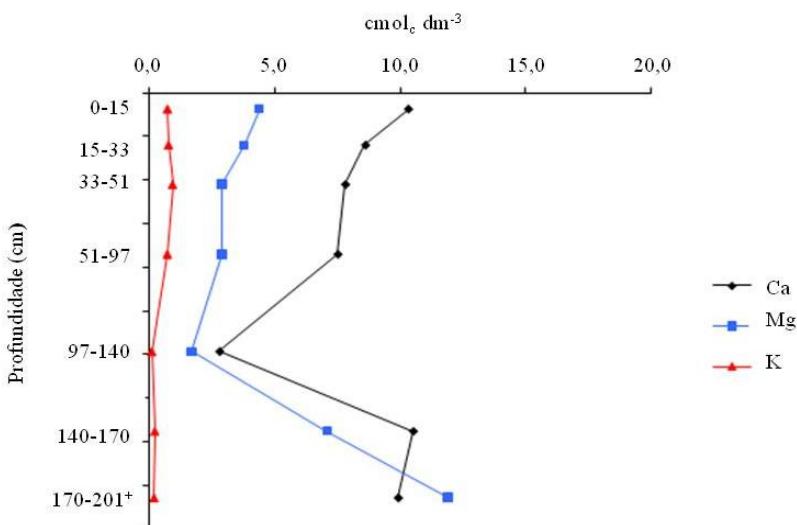


FIGURA 11. Teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  trocáveis no perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140 cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis foram classificados como muito bons ( $\text{Ca}^{2+} > 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $\text{Mg}^{2+} > 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) na maioria das camadas do saprolito, enquanto os teores  $\text{K}^+$  variaram de médio ( $0,10\text{--}0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) até muito bom ( $> 0,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). A presença de minerais primários facilmente intemperizáveis, como feldspatos e micas (TOLEDO et al., 2008) no gnaisse, contribui para a liberação de teores consideráveis destes cátions durante o intemperismo (LIMA et al., 2007), conforme pode ser constatado na Tabela 1. Isto contribui para dar origem a saprolito rico nestes nutrientes,

especialmente em estádios menos avançados de alteração, como o do perfil 3 (Neossolo).

Os menores valores de soma de bases, saturação por bases e CTC no perfil 3 foram constatados na camada Cr3. Isso se deve, provavelmente, ao bandeamento do gnaisse, que dá origem a faixas com características químicas variadas (relacionadas às bandas de constituição mineralógica diversa), sobretudo nos estágios iniciais de intemperismo. É possível que esta camada tenha se desenvolvido a partir de uma banda do gnaisse mais rica em feldspato, a qual se apresenta com grau mais avançado de intemperismo. O que pode ser constatado por meio de seu aspecto caulinizado (ver Anexo B - Foto 7A e quadro analítico do perfil 3), o que justifica sua maior pobreza, em relação às demais camadas.

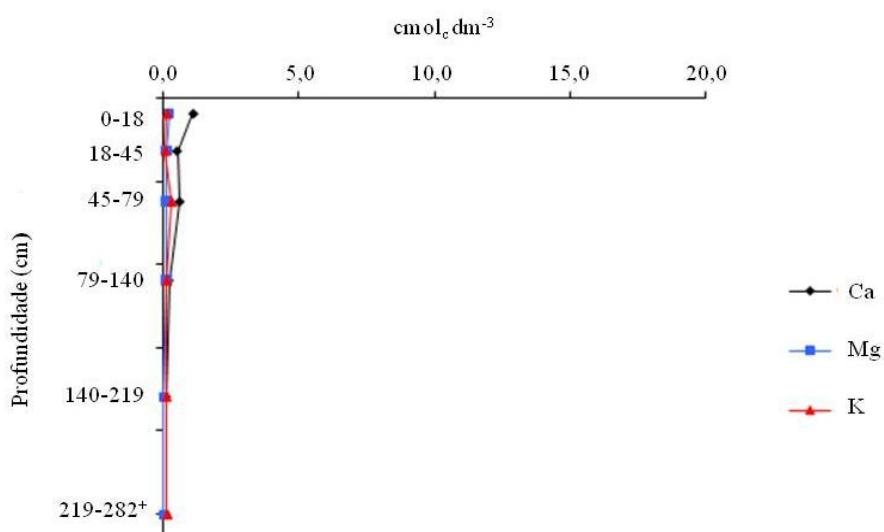


FIGURA 12. Teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  trocáveis no perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, substrato gnaisse. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

Segundo (LUZ; CHAVES, 2000), em região de clima tropical quente e úmido, os feldspatos presentes em rochas metamórficas se intemperizam a caulim, sílica e hidróxido de potássio. Portanto, os elevados teores de areia desta camada (Anexo B – quadro analítico) são indicativos da presença de sílica (quartzo), assim como seu aspecto esbranquiçado é indicativo da presença de caulim. A alta saturação por  $\text{Na}^{2+}$  ( $> 6\%$ ) apresentada apenas por esta camada é um forte indicativo de se tratar de um feldspato sódico.

O saprolito do perfil 4 (Figuras 10, 12 e 14 e Anexo B), por sua vez, apresentou

pH baixo (4,5 a 5,4) e saturação por alumínio média (30,1-50,0 %), conjugados com baixos valores de soma de bases ( $\leq 0,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), saturação por bases ( $\leq 20 \%$ ) e CTC ( $\leq 1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), segundo Ribeiro et al. (1999). Este resultado se deve ao fato de este saprolito estar relacionado a um gnaisse uniformemente mais claro, e bem mais alterado e lixiviado, razão pela qual o solo deste perfil é um Cambissolo (distrófico).

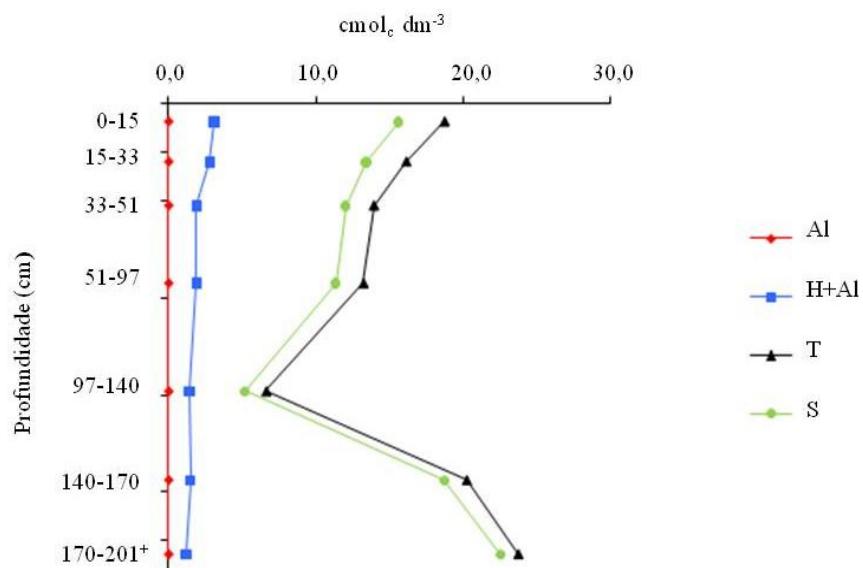


FIGURA 13. Valores de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) do perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato basalto. A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140 cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

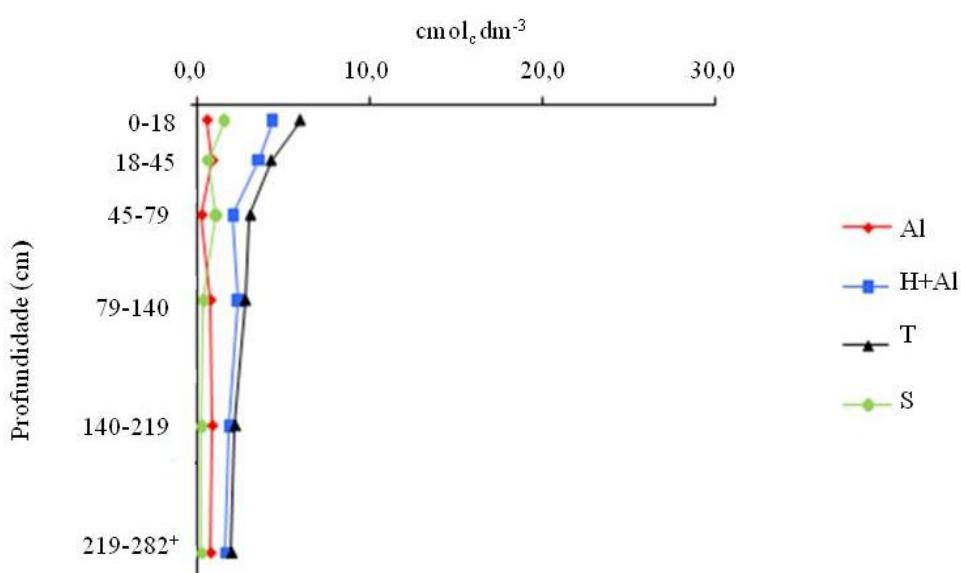


FIGURA 14. Valores de acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), capacidade de troca catiônica (T) e soma de bases (S) do perfil 4 – Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

Os baixos teores de P-assimilável nos saprolitos de gnaisse também podem ser justificados pelas baixas concentrações deste elemento nos principais minerais constituintes desta litologia. Além disso, é possível que parte do P no perfil 3 (pH alto) esteja precipitada com o Ca, enquanto no perfil 4 (pH baixo) o Al e o Fe estariam contribuindo para reduzir a disponibilidade deste nutriente.

