



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**MINERALOGIA, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO  
DE SAPROLITOS E NEOSSOLOS DERIVADOS DE  
ROCHAS VULCÂNICAS NO RIO GRANDE DO SUL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Fabrício de Araújo Pedron**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

# **MINERALOGIA, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE SAPROLITOS E NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO RIO GRANDE DO SUL**

por

**Fabrício de Araújo Pedron**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração: Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Azevedo**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2007**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**MINERALOGIA, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE SAPROLITOS  
E NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO RIO  
GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Fabício de Araújo Pedron**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Antonio Carlos de Azevedo, Dr. (ESALQ/USP)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Dr. (UFSM)**

---

**Prof. José Miguel Reichert, Dr. (UFSM)**

---

**Prof. José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Deborah Pinheiro Dick, Dr<sup>a</sup>. (UFRGS)**

Santa Maria, 17 de dezembro de 2007.

*Aos meus pais, que com amor me tornaram homem forte... e à minha esposa e filha, que iluminam minha caminhada todos os dias... **dedico esta obra.***

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Antonio Carlos de Azevedo, pela orientação neste trabalho, pela amizade, carinho e ensinamentos. Meus agradecimentos pela confiança, pelo apoio certo nas horas certas, pelo esforço valoroso em contribuir com o meu crescimento profissional e, sobretudo, humano. Pela insistência em tornar a distância entre Santa Maria e Piracicaba insignificante e, por fim, pelo empenho em orientar como um pesquisador e educador exemplar;

Ao Professor Ricardo Simão Diniz Dalmolin, pela co-orientação neste trabalho, mas, sobretudo, pela amizade e confiança nesses 6 anos de convivência;

Aos Professores membros da banca, Deborah Pinheiro Dick, José Luiz Silvério da Silva, José Miguel Reichert e Ricardo Simão Diniz Dalmolin, pela disponibilidade, dedicação e pelos esforços em contribuir com esse trabalho;

Aos professores Carlos Alberto Ceretta, José Miguel Reichert, Dalvan José Reinert e Ari Zago, pelas conversas e conselhos, pela amizade e pelo exemplo profissional a ser seguido;

Aos amigos do Setor de Pedologia: Sidinei Sturmer, Paula Correia de Medeiros, Juliana Lorensi Gonçalves, Fabio Pacheco Menezes, Jovani Zalamena, Alexandre Ten Caten, Gislaine Auzani, Vanessa Bertolazi, Pablo Miguel, Alessandro Rosa, Jessé Fink, André Dotto e Carlos Silva, pela força e companheirismo durante os trabalhos da tese;

Aos amigos Sidinei Leandro Klockner Stürmer, Miriam Fernanda Rodrigues, Juliana Lorensi Gonçalves, Paula Correa de Medeiros e Fabio Pacheco Menezes, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório e pela amizade e apoio que sempre foram importantes nesse trajeto.

Aos amigos do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, Eduardo Giroto, Diovani Monterle, Talles Tiecher, Renan Vieira, Cledimar Lourenzi, Felipe Lorenzine, pelo sempre disposto auxílio nas análises químicas;

A todos os colegas de turma, em especial a Sidinei Sturmer, Gislaine Auzani, Leonir Uhde, Luis Eduardo Suzuki, Jovani Zalamena, Cláudio Fioreze, Elisandra Pocojeski, Eduardo Giroto, Douglas Kaiser, Tatiana Fiorin e Gustavo Brunetto, pelas alegrias e pelo companheirismo dividido neste período;

Aos funcionários Flávio Vieira da Silva, Luiz Francisco Finamor, Paulo Giacomini, Tarcísio Uberti e Gladis Uberti, do Departamento de Solos da UFSM, e Maria Elisabete Guimarães e Sérgio Luiz de Jesus, da ESALQ/USP, pelo convívio e pelos auxílios inestimáveis na condução dos trabalhos de doutoramento;

À família Pacheco Menezes, especialmente a Neusa Maria Pacheco Menezes, Josias Menezes e Fabio Pacheco Menezes, pelo carinho, amizade e auxílio em todas as horas, fundamentais à minha vida profissional;

À minha vó Elaine Saenger de Araújo, ao meu vô Fernando Lemos Araújo e aos meus tios Paulo Fernando Araújo e Maristela Pozzobom, pelo amor, carinho e apoio incondicional em todas as horas;

Aos meus irmãos Fernanda, Fábio e Flávia, meu pai Aldo Pedron e minha mãe Ceres Helena de Araújo Pedron, pelo amor que me faz forte a cada dia;

À minha esposa Josiane Pacheco Menezes e filha Gabrielli Menezes Pedron, pelo carinho, força, dedicação, alegrias e pelo nosso grande amor.

*“A todos os amigos que de qualquer forma contribuíram na realização deste trabalho e aqueles que todos os dias contribuem na minha caminhada tornando-me uma pessoa melhor... **eu agradeço**”.*

***“Conhece teu inimigo e conhece-te a ti mesmo; se tiveres cem batalhas a travar, cem vezes serás vitorioso.***

***Se ignoras teu inimigo e conheces a ti mesmo, tuas chances de perder e de ganhar serão idênticas.***

***Se ignorares ao mesmo tempo teu inimigo e a ti mesmo, só contarás teus combates por tuas derrotas.”***

***Sun Tzu - a arte da guerra***



## **RESUMO**

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MINERALOGIA, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE SAPROLITOS E NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: Fabrício de Araújo Pedron

Orientador: Antonio Carlos de Azevedo

Data e local da defesa: Santa Maria, 17 de dezembro de 2007.

Os Neossolos Litólicos e Regolíticos compreendem pelo menos 15% da área do Rio Grande do Sul (RS). Esses solos têm sido classificados como materiais de baixo potencial de uso geral, ao mesmo tempo em que têm sido inadequadamente descritos no campo, devido à dificuldade em se interpretar os contatos solo-saprolito-rocha. Além disso, as classes dos Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), são consideradas as que mais necessitam de aprimoramentos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar diferentes perfis de Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, dispostos em uma litoclimosequência no RS. O trabalho foi dividido em três linhas de investigação: a) caracterização química e mineralógica de Neossolos e saprolitos; b) contribuições à análise morfológica de Neossolos e saprolitos; c) contribuições à classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos. Os resultados permitiram verificar que as características químicas e mineralógicas e, conseqüentemente, o grau de intemperismo dos perfis são afetados pelas condições climáticas e geológicas locais. Foram encontrados, através de análise morfológica no campo, diferentes contatos solo-saprolito, os quais não apresentam correspondência no SiBCS. Nesse caso, propostas à classificação taxonômica de Neossolos derivados de rochas vulcânicas no RS foram sugeridas, visando contribuir para a evolução do SiBCS.

Palavras-chave: Mineralogia de solos, gênese de solos, morfologia de solos, Classificação de solos, Neossolos, saprolitos, pedologia.

## **ABSTRACT**

Thesis of Doctor's degree  
Soil Science Graduate Program  
Federal University of Santa Maria

### **MINERALOGY, MORPHOLOGY AND CLASSIFICATION OF LEPTOSOLS/REGOSOLS AND SAPROLITES DERIVED FROM VOLCANIC ROCKS IN THE RIO GRANDE DO SUL STATE**

Author: Fabrício de Araújo Pedron  
Advisor: Antonio Carlos de Azevedo

Date and Place of Defense: Santa Maria, December 17<sup>th</sup>, 2007.