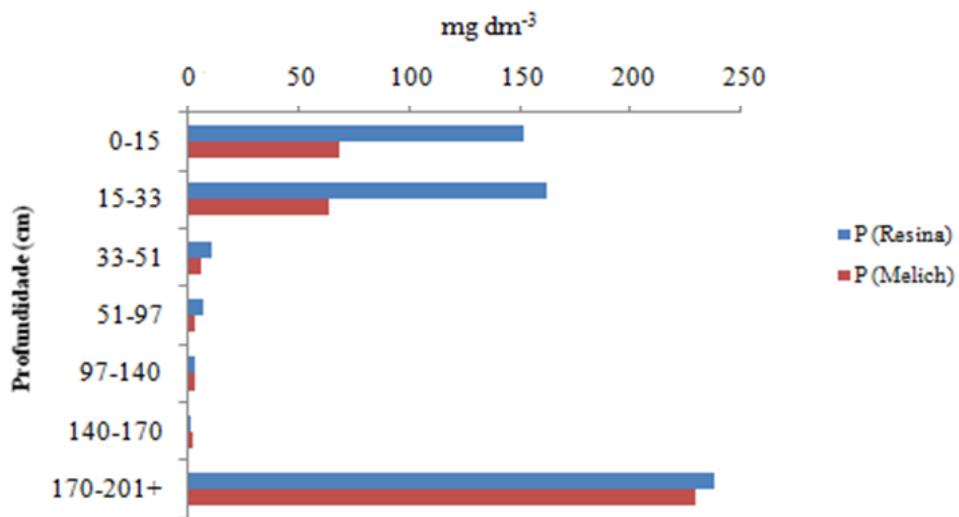


FIGURA 15. Teores de P assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, do perfil 3 - Neossolo Regolítico Ta eutrófico típico, substrato gnaisse. A/Cr: 0-15 cm, Cr/A: 15-33 cm, Cr1: 33-51 cm, Cr2/Cr2: 51-97 cm, Cr3: 97-140 cm, Cr4: 140-170 cm, Cr5/Cr5: 170-201 cm<sup>+</sup>.

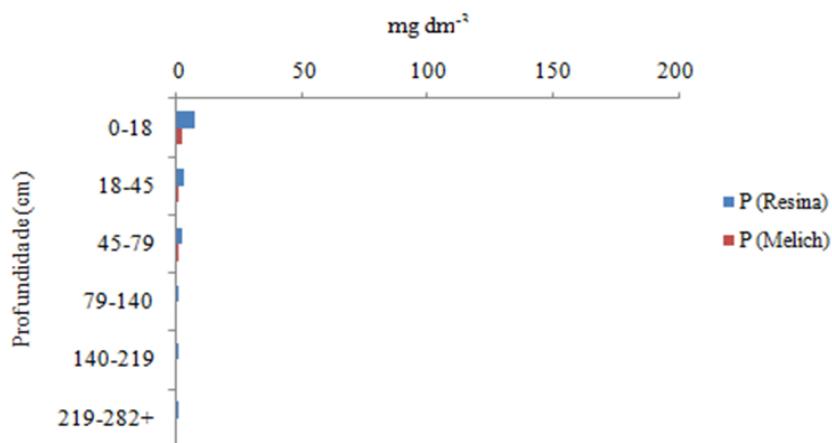


FIGURA 16. Teores de P assimilável, extraído pelos métodos Melich 1 e resina trocadora de ânions, do perfil 4 - Cambissolo Háplico Tb distrófico típico, substrato gnaisse. A: 0-18 cm, Bi/R: 18-45 cm, C/Cr: 45-79 cm, Cr1: 79-140 cm, Cr2: 140-219 cm, Cr3: 219-282 cm<sup>+</sup>.

O alto valor de P-assimilável evidenciado pela camada Cr5 do perfil 3, por sua vez, deve estar relacionado à presença de uma banda com expressiva presença de

apatita, uma vez que este mineral pode ocorrer associado ao gnaisse (PEREIRA et. al., 2009; COSTA et. al., 2008).

Conforme se constatou, os resultados das análises químicas, de modo geral, variaram muito pouco ao longo dos quatro perfis estudados, indicando uma grande semelhança entre o saprolito e o solo suprajacente, no que concerne ao potencial de fornecimento de nutrientes às plantas.

Os mais altos valores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> trocável, N total e CTC, bem como pH mais baixo, no solo, em relação ao saprolito nos perfis estudados (Anexo B) se devem, provavelmente, à contribuição da matéria orgânica (SILVA; MENDONÇA, 2007), cujos teores são maiores nos horizontes superficiais. Da mesma forma, os teores mais elevados de P-assimilável nos solos, em relação aos saprolitos dos perfis 3 e 4 (com exceção da camada Cr5 do perfil 3) dos perfis 3 e 4 podem estar relacionados à ciclagem de nutrientes.

Os teores de micronutrientes nos perfis desenvolvidos de gnaisse foram, assim como no basalto, de modo geral, bem mais altos nos solos, sobretudo nos horizontes superficiais, em relação aos saprolitos (Tabela 2), consequência, provavelmente, da ciclagem de nutrientes. Em geral, o perfil 3 (Neossolo) evidenciou teores mais altos de micronutrientes, sobretudo Cu, Fe, Mn e Zn, em relação ao perfil 4 (Cambissolo), provavelmente, consequência do menor grau de alteração e lixiviação daquele perfil.

No saprolito do perfil 3, somente os teores de Cu e Zn se enquadram nas faixas baixa, e baixa a média, respectivamente (RAIJ, 1999). No solo deste mesmo perfil, os níveis de micronutrientes estão na faixa média a alta. Por outro lado, no perfil 4, mais desenvolvido e lixiviado, os teores de B, Cu, Mn, Fe e Zn, foram classificados, de modo geral, como baixos, no saprolito e baixo a médio no solo (exceto Mn e Fe, cujos teores foram classificados como alto no solo deste mesmo perfil).

#### **4. CONCLUSÃO**

O potencial de suprimento de nutrientes às plantas apresentado pelos saprolitos de gnaisse e de basalto é muito semelhante àquele do solo suprajacente, guardando uma estreita relação com este. Os saprolitos sob Neossolo Regolítico das duas litologias (basalto e gnaisse) são mais ricos em nutrientes do que aquele sob Cambissolo Háplico Tb distrófico típico.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F. Determinação de boro em água quente usando aquecimento com microonda. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.) . **Análise química para avaliação de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 231-239.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 240-250.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa – MG, v. 27, p. 985-1002, 2003.

AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 1-48, 2007.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ et al. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: : Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 225-230.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ et al. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 190-199.

CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, A. C. de. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, southern Brazil. **Sci. Agric.** Piracicaba, v. 64, n.6, p. 601-607, 2007.

COSTA, A. P. L. et al. Petrografia e caracterização tecnológica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do estado do Ceará com aplicação no setor de rochas ornamentais. **Rev. Bras. Geoc.**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 429-438, 2008.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1993. 89p.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil geomorphology.** New York: Wiley, 1992. 256p.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas.

In: NOVAIS et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos e análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.

MACHADO, S. R. V. **Caracterização química, física e mineralógica de saprolitos do estado de São Paulo e suas implicações na taxonomia e uso agrícola**. 1997. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1997.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. et al. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, 2003. p.1-54.

LIMA, J. G. C. et al. Evolução mineralógica de dois solos de referência do Estado de Pernambuco, **Brasil. R. Biol. Ci. Terra**, v. 7, n. 1, p. 71-83, 2007.

LOZET, J.; MATHEU, C. **Dictionnaire de science du sol**. Paris: Lavoisier, 1986, 269p.

LUZ, A. B.; CHAVES, A. P. **Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2000. 72p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 1).

McVAY K., A. et al. Anion exchange in saprolite. **Vadose Zone Journal** [S.l], v. 3, p. 668-675, 2004.

MELFI, J. A; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 – Tipos de evolução pedogegeoquímica. **Rev. Bras. Geoc.**, São Paulo, v. 4, p. 271-286, 1977.

MELLO, P. L. et al. Balanço químico em dois Planossolos e saprolitos da Depressão Central Gaúcha. In: Reunião Brasileira de Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Anais...** - CD ROM, 2004.

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. de F. **Química e mineralogia de solos**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 333-379.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.

PEDRON, F. de A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul.** 2007. 160 f.. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2007.

PEREIRA, R. M. et al. Caracterização petrográfica do horizonte calciosilicático mineralizado em scheelita do Bairro dos Barins, município de Piquete, estado de São Paulo. **Arq. Mus. Nac.**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 1-2, p. 129-147, 2009.

RAIJ, B.van et al. Interpretação de análise de solo. In: RAIJ, B.van et al. **Recomendações de adubação e calagem para estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. p. 8-13. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ et al. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. M p. 189-199.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros:** interpretação e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5<sup>a</sup> Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

RICHTER, D. D.; MARKEWITZ, D. How deep is soil? **BioScience**, Washington, v. 45, n. 9, p. 600-609, 1995.

RONQUIM, C. C. **Conceitos e fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al. (Eds.). **Fertilidade do solo.** Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.

SOMMER, M; STHAR, K. The use of element: clay-ratios assessing gains and losses of iron, manganese and phosphorus in soil of sedimentary rocks on a landscape. **Geoderma**, Amsterdam, v.71, p.173-200, 1996.

STÜRMER, S. L. K. **Infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul - RS, 2008.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in Tropics:** a study of weathering and denudation in low latitudes. New York: John Wiley & Sons, 1994. 443p.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. **Intemperismo e formação do solo**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. T.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, p.140-166, 2008.

VITTE, A. C. Considerações sobre a teoria da etchplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Terra Livre**, [S.I], n. 16, p. 11-24, 2001.

WILSON, M. J. **A handbook of determinative methods in Clay mineralogy**. New York: Chapman and Hall. 1987. 308p.

ZIEGLER, K. et al. Natural variations of  $\delta^{30}\text{Si}$  ratios during progressive basalt weathering, Hawaiian Islands. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 69, p. 4590-4610, 2005.

## **ANEXOS**

## LISTA DE ANEXOS

	Página
<b>ANEXO A.</b>	
FOTO 1A. Localização regional das áreas selecionadas .....	106
ANEXO B. Descrição morfológica dos perfis .....	107
FOTO 1B. Área 1, com destaque para o aspecto caducifólio da vegetação .....	110
FOTO 2B. Detalhe do barranco onde foi preparado o perfil 1, destacando a profusão do sistema radicular e o porte de remanescentes florestais .....	110
FOTO 3B. Vista geral do perfil solo-saprolito 1, preparado com preservação das raízes.....	111
FOTO 4B. Perfil solo-saprolito 2 onde se destaca a dominância de raízes secundárias no solum .....	115
FOTO 5B. Detalhe da parte superior do perfil (solum), onde as raízes foram preservadas .....	116
FOTO 6B. Detalhe de parte do saprolito e presença de raízes finas (entre as fendas) e algumas pivotantes .....	116
FOTO 7B. Visualização do perfil 3, destacando-se fortes contrastes de cor, estrutura e grau de alteração, em decorrência do marcante bandeamento do gnaisse .	120
FOTO 8B. Área 4, onde se vê a localização do perfil 4 .....	125
FOTO 9B. Perfil solo-saprolito 4, onde se vê a dominância de material caulinizado na porção inferior, indicando a natureza mais homogênea do gnaisse neste local .....	124
FOTO 10 B. Vista de parte do perfil 4, mostrando o solum e a porção superior do saprolito, com boa distribuição de raízes .....	125
<b>ANEXO C</b>	
TABELA 1C. Classificação textural dos horizontes e camadas perfis 1, 2, 3 e 4 .....	126
<b>ANEXO D</b>	
TABELA 1D. Água nas amostras de solo e saprolito dos perfis 1, 2, 3 e 4, após tensões de 0, 6, 10, 33, 500 e 1500 kPa .....	127
<b>ANEXO E</b>	
TABELA 1E. Resistência penetração à de horizontes e camadas dos perfis 1, 2, 3 e 4 .....	129

## ANEXO A



FOTO 1A. Localização regional das áreas selecionadas.

## **ANEXO B**

### **Descrição morfológica dos perfis**

#### **Perfil Solo-Saprolito nº 1**

DATA: 03/09/2009.

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO REGOLÍTICO Ta Eutrófico típico A chernozêmico textura argilosa fase floresta tropical caducifólia relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Ce1 (Boletim de Pesquisa – nº 1).

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Buriti, Município de Uberlândia – MG.

COORDENADAS: 18°48'12, 2" S e 48°11'59, 7" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço médio de encosta, em barranco de corte de estrada; aproximadamente 40 % de declive.

Altitude: 730 m.

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Basalto da Formação Serra Geral, Grupo São Bento.

CRONOLOGIA: Juro-Cretáceo.

PEDREGOSIDADE: Pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado a ondulado.

EROSÃO: Laminar moderada.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO: Floresta tropical caducifólia.

USO ATUAL: Reserva, porém com presença de bovinos.

CLIMA: Aw da classificação de Köppen.

DESCRITO E AMOSTRADO POR: Gilberto Fernandes Corrêa, Dalcimar Regina Batista Wangen e Joaquim Lopes.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap	0 – 23 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, seco); argilo-siltosa; média e pequena blocos subangulares e forte pequena a muito pequena granular; dura*, friável, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
A/Cr	23 – 76 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, seco) no A e bruno (7,5YR 5/4 úmido) e bruno-claro (7,5YR 6/4 seco) no Cr; argilo-siltosa; moderada muito pequena blocos subangulares e forte muito pequena a pequena granular; dura, friável, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
Cr1	76 – 120 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno-avermelhado- escuro (5YR 3/3, seco); argilo-siltosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, firme a extremamente firme (saprolito fragmentário), plástica e pegajosa (material interfragmentário); transição gradual e plana.

Cr2	120 – 186 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno-avermelhado- escuro (5YR 3/3, seco), argilo-siltosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, firme a extremamente firme (saprolito fragmentário), plástica e pegajosa (material interfragmentário); transição abrupta e plana.
Cr3	186 – 290 cm <sup>+</sup> ; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido), bruno-avermelhado (5YR 4/4, seco); argilo-siltosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, muito firme a extremamente firme (saprolito fragmentário), plástica e pegajosa (material interfragmentário).

### Raízes:

Muitas secundárias e radicelas ( $\varnothing \leq 1$  cm) no horizonte A1; abundantes radicelas ( $\varnothing \leq 1$  cm) e secundárias ( $\varnothing \leq 6$  cm) no horizonte A/Cr; comuns radicelas e secundárias ( $\varnothing < 6$  cm) na camada Cr1; comuns fasciculares e secundárias ( $\varnothing \leq 6$  cm) na camada Cr2; comuns radicelas e secundárias no material terroso interpenetrado nos vazios deixados por raízes nas camadas Cr1, Cr2 e Cr3.

### Observações:

- Perfil descrito no estado seco.
- Presença de alguns blocos subarredondados (matações) no horizonte A/Cr.
- \* Embora, no local amostrado o horizonte A apresenta-se compactado (consistência dura quando seco) em razão do pisoteio pelo gado, este foi considerado chernozêmico, por tratar-se do horizonte de superfície característico deste domínio pedológico.
- A porção Cr do horizonte A/Cr é fragmentária e quebrável manualmente; os fragmentos saprolíticos da camada Cr1 são maiores e não apresentam núcleo rochoso (rocha totalmente apodrecida), com esparsa presença de capeamento por óxido de manganês. Os blocos de basalto decomposto são penetráveis pela faca, Na camada Cr2 os fragmentos saprolítico são maiores, blocos “acebolados” e mais consistentes, em relação aos do horizonte Cr1, e com abundante revestimento de óxido de manganês.
- A descrição da consistência quando molhada e muito molhada nas camadas Cr1, Cr2 e Cr3 (sem estrutura pedogenética) refere-se ao material preparado (quebrado e passado em peneira de 2 mm) para análises. Contudo, entre os fragmentos saprolíticos (A/Cr, Cr1, Cr2 e Cr3) há material pedogenizado, proveniente dos horizontes A1 e A/Cr.
- Poros comuns muito pequenos (nos blocos de basalto em decomposição) e pequenos (entre estes blocos) no horizonte A1; muitos, muito pequenos a médios no horizonte A/Cr; comuns, muito pequenos no material terroso entremeando os fragmentos saprolíticos e pequenos a médios (poros planares – linhas de fissuras ou fraturas) nos fragmentos saprolíticos na camada Cr1; comuns, muito pequenos e pequenos no Cr2; comuns, muito pequenos a médios na camada Cr3.
- Pedofauna: presença de formigas, cupins e aranhas, principalmente na porção superior do perfil (horizontes Ap e A/Cr).

Perfil nº 1: CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO REGOLÍTICO Ta Eutrófico típico A chernozêmico textura argilosa fase floresta tropical caducifólia relevo forte ondulado.