The Neossolos Litólicos and Regolíticos (Leptosols and Regosols) cover at least 15% of the Rio Grande do Sul state (RS) area. Those soils have been classified as low potential soils for general use, and also have been inadequately described in the field, due to difficulties in interpreting soil-saprolite-rock contacts. Besides, the classes of Neossolos, in the Brazilian Soil Classification System (SiBCS), are those needing improvements. The aim of this research was to analyze different profiles of Neossolos derived from volcanic rocks of the Serra Geral formation, disposed in a lito-climosequence in the RS. The research was separated into three investigation lines: a) chemical and mineralogical characterization of soil and saprolite profile; b) contributions to the morphologic analysis of Neossolos, including their saprolites; c) contributions to the taxonomic classification of Neossolo regolith. The results allowed verifying that the chemical and mineralogical characteristics and, consequently, the degree of weathering of the profiles are affected by the local climatic and geological conditions. Contacts of soil-saprolite, different from those found in the SiBCS, were identified in the field, through morphologic analysis. Thus, suggestions for the taxonomic classification of Neossolos derived from volcanic rocks in the RS were presented, seeking to contribute with the improvement of SiBCS.

Key-words: Soil mineralogy, pedogenesis, soil morphology, soil classification, Leptosols and Regosols, saprolites, pedology.

# SUMÁRIO

Capítulo 1. Revisão de literatura

<b>a. Intemperismo e evolução mineralógica de rocha-saprolito-solo na borda meridional da Bacia do Paraná .....</b>	<b>12</b>
<b>b. Morfologia e classificação de Neossolos Litólicos e Regolíticos .....</b>	<b>31</b>

Capítulo 2. Material e Métodos

## **Ambiência dos pontos amostrais e procedimentos analíticos**

2.1. Localização e caracterização ambiental dos pontos amostrais .....	41
2.2. Coleta e preparo das amostras .....	43
2.3. Análises físicas .....	44
2.4. Análises químicas .....	47
2.5. Análises mineralógicas .....	49
2.6. Análises morfológicas .....	51

Capítulo 3. Estudo 1

## **Caracterização química e mineralógica de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**

3.1. Introdução .....	59
3.2. Resultados e discussão .....	60
3.3. Considerações finais .....	94

Capítulo 4. Estudo 2

## **Contribuições à análise morfológica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**

4.1. Introdução .....	97
4.2. Resultados e discussão .....	98
4.3. Considerações finais .....	112

Capítulo 5. Estudo 3

## **Contribuições à classificação taxonômica de saprolitos e Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**

5.1. Introdução .....	115
5.2. Resultados e discussão .....	117
5.3. Considerações finais .....	125

<b>6. Bibliografia citada .....</b>	<b>127</b>
-------------------------------------	------------

**Apêndices**

1. Descrição morfológica dos perfis .....	142
2. Classes de intemperismo .....	149
3. Classes de resistência à escavação .....	150
4. Fotos dos perfis e paisagens .....	151

**Capítulo 1-a**

**INTEMPERISMO E EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DE ROCHA –  
SAPROLITO – SOLO NA BORDA MERIDIONAL DA BACIA DO  
PARANÁ**

**Revisão de literatura**

## Rochas ígneas extrusivas

As rochas ígneas ou magmáticas, extrusivas ou vulcânicas são materiais formados pelo extravasamento do magma na superfície do planeta. O termo ígneo remete à formação desses materiais geológicos em grandes profundidades do planeta e sob altas temperaturas. Parte desse material extravasa na superfície e sofre um rápido resfriamento, dando origem às rochas extrusivas de textura afanítica. O termo afanítico está relacionado com a granulação fina dos minerais que compõem a rocha, sendo pouco perceptíveis o olho nu (Leinz & Amaral, 1978; Teixeira et al., 2001; Popp, 2002).

O magma, material fundido de consistência pastosa que dá origem às rochas através do seu resfriamento e solidificação, possui diferentes composições químicas devido à sua origem e sua evolução até o local de resfriamento. A composição do magma é caracterizada pelos constituintes voláteis, líquidos e sólidos. Essa diversidade de material promove a formação de rochas ácidas, como os riólitos e dacitos e rochas básicas, como o basalto (Teixeira et al., 2001).