Horizonte		Frações da Amostra Total %			Composição granulométrica da Terra Fina g kg <sup>-1</sup>				Argila dispersa em água	Grau de floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade g cm <sup>-3</sup>		Porosidade cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup>		
Símbolo	Profundida- de cm	Calhaus > 20 mm	Casca- lho 20 – 2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2 - 0,20 mm	Areia fina 0,20- 0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula	Total	Micro	Macro
Ap	0 - 23	0,3	1,0	98,7	34	17	460	489	248	45	0,94	1,13	2,57	56	44	12
A/Cr	23 - 76	33,7	40,9	25,4	10	8	469	513	298	42	0,91	1,06	2,76	59	39	20
Cr1	76 - 120	33,2	45,9	20,9	7	4	503	486	280	42	1,03	1,22	2,77	50	39	11
Cr2	120 - 186	32,5	66,1	1,4	10	5	556	429	269	37	1,30	1,18	2,82	55	41	14
Cr3	186 - 290 <sup>+</sup>	21,2	76,4	2,4	13	12	562	413	269	35	1,36	1,17	2,77	59	46	13
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>							Valor V (Sat. por bases)	100 Na <sup>+</sup> T %	100 Al <sup>3+</sup> S+ Al <sup>3+</sup> %	P Assimiláve 1 mg dm <sup>-3</sup> (Resina)	P Assimilável mg dm <sup>-3</sup> (Melich)		
	Água	KCl 1mol <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (Soma)	Al <sup>3+</sup>	H + Al							
Ap	6,7	5,6	15,5	3,0	0,60	0,15	19,2	0,0	3,4	22,6	85	0,7	0,0	11,5	2,2	
A/Cr	7,2	6,1	15,2	2,4	0,46	0,22	18,2	0,0	2,3	20,5	89	1,1	0,0	14,0	3,0	
Cr1	7,5	6,5	13,9	3,3	0,66	0,17	18,0	0,0	1,9	19,9	90	0,9	0,0	22,0	4,2	
Cr2	7,6	6,6	10,2	4,1	0,71	1,13	15,2	0,0	1,7	16,9	90	0,8	0,0	31,5	5,3	
Cr3	7,3	6,1	10,4	3,2	0,70	0,17	14,5	0,0	2,1	16,6	87	1,1	0,0	21,0	4,6	
Horizonte	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg dm <sup>-3</sup>	C orgânico g kg <sup>-1</sup>	N g kg <sup>-1</sup>	C/N	Micronutrientes mg dm <sup>-3</sup>					Constantes hídricas (g/100 g)						
					B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade 0,033 MPa		Água disponíve 1,5 MPa				
Ap	9,5	22,0	2,8	7,86	0,27	33,10	40,00	131,50	2,20	34,6	27,2	7,4				
A/Cr	2,5	12,2	1,6	7,63	0,19	32,55	22,00	84,35	1,40	35,0	27,8	7,2				
Cr1	5,0	8,4	1,1	7,64	0,16	30,40	18,00	68,50	2,70	30,3	28,7	1,6				
Cr2	3,5	5,2	0,8	6,50	0,14	21,55	17,00	57,90	3,80	31,1	28,9	2,2				
Cr3	4,0	4,9	0,8	6,13	0,14	14,70	21,50	71,35	3,40	33,0	27,9	5,1				



Foto 1B. Área 1, com destaque para o aspecto caducifólio da vegetação.



FOTO 2B. Detalhe do barranco onde foi preparado o perfil 1, destacando a profusão do sistema radicular e o porte de remanescentes florestais.



FOTO 3B. Vista geral do perfil solo-saprolito 1, preparado com preservação das raízes.

## **Perfil Solo-Saprolito nº 2**

DATA DA COLETA: 31/09/09.

CLASSIFICAÇÃO ATUAL: NEOSSOLO REGOLÍTICO Tb Eutrófico típico A. chernozêmico textura muito argilosa fase floresta tropical caducifólia relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Ce1(Boletim de Pesquisa – nº 1).

LOCALIZAÇÃO: Fazenda Pombo, Município de Uberlândia – MG.

COORDENADAS: 18°53'37, 6" S e 48°05'77, 9" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço médio de encosta, em barranco de corte de estrada; aproximadamente 40 % de declive.

ALTITUDE: 740 m.

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Basalto da Formação Serra Geral, Grupo São Bento.

CRONOLOGIA: Juro-Cretáceo.

PEDREGOSIDADE: Pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado a ondulado.

EROSÃO: Laminar moderada.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO: Floresta tropical caducifólia.

USO ATUAL: Reserva, porém com presença de bovinos.

CLIMA: Aw da classificação de Köppen.

DESCRITO E AMOSTRADO POR: Gilberto Fernandes Corrêa, Dalcimar Regina Batista Wangen e Joaquim Lopes.

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 22 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada média e muito pequena blocos subangulares; dura\*, friável, plástica e pegajosa; transição clara e plana.

A/Cr 22 – 67 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, seco) no A e bruno-avermelhado (5YR 4/3 úmido) e bruno-avermelhado (5YR 5/3 seco) no Cr; muito argilosa; moderada média e muito pequena blocos subangulares; dura\*, friável, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Cr1 67 – 105 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) e bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/3, seco); argilosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, firme (saprolito fragmentário), plástica e pegajosa (material interfragmentário); transição gradual e plana.

Cr2 105 – 201 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, seco)<sup>1</sup>, bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (10YR 5/3, seco)<sup>2</sup>, vermelho (10R 4/6, úmido) e vermelho (10R 4/6, seco)<sup>3</sup>, preto (5YR 2,5/1, úmido) e preto

(5YR 2,5/1, seco)<sup>4</sup>; franco-argilo-siltosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, muito firme (saprolito fragmentário), plástica e pegajosa (material inter fragmentário); transição difusa e plana.

Cr3 201 – 280 cm<sup>+</sup>; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, seco)<sup>1</sup>, bruno- avermelhado-escuro (10YR 3/4, úmido) e bruno- avermelhado-escuro (10YR 5/3, seco)<sup>2</sup>, vermelho (10R 4/6, úmido) e vermelho (10R 4/6, seco)<sup>3</sup>, preto (5YR 2,5/, úmido) e preto (5YR 2,5/1, seco)<sup>4</sup>; franco-argilo-siltosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, muito firme (saprolito fragmentário), plástica e pegajosa (material interfragmentário).

### Raízes:

Muitas secundárias ( $\varnothing \leq 2$  cm) e radicelas no horizonte A/R; muitas secundárias ( $\varnothing \leq 2$  cm), radicelas e pivotante ( $\varnothing \leq 3$  cm) no horizonte A/Cr; comuns secundárias ( $\varnothing \leq 1$  cm) e radicelas nas fissuras presentes na camada Cr1; comuns secundárias ( $\varnothing \leq 0,1$  cm) e radicelas nas fissuras presentes na camada CR2; poucas secundárias ( $\varnothing < 1$  cm) na camada Cr3.

### Observações:

- Perfil descrito seco.
- Presença de calhaus e matacões no horizonte Ap.
- \* Embora, no local amostrado o horizonte A apresenta consistência dura quando seco o mesmo foi classificado como A chernozêmico, por tratar-se do horizonte de superfície característico deste domínio pedológico.
- <sup>1</sup>Cor do material edafizado preenchendo cavidades deixadas por raízes, presente em proporções decrescentes à medida que se aprofunda no perfil; 2cor da matriz saprolítica, 3cor do material ferruginizado revestindo os blocos de basalto semi-alterados, 4cor da película de óxido de manganês revestindo os blocos de basalto semi-alterados.
- Poros comuns muito pequenos e pequenos no Ap, A/Cr e Cr1; comuns, muito pequenos e pequenos (no geral) e comuns, canalículos médios e pequenos (canalículos de pedofauna) no material mais granular, e poros planares entre os blocos semi-alterados no Cr2 e Cr3.
- Pedofauna: presença de aranhas e formigas, principalmente na porção superior do perfil (horizontes Ap e A/Cr).

Perfil nº 2: NEOSSOLO REGOLÍTICO Tb Eutrófico típico A chernozêmico textura muito argilosa fase floresta tropical caducifólia relevo forte ondulado.

Horizonte		Frações da Amostra Total %			Composição Granulométrica da Terra Fina g kg <sup>-1</sup>				Argila dispersa em água g kg <sup>-1</sup>	Grau de floculação %	Relação Silte/ Argila	Densidade g cm <sup>-3</sup>		Porosidade cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup>		
Símbolo	Profundida- de cm	Calhaus > 20 mm	Casca- lho 20 – 2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2 - 0,20 mm	Areia fina 0,20- 0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula	Total	Micro	Macro
Ap	0 – 22	7,8	7,8	84,4	21	62	249	668	291	56	0,37	1,06	2,55	56	38	18
A/Cr	22 – 67	51,3	11,1	37,6	17	32	359	592	385	35	0,61	1,05	2,72	58	43	15
Cr1	67 – 105	37,2	52,0	10,8	4	7	362	627	384	39	0,58	1,08	2,69	59	48	11
Cr2	105 – 201	10,2	60,5	29,3	2	1	611	386	308	20	1,58	1,10	2,84	61	54	7
Cr3	201 – 280 <sup>+</sup>	18,9	65,9	15,2	3	2	637	358	294	18	1,78	1,18	2,87	59	56	3
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>							Valor V (Sat. por bases) %	$\frac{100 \text{ Na}^+}{\text{T}}$ %	$\frac{100 \text{ Al}^{3+}}{\text{S} + \text{Al}^{3+}}$ %	P Assimilável mg dm <sup>-3</sup> (Resina)	P assimilá- vel mg dm <sup>-3</sup> (Melich)		
	Água	KCl 1 mol <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (Soma)	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor T						
Ap	5,9	5,0	8,9	2,2	0,24	0,37	11,7	0,0	5,7	17,4	67	2,1	0	28,5	5,1	
A/Cr	6,4	5,4	9,4	2,3	0,25	0,33	12,3	0,0	3,1	15,4	80	2,1	0	15,0	3,4	
Cr1	6,7	5,6	7,0	2,2	0,44	0,24	9,9	0,0	2,7	12,6	89	1,9	0	13,0	4,6	
Cr2	7,2	6,1	7,7	2,9	0,58	0,13	11,3	0,0	2,2	13,5	84	1,0	0	20,5	6,4	
Cr3	6,8	5,6	7,3	1,6	0,48	0,13	9,5	0,0	2,9	12,3	77	1,1	0	38,5	9,2	
Horizonte	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg dm <sup>-3</sup>	C N g kg <sup>-1</sup>	C/N	Micronutrientes mg dm <sup>-3</sup>						Constantes hídricas (g/100 g)						
				B	Cu	Fe	Mn	Zn		Umidade 0,033 MPa		Água disponível máxima 1,5 MPa				
Ap	4,0	22,9	2,2	10,23	0,23	15,35	49,00	157,60	2,90	31,5		26,9		4,6		
A/Cr	2,5	16,0	1,3	11,99	0,22	12,80	26,50	110,00	1,15	39,2		30,4		8,8		
Cr1	2,0	7,0	0,5	14,21	0,13	6,30	16,50	51,75	1,70	40,9		33,6		7,3		
Cr2	1,0	1,7	0,4	4,52	0,12	2,75	19,50	18,80	2,65	44,0		34,8		9,2		
Cr3	0,5	1,2	0,1	11,05	0,10	1,65	35,00	25,00	1,30	44,6		34,3		10,3		

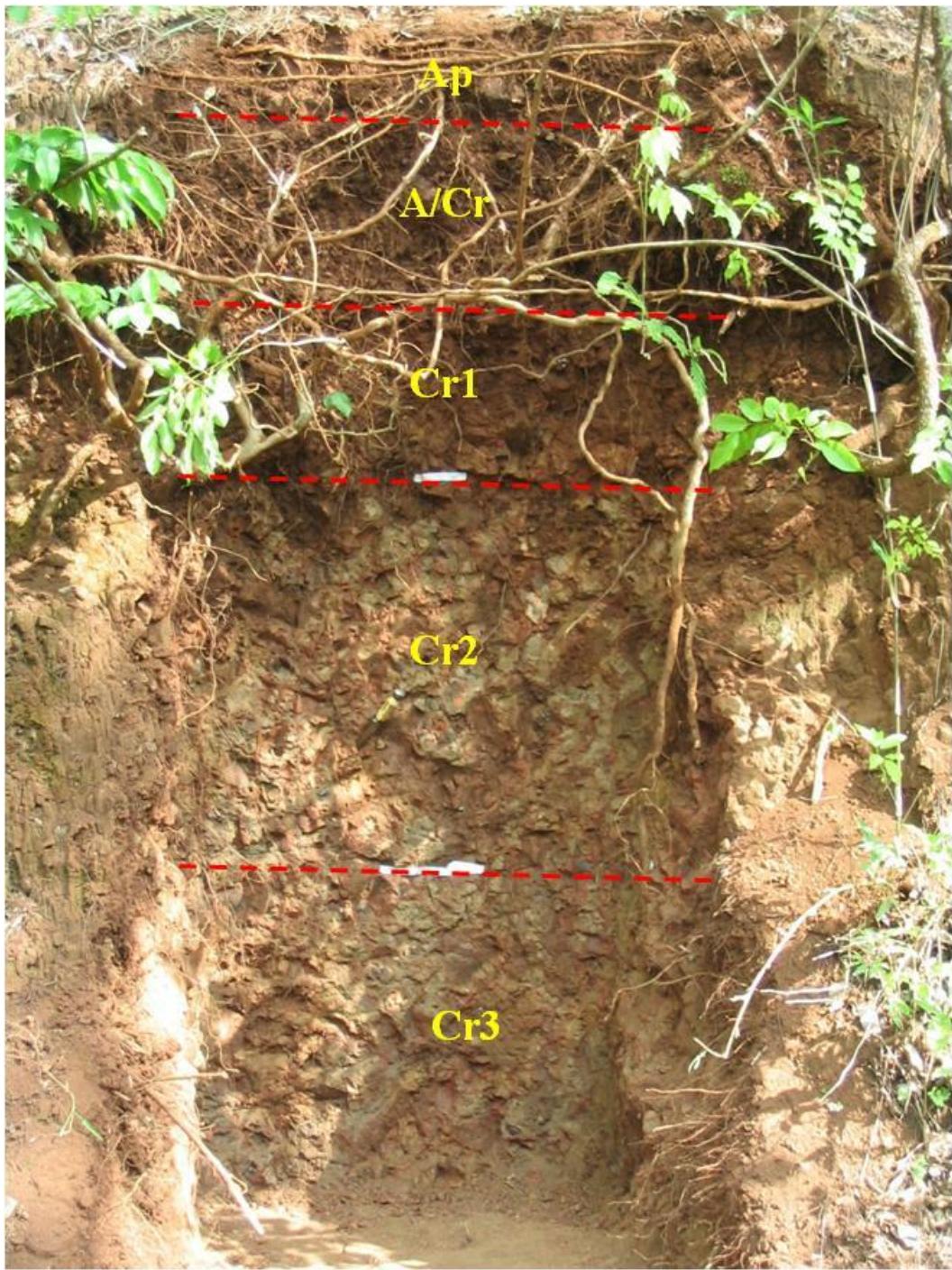


FOTO 4B. Perfil solo-saprolito 2 onde se destaca a dominância de raízes secundárias no solum.



FOTO 5B. Detalhe da parte superior do perfil (solum), onde as raízes foram preservadas.



FOTO 6B. Detalhe de parte do saprolito e presença de raízes finas (entre as fendas) e algumas pivotantes.

## **Perfil Solo-Saprolito nº 3**

DATA: 18/09/2009.

CLASSIFICAÇÃO: NEOSSOLO REGOLÍTICO Ta Eutrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo montanhoso.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: PE4 (Boletim de Pesquisa – nº 1).

LOCALIZAÇÃO: Acesso à Usina Hidrelétrica de Miranda (UHE – Miranda), Município de Indianópolis – MG.

COORDENADAS: 18°53'11, 4" S e 48°02'45,1" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Terço médio de encosta, em barranco de corte de estrada, de acesso a UHE – Miranda; aproximadamente 60 % de declive.

ALTITUDE: 709 m.

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Gnaisse do Grupo Araxá.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano.

PEDREGOSIDADE: Moderamente pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Montanhoso.

RELEVO REGIONAL: Montanhoso e forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Reserva (vegetação secundária).

CLIMA: Aw da classificação de Köppen.

DESCRITO E AMOSTRADO POR: Gilberto Fernandes Corrêa, Dalcimar Regina Batista Wangen e Joaquim Lopes.

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A/Cr	0 – 15 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (7,5YR 4/4, seco) no A e bruno-amarelado (10YR 5/8, úmido) e bruno-amarelado (10YR 5/8, seco) no Cr; franco-argilosa; forte, muito pequena, blocos subangulares no A e forte, muito pequena e pequena, granular no Cr; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
Cr/A	15 – 33 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6 úmido) e bruno-amarelado (10YR 5/6, seco) no Cr e bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido) e bruno (7,5YR 4/4, seco) no A; franco-argilosa; forte, muito pequena a pequena, granular; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
Cr1	33 a 51 cm; bruno-forte (7,5 YR 4/6, úmido) e bruno-forte (7,5 YR 5/6, seco); franco-argilosa; sem estrutura pedogenética; extremamente dura, friável a muito firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
Cr2	51 - 97 cm; (caulinizado) amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, úmido) e rosa (5YR 8/3, seco), mesclado com bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco)*/51 – 87 cm; (biótico) bruno-oliva (2,5Y 4/3, úmido) e bruno-oliva-claro (2,5Y 5/4, seco); franco-arenosa/franco argilosa; sem estrutura pedogenética; muito dura, friável,

	plástica e pegajosa/extremamente dura, friável a muito firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana/abrupta e irregular.
Cr3	
Cr4	97 - 140 cm (15 – 58 cm) (caulinizado); amarelo-pálido (2,5Y 8/4, úmido) e branco (2,5 Y 8/1, seco); franco-argilo-arenosa; fragmentário, sem estrutura pedogenética; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e irregular (oblíqua).
Cr5	140 – 168 cm (28 cm de espessura e disposição oblíqua); bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, seco); franco-arenosa; sem estrutura pedogenética (saprolito fragmentário); dura a extremamente dura, firme a muito firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição abrupta e irregular (oblíqua).
	168 – 201 cm <sup>+</sup> ; cinza-oliva-escuro (5Y 3/2, úmido) e glei (5Y 5/1, seco) com manchas de material caulinizado bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/4, úmido) e amarelo-pálido (2,5Y 8/2, seco); areia-franca; sem estrutura pedogenética (saprolito fragmentário); extremamente dura, extremamente firme, ligeiramente plástica e não pegajosa.

### Raízes:

Muitas radicelas ( $\varnothing < 2$  mm) e secundárias ( $< 2$  cm) no A/Cr; muitas radicelas ( $\varnothing < 2$  mm) (localizadas), comuns (em geral) secundárias ( $\varnothing \leq 4$  cm) no Cr/A; muitas (localizadas) radicelas e poucas (em geral) secundárias ( $\varnothing \leq 2$  cm) no Cr1; comuns radicelas e secundárias ( $\varnothing \leq 2$  cm) na porção caulinizada e poucas radicelas e secundárias ( $\varnothing \leq 4$  cm) na porção biotítica do Cr2; comuns radicelas e secundárias ( $\varnothing < 2$  cm) no Cr3; muitas radicelas e secundárias ( $\varnothing \leq 1,5$  cm) (concentradas nas fendas e ausentes no interior dos blocos semi-alterados)/comuns radicelas e secundárias ( $\varnothing < 1$  cm) no material de preenchimento dos espaços vazios deixados por raízes e nas fendas dos blocos semi-alterados, mas ausentes no interior dos blocos semi-alterados no Cr4; poucas radicelas e secundárias ( $\varnothing < 1$  cm) nas fissuras, porém ausentes na porção inferior, mais coesa.