Como características gerais, o basalto é uma rocha ígnea extrusiva básica devido aos baixos teores relativos de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) presentes no material, inferiores a 52%. Pode apresentar estrutura vesicular, amigdaloidal, compacta, fluidal, etc., textura afanítica e coloração escura (minerais máficos). O dacito é uma rocha ígnea extrusiva ácida devido aos elevados teores de  $\text{SiO}_2$  (> 65%), possuindo predomínio de textura afanítica e coloração que vai do cinza médio ao escuro, embora predominem minerais félsicos. O riólito é uma rocha ígnea extrusiva, também ácida, com textura afanítica e coloração geralmente mais clara (minerais félsicos).

A composição química de cada rocha está relacionada com a composição química do magma e o ambiente de formação do material geológico. O ambiente de resfriamento do magma associado à sua composição química determina o tipo de rocha a ser formada. Na Figura 1.1, pode-se observar a série de reação de Bowen, onde diferentes minerais são formados durante o resfriamento do magma, conforme a disponibilidade de elementos químicos no meio.

As séries de reação de Bowen mostram a seqüência de cristalização dos minerais que formam as rochas ígneas. Observa-se que magmas que apresentam composição básica formam rochas com predomínio de minerais como a olivina, piroxênios, anfibólios e plagioclásios cálcicos, ao passo que magmas ácidos geram

rochas com maior quantidade de feldspatos potássicos, micas (muscovita) e quartzo. A seqüência de cristalização de Bowen permite estabelecer normas de coexistência paragenética, isto é, aqueles minerais que podem ocorrer associados numa mesma rocha.

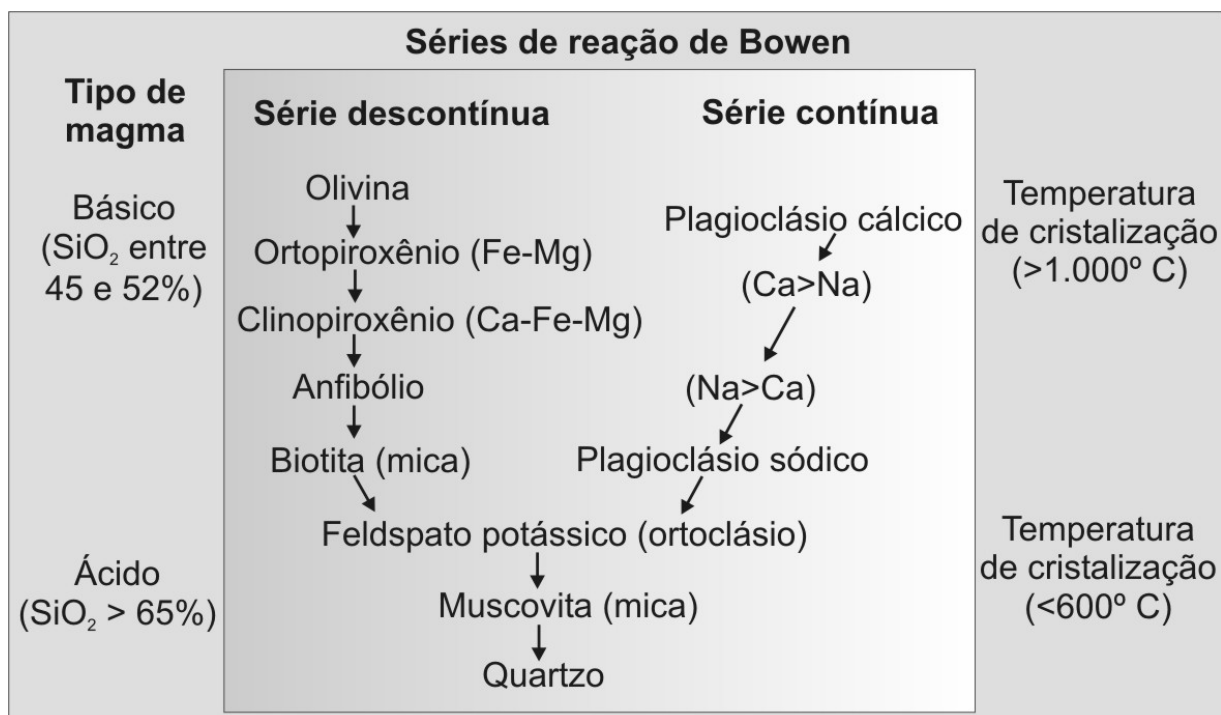


Figura 1.1. Séries de reação de Bowen (adaptado de Teixeira et al., 2001).