### Observações:

-Perfil descrito no estado úmido.

\*Entre o horizonte Cr2 (caulinizado) e o horizonte subjacente há uma linha de material terroso, com espessura variando entre 15 e 1 cm.

- A camada Cr4 apresenta material pedogenizado, numa faixa de transição com a camada Cr3, possivelmente preenchendo espaços vazios deixados por raízes.
- Saprolito com presença abundante de recobrimento de óxido de manganês em fraturas internas aos fragmentos.
- Poros comuns muito pequenos e pequenos no horizonte A/Cr e Cr/A e nas camadas Cr1, Cr2, Cr3, Cr4 e Cr5.
- Pedofauna: presença de aranhas e formigas, principalmente na porção superior do perfil (horizontes A/Cr e Cr/A).

Perfil nº 3: NEOSSOLO REGOLÍTICO Ta Eutrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo montanhoso.

Horizonte		Frações da Amostra Total g kg <sup>-1</sup>			Composição Granulométrica da Terra Fina g kg <sup>-1</sup>				Argila Dispersa em água g kg <sup>-1</sup>	Grau de floculação %	Relação Silte/ argila	Densidade g cm <sup>-3</sup>		Porosidade cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup>		
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20 – 2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2 - 0,20	Areia fina 0,20-0,05	Silte 0,05- 0,002	Argila <0,002 mm				Solo	Partícula	Total	Micro	Macro
A/Cr	0 - 15	43,0	33,2	23,8	133	171	343	353	214	40	0,97	1,16	2,57	53	6	17
Cr/A	15 - 33	50,0	41,1	8,9	125	162	354	359	221	35	0,99	1,24	2,62	48	40	8
Cr1	33 - 51	28,2	45,3	26,6	59	340	304	297	199	33	1,02	1,54	2,63	44	43	1
Cr2/Cr2*	51 - 97	25,8/0,0	48,3/0,0	25,8/100,0	64/273	475/107	301/232	160/388	127/318	21/18	1,88/0,60	1,39/1,94	2,84/2,60	47/36	36/34	11/2
Cr3	97 - 140	0,0	18,6	81,4	414	144	228	214	156	27	1,07	1,44	2,61	44	32	12
Cr4	140 - 170	24,3	56,3	19,4	131	455	312	102	89	13	3,06	1,54	2,73	45	41	4
Cr5/Cr5*	170 - 201*	41,9/23,1	52,3/52,3	5,8/24,6	208/525	198/220	320/216	274/39	247/35	10/12	1,17/5,54	2,13/1,75	2,90/2,95	30/40	23/35	7/5
Horizonte		pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol <sub>e</sub> kg <sup>-1</sup>							Valor V (Sat. Por bases) %	100 Na <sup>+</sup> T %	100 Al <sup>3+</sup> S+ Al <sup>3+</sup> %	P assimilável mg dm <sup>-3</sup> (Resina)	P assimilável mg dm <sup>-3</sup> (Melich)	
		Água	KCl 1 mol <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H + Al						
A/Cr	6,5	5,7	10,3	4,4	0,76	0,13	15,6	0,0	3,1	18,7	83	0,7	0,0	151,5	66,8	
Cr/A	6,5	5,5	8,6	3,8	0,80	0,17	13,4	0,0	2,8	16,1	83	1,1	0,0	162,5	63,7	
Cr1	6,9	5,5	7,8	2,9	0,96	0,35	12,0	0,0	1,9	13,9	86	2,5	0,0	11,0	5,8	
Cr2/Cr2*	6,6/6,9	5,0/5,6	10,1/4,9	3,9/1,9	0,64/0,87	0,26/0,17	14,9/7,8	0,0/0,0	1,8/1,9	16,7/9,7	89/80	1,8/1,6	0,0/0,0	2,0/13,0	2,9/4,7	
Cr3	6,8	5,4	2,8	1,7	0,13	0,59	5,2	0,0	1,4	6,6	79	8,9	0,0	3,5	3,3	
Cr4	7,1	5,0	10,5	7,1	0,25	0,92	18,7	0,0	1,5	20,2	93	4,5	0,0	1,0	2,7	
Cr5/Cr5**	6,7/7,3	5,0/4,9	8,2/10,0	11,8/11,9	0,19/0,22	0,28/0,46	20,4/22,5	0,0/0,0	1,2	22,1/23,7	92/95	1,3/1,9	0,0/0,0	113,0/238,0	35,4/229,7	
Horizonte	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg dm <sup>-3</sup>	C orgânico g kg <sup>-1</sup>	N g kg <sup>-1</sup>	C/N	Micronutrientes mg dm <sup>-3</sup>					Constantes hídricas (g/100 g)						
					B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade 0,033 MPa		1,5 MPa	Água disponível máxima			
A/Cr	7,0	25,8	3,2	8,06	0,56	5,5	75,5	167,0	9,65	30,6	23,7			6,9		
Cr/A	6,5	11,9	1,7	7,00	0,35	6,60	38,5	102,20	3,55	29,5	19,0			10,5		
Cr1	3,0	3,5	0,4	8,75	0,19	3,00	14,5	38,40	0,80	23,4	17,6			5,8		
*Cr2/Cr2	4,5/2,5	1,5/3,5	0,2/0,3	7,5/11,67	0,13/0,17	1,40/2,55	18,5/9,5	36,10/22,90	0,40/0,45	23,3/16,3	15,6/15,6			7,8/0,7		
Cr3	4,5	1,2	0,1	12	0,11	0,70	2,0	3,60	0,30	16,2	10,2			6,0		
Cr4	4,5	0,9	0,0	0,00	0,13	0,40	13,5	29,25	0,40	21,0	15,0			6,0		
**Cr5/Cr5	6,0/3,0	1,2/0,9	0,1/0,0	12,0/0,0	0,20/0,11	0,85/0,40	22,5/20,0	30,50/11,45	0,60/0,55	9,5/19,4	9,4/7,9			0,1/11,5		

\*Cr2/Cr2: material biótico/ caulinizado, CR5+ intemperizado/CR5- intemperizado.

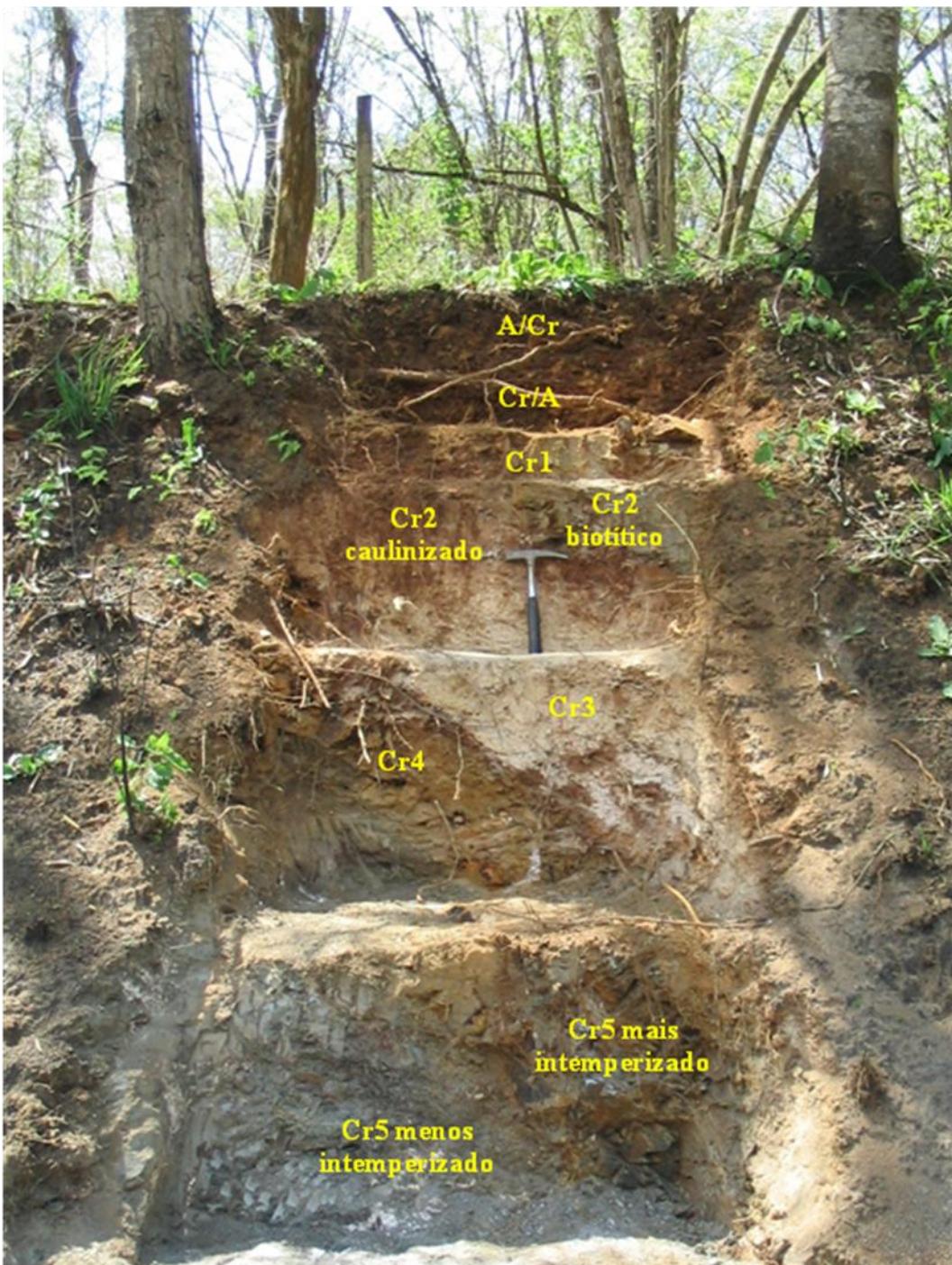


FOTO 7B. Visualização do perfil 3, destacando-se fortes contrastes de cor, estrutura e grau de alteração, em decorrência do marcante bandeamento do gnaisse.

## **Perfil Solo-Saprolito nº 4**

**CLASSIFICAÇÃO:** CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.

**UNIDADE DE MAPEAMENTO:** PE4 (Boletim de Pesquisa – nº 1).

**LOCALIZAÇÃO:** Reserva Ecológica Capim Branco, Município de Uberlândia – MG.

**COORDENADAS:** 18°48'70, 2" S e 48°10'06,1" W.

**SITUAÇÃO E DECLIVE:** Terço inferior de encosta, em barranco de corte de estrada; aproximadamente 45 % de declive.

**ALTITUDE:** 631 m.

**LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA:** Gnaisse do Grupo Araxá.

**CRONOLOGIA:** Pré-Cambiano.

**PEDREGOSIDADE:** Moderadamente pedregoso.

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso.

**RELEVO LOCAL:** Forte ondulado.

**RELEVO REGIONAL:** Forte ondulado e ondulado.

**EROSÃO:** Não aparente.

**DRENAGEM:** Acentuadamente drenado.

**VEGETAÇÃO:** Floresta tropical subcaducifólia.

**USO ATUAL:** Reserva Ecológica.

**CLIMA:** Aw da classificação de Köppen.

**DESCRITO E AMOSTRADO POR:** Gilberto Fernandes Corrêa, Dalcimar Regina Batista Wangen e Joaquim Lopes.

## **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0 – 18 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); cinza-brunado-claro (10YR 6/2 seco), fanco-arenosa; moderada, média a muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara,
- Bi 18 – 45 cm; bruno (10YR 5/3, úmido) e bruno-muito pálido (10YR 7/3, seco); fanco-argilo-arenosa; fraca, média a muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição irregular e clara.
- C/Cr 45 - 79 cm; bruno (7,5YR 4/3, úmido) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco) no C e bruno (7,5YR 5/4, úmido) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seco) no Cr; fanco-argilo-arenosa; fraca, média a muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável no C e dura, ligeiramente dura, friável no Cr; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; irregular e clara.
- Cr1 79 - 140 cm; matriz bruno-claro (7,5YR 6/3, úmido) e branco-róseo (7,5YR 8/2, seco) mesclado com bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido) e rosa (7,5YR 7/4,

seco); fanco-arenosa; sem estrutura pedogenética; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

#### Cr2

140 - 219 cm; matriz branco-róseo (7,5YR 8/2, úmido) e branco (7,5YR 8/1, seco)<sup>1</sup> mesclado com bruno-forte (7,5YR 5/6 úmido)<sup>2</sup> e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seco)<sup>2</sup>, fanco-arenosa; sem estrutura pedogenética; macia/ligeiramente dura, friável/firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

#### Cr3

219 – 282 cm<sup>+</sup>; matriz branco (7,5YR 8/1, úmido) e branco (7,5YR 8/1, seco)<sup>1</sup> mesclado com bruno-claro (7,5YR 6/4, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, seco)<sup>2</sup>; fanco-arenosa; sem estrutura pedogenética; macio e muito friável (matriz) e ligeiramente duro e friável (mescla), ligeiramente plástica e não pegajosa.

#### Raízes:

Muitas secundárias ( $\varnothing \leq 2$  cm) e radicelas nos horizontes A e Bi/R; comuns secundárias ( $\varnothing \leq 3$  cm) e radicelas no horizonte C/Cr; comuns secundárias ( $\varnothing \leq 4$  cm) e radicelas na camada Cr1; comuns secundárias ( $\varnothing \leq 5$  cm) e radicelas na camada Cr2; poucas secundárias ( $\varnothing \leq 2$  cm) e radicelas na camada Cr3.

#### Observações:

- Perfil descrito no estado seco.
- Há presença de carvão na porção intermediária do horizonte Bi/R.
- Foi observada presença de matacões no horizonte Bi/R.
- 1Matriz saprolítica (caulinizada).
- 2Material relacionado à interpenetração de material proveniente de horizontes/camadas suprajacentes.
- Na camada Cr2 há predomínio de material de cor mais clara, com interpenetrações de material mais escuro relacionado à heterogeneidade da rocha e interpenetração de material proveniente da porção suprajacente.
- O material da camada Cr3 apresenta-se mais homogêneo e mais caulinizado, com textura mais grosseira, em relação ao da camada Cr2.
- Poros comuns muito pequenos e pequenos nos horizontes A, Bi/R e na porção Cr do C/Cr; comuns muito pequenos na porção C do horizonte C/Cr e nas camadas Cr1, Cr2 e Cr3.
- Pedofauna: presença de aranhas, formigas e cupins, principalmente na porção superior do perfil (horizontes A e Bi).

Perfil nº 4: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média fase floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.

Horizonte		Frações da Amostra Total g kg <sup>-1</sup>			Composição Granulométrica da Terra Fina g kg <sup>-1</sup>				Argila Dispersa em água g kg <sup>-1</sup>	Grau de flocu- lação %	Relação Sílte/ argila	Densidade g cm <sup>-3</sup>		Porosidade cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup>		
		Símbolo	Profun- didade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20 – 2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2 - 0,20 mm	Areia fina 0,20- 0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila <0,002 mm		Solo	Partícula	Total	Micro	Macro
A	0 – 18	0,0	15,4	84,6	412	171	242	175	95	46	1,38	1,08	2,47	48	30	18
Bi	18 - 45	0,0	12,0	88,0	350	197	187	266	159	40	0,70	1,32	2,50	41	32	9
C/Cr	45 - 79	5,4	43,4	51,2	400	197	188	215	143	33	0,87	1,41	2,52	41	32	9
Cr1	79 - 140	0,0	3,6	96,4	398	211	211	180	121	33	1,17	1,46	2,59	37	30	7
Cr2	140 - 219	0,0	0,0	100,0	449	223	228	100	70	30	2,28	1,47	2,61	41	37	4
Cr3	219 - 282 <sup>+</sup>	0,0	0,0	100,0	479	217	230	74	60	20	3,11	1,33	2,61	45	34	11
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								Valor V (Sat. por bases) %	$\frac{100 \text{ Na}^+}{\text{T}}$ %	$\frac{100 \text{ Al}^{3+}}{\text{S} + \text{Al}^{3+}}$ %	P assimilável mg dm <sup>-3</sup> (Resina)	P assimilável mg dm <sup>-3</sup> (Melich)	
	Água	KCl 1 mol <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor T						
A	5,2	4,2	1,1	0,2	0,12	0,09	1,6	0,6	4,4	6,0	26	1,5	26	8,0	2,5	
Bi	4,9	4,1	0,5	0,1	0,06	0,09	0,7	0,9	3,6	4,3	17	2,0	55	3,0	1,3	
C/Cr	5,5	4,3	0,6	0,1	0,30	0,09	1,1	0,3	2,1	3,1	35	2,8	22	2,5	1,2	
Cr1	5,1	4,1	0,2	0,1	0,11	0,09	0,4	0,8	2,4	2,8	15	3,1	65	1,5	0,8	
Cr2	5,2	4,1	0,1	0,0	0,10	0,11	0,3	0,9	1,9	2,2	15	4,9	73	1,0	0,7	
Cr3	5,2	4,2	0,1	0,0	0,13	0,09	0,3	0,8	1,7	2,0	16	4,3	72	1,0	0,6	
Horizonte	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg dm <sup>-3</sup>	C orgânico g kg <sup>-1</sup>	N g kg <sup>-1</sup>	C/N	Micronutrientes mg dm <sup>-3</sup>						Constantes hídricas (g/100 g)					
					B	Cu	Fe	Mn	Zn		Umidade		Água disponível máxima			
										0,033 MPa	1,5 MPa					
A	2,0	10,4	1,1	9,94	0,16	0,70	45,0	47,35	0,35	25,2		12,5		12,6		
Bi	3,0	4,9	0,3	15,65	0,11	0,55	19,5	26,6	0,25	21,1		13,0		8,1		
C/Cr	5,5	1,5	0,1	10,36	0,14	0,30	8,0	4,55	0,20	19,2		11,9		7,3		
Cr1	2,0	0,6	0,1	8,29	0,12	0,25	5,0	2,5	0,15	17,2		8,8		8,4		
Cr2	1,5	0,6	0,0	0,00	0,12	0,20	2,0	1,15	0,15	20,9		5,4		15,5		
Cr3	2,0	0,9	0,0	0,00	0,18	0,15	2,0	0,90	0,15	20,5		4,5		16,0		



FOTO 8B. Área 4, onde se vê a localização do perfil solo-saprolito 4.



FOTO 9B. Perfil solo-saprolito 4, onde se vê a dominância de material caulinizado na porção inferior, indicando a natureza mais homogênea do gnaisse neste local.



FOTO 10 B. Vista de parte do perfil 4, mostrando o solum e a porção superior do saprolito, com boa distribuição de raízes.

## ANEXO C

Tabela 1C. Classificação textural dos horizontes e camadas dos perfis 1, 2, 3 e 4

Horizontes e Camadas	Composição Granulométrica da Terra Fina (g kg <sup>-1</sup> )			Classe Textural Simples	Classe Textural Completa
	Areia	Silte	Argila		
<b>Perfil 1 (Basalto)</b>					
Ap	51	460	489	Argilosa	Argilo-siltosa
A/Cr	18	469	513	Argilosa	Argilo-siltosa
Cr1	11	503	486	Argilosa	Argilo-siltosa
Cr2	15	556	429	Argilosa	Argilo-siltosa
Cr3	25	562	413	Argilosa	Argilo-siltosa
<b>Perfil 2 (Basalto)</b>					
Ap	83	249	668	Muito argilosa	Franco-argilosa
A/Cr	49	359	592	Argilosa	Argilosa
Cr1	11	362	627	Muito argilosa	Muito argilosa
Cr2	3	611	386	Argilosa	Franco-argilo-siltosa
Cr3	5	637	358	Argilosa	Franco-argilo-siltosa
<b>Perfil 3 (Gnaisse mesocrático)</b>					
A/Cr	304	343	353	Argilosa	Franco-argilosa
Cr/A	287	354	359	Média	Franco-argilosa
Cr1	399	304	297	Média	Franco-argilosa
*Cr2/Cr2	539/380	301/232	160/388	Média/Argilosa	Franco-arenosa/Franco-argilosa
Cr3	558	228	214	Média	Franco-argilo-arenosa
Cr4	586	312	102	Média	Franco-arenosa
**Cr5/Cr5	406/745	320/216	274/39	Média/Arenosa	Franco/Areia-franca
<b>Perfil 4 (Gnaisse melanocrático)</b>					
A	583	242	175	Média	Franco-arenosa
Bi	547	187	266	Média	Franco-argilo-arenosa
C/Cr	597	188	215	Média	Franco-argilo-arenosa
Cr1	609	211	180	Média	Franco-arenosa
Cr2	672	228	100	Média	Franco-arenosa
Cr3	696	230	74	Média	Franco-arenosa

\*Cr2/Cr2: Cr2 biotítico/Cr2 caulinizado, \*\*Cr5/Cr5: Cr5 mais intemperizado/Cr5 menos intemperizado.

## ANEXO D

Tabela 1D. Água nas amostras de solo e saprolito dos perfis 1, 2, 3 e 4, após tensões de 0, 6, 10, 33, 500 e 1500 kPa

Horizontes e Camadas	Profundidade (cm)	Umidade	Tensão (kPa/pF)					
			0	6	10	33	500	1500
			0	1,8	2,0	2,5	3,7	4,2
<b>Perfil 1 (Basalto)</b>								
Ap	0-23	Ug	0,496	0,391	0,370	0,346	0,283	0,272
		Uv	0,560	0,442	0,419	0,391	0,320	0,308
A/Cr	23-76	Ug	0,558	0,370	0,358	0,350	0,289	0,278
		Uv	0,590	0,392	0,379	0,371	0,305	0,294
Cr1	76-120	Ug	0,412	0,319	0,311	0,303	0,294	0,287
		Uv	0,503	0,390	0,379	0,370	0,358	0,351
Cr2	120-186	Ug	0,467	0,350	0,336	0,311	0,294	0,289
		Uv	0,552	0,414	0,397	0,368	0,348	0,342
Cr3	186-290 <sup>+</sup>	Ug	0,508	0,395	0,381	0,330	0,284	0,279
		Uv	0,593	0,460	0,445	0,384	0,331	0,325
<b>Perfil 2 (Basalto)</b>								
Ap	0-22	Ug	0,531	0,356	0,340	0,315	0,273	0,269
		Uv	0,562	0,376	0,360	0,334	0,289	0,285
A/Cr	22-67	Ug	0,553	0,411	0,402	0,392	0,308	0,304
		Uv	0,580	0,431	0,422	0,411	0,323	0,319
Cr1	67-105	Ug	0,546	0,447	0,434	0,409	0,342	0,336
		Uv	0,589	0,482	0,468	0,441	0,369	0,363
Cr2	105-201	Ug	0,557	0,490	0,474	0,440	0,349	0,348
		Uv	0,611	0,537	0,519	0,482	0,382	0,381
Cr3	201-280 <sup>+</sup>	Ug	0,502	0,476	0,468	0,446	0,344	0,343
		Uv	0,591	0,561	0,552	0,525	0,405	0,405

Continua ...

... Continua

Horizontes e Camadas	Profundidade (cm)	Umidade	Tensão (kPa/pF)					
			0	6	10	33	500	1500
			0	1,8	2,0	2,5	3,7	4,2
<b>Perfil 3 (Gnaisse mesocrático)</b>								
A/Cr	0-15	Ug	0,485	0,329	0,318	0,306	0,238	0,237
		Uv	0,562	0,382	0,369	0,355	0,276	0,275
Cr/A	15-33	Ug	0,386	0,319	0,312	0,295	0,193	0,190
		Uv	0,480	0,397	0,388	0,367	0,240	0,236
Cr1	33-51	Ug	0,287	0,281	0,273	0,234	0,182	0,176
		Uv	0,443	0,433	0,420	0,361	0,281	0,271
Cr2 Biotítico	51-97	Ug	0,337	0,258	0,247	0,233	0,164	0,156
		Uv	0,467	0,358	0,343	0,324	0,228	0,216
Cr2 caulinizado	51-97	Ug	0,191	0,177	0,171	0,163	0,172	0,156
		Uv	0,370	0,342	0,331	0,315	0,332	0,302
Cr3	97-140	Ug	0,305	0,222	0,204	0,162	0,128	0,102
		Uv	0,439	0,320	0,294	0,234	0,184	0,147
Cr4	140-170	Ug	0,292	0,266	0,251	0,210	0,161	0,150
		Uv	0,451	0,411	0,387	0,324	0,249	0,231
Cr5 + intemperizado	170-201 <sup>+</sup>	Ug	0,141	0,110	0,102	0,095	0,096	0,094
		Uv	0,299	0,233	0,216	0,202	0,205	0,200
Cr5 - intemperizado	170-201 <sup>+</sup>	Ug	0,235	0,207	0,194	0,181	0,081	0,079
		Uv	0,411	0,363	0,340	0,317	0,142	0,139
<b>Perfil 4 (Gnaisse leucocrático)</b>								
A	0-18	Ug	0,443	0,278	0,266	0,252	0,130	0,125
		Uv	0,479	0,301	0,288	0,272	0,141	0,136
Bi/R	18-45	Ug	0,313	0,242	0,227	0,211	0,132	0,130
		Uv	0,415	0,321	0,300	0,280	0,174	0,172
C/Cr	45-79	Ug	0,291	0,227	0,211	0,192	0,120	0,119
		Uv	0,410	0,320	0,298	0,271	0,170	0,168
Cr1	79-140	Ug	0,253	0,204	0,189	0,172	0,010	0,088
		Uv	0,370	0,298	0,276	0,251	0,015	0,128
Cr2	140-219	Ug	0,283	0,250	0,227	0,209	0,063	0,054
		Uv	0,416	0,368	0,334	0,307	0,092	0,080
Cr3	219-282 <sup>+</sup>	Ug	0,336	0,258	0,228	0,205	0,046	0,045
		Uv	0,448	0,344	0,304	0,273	0,061	0,059

pF: logaritmo da tensão expressa em centímetros de H<sub>2</sub>O, Ug: umidade gravimétrica, Uv: umidade volumétrica.

## ANEXO E

Tabela 1E. Resistência penetração à de horizontes e camadas dos perfis 1, 2, 3 e 4

Horizontes e Camadas	Profundidade (cm)	Resistência à Penetração (MPa)*
<b>Perfil 1 (Basalto)</b>		
Ap	0-23	0,35
A/Cr	23-76	0,19
Cr1	76-120	0,11
Cr2	120-186	0,21
Cr3	186-290 <sup>+</sup>	0,22
<b>Perfil 2 (Basalto)</b>		
Ap	0-22	0,18
A/Cr	22-67	0,19
Cr1	67-105	0,19
Cr2	105-201	0,27
Cr3	201-280 <sup>+</sup>	0,22
<b>Perfil 3 (Gnaisse mesocrático)</b>		
A/Cr	0-15	0,15
Cr/A	15-33	0,26
Cr1	33-51	0,20
*Cr2/Cr2	51-97	0,30/0,34
Cr3	97-140	0,23
Cr4	140-170	0,30
**Cr5/Cr5	170-201 <sup>+</sup>	0,27/0,33
<b>Perfil 4 (Gnaisse leucocrático)</b>		
A	0-18	0,21
Bi/R	18-45	0,37
C/Cr	45-79	0,33
Cr1	79-140	0,28
Cr2	140-219	0,26
Cr3	219-282 <sup>+</sup>	0,19

\*Cr2/Cr2: Cr2 biotítico/Cr2 caulinizado.

\*\*Cr5/Cr5: Cr5 mais intemperizado/Cr5 menos intemperizado.