Considerando ainda a série de Bowen, verifica-se que o basalto é uma rocha formada por um magma mais rico em minerais ferro-magnesianos e menos rico em sílica quando comparado ao magma que forma as rochas riódacito e riólito. Os resultados dessa composição litogênica podem ser observados na Tabela 1.1, onde são mostrados dados químicos totais para algumas rochas conhecidas encontradas no Rio Grande do Sul (RS).

Comparando-se rochas básicas com ácidas (Tabela 1.1), observa-se a maior concentração de sílica nos materiais ácidos, enquanto nos básicos encontram-se teores mais elevados, principalmente, de Fe, Ca e Mg. Teores mais elevados de K são encontrados nos riólitos devido à maior presença de feldspato potássico. A composição química do magma afeta a formação dos minerais que compõem a rocha e, conseqüentemente, suas características químicas e físicas.

Tabela 1.1. Dados químicos totais para diferentes rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, encontradas no Estado do Rio Grande do Sul.

Elementos (óxidos) %	Básica <sup>(1)</sup>	Básica <sup>(1)</sup>	Básica <sup>(1)</sup>	Ácida <sup>(1)</sup>	Ácida <sup>(2)</sup>
SiO <sub>2</sub>	55,72	54,48	51,75	67,39	64,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,01	14,34	16,00	11,68	14,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,18	9,39	8,89	4,28	5,63
MnO	0,25	0,31	0,16	0,06	0,12
CaO	5,68	5,71	6,92	2,29	2,34
Na <sub>2</sub> O	2,20	2,33	2,97	2,93	2,75
K <sub>2</sub> O	3,01	3,32	2,79	6,24	3,52
TiO <sub>2</sub>	0,34	0,38	0,42	0,10	3,02
MgO	2,69	2,37	2,94	0,61	1,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	1,01	1,03	0,07	0,30

1. Rochas da região de Santa Maria, RS (Sartori et al., 1975);

2. Rochas da região de Campestre da Serra, RS. Clemente (2001);

A composição química das rochas tem reflexo na composição química dos solos formados pelo seu intemperismo. Solos originados pela alteração de basaltos tendem a apresentar fertilidade natural mais alta devido à maior concentração de bases trocáveis como Ca e Mg. A fertilidade é um dos itens responsáveis pela qualidade dos solos e, conseqüentemente, pelo seu potencial de uso. Entretanto, é importante ressaltar que o material de origem é apenas um dos fatores de formação dos solos, os quais são resultados da atuação dinâmica de todos os fatores (Jenny, 1941).

### **Vulcanismo no Rio Grande do Sul e a Formação Serra Geral**

A evolução geológica do Estado do Rio Grande do Sul (RS) é descrita de forma clara na obra de Holz (1999). A conformação geológica do RS é resultante dos diversos processos ocorrentes nas diferentes eras e períodos geológicos, dentre os quais destacam-se: a dinâmica de movimentação de placas tectônicas, transgressões e regressões marinhas, os paleoclimas e as extrusões de lavas vulcânicas.

As rochas ígneas extrusivas ou vulcânicas apareceram na superfície no RS na era Mesozóica, mais especificamente, no período Jurássico, há aproximadamente 190 milhões de anos atrás. O período Jurássico caracterizou-se pelo clima árido, formando um extenso deserto, chamado de Botucatu, assentado sobre a área conhecida como Bacia do Paraná, recobrimdo grande parte do RS. Os



derramamentos vulcânicos por fissuramentos recobriram totalmente o deserto de Botucatu. Esses eventos ocorreram paralelamente ao início da divisão do super continente Pangea nos atuais continentes através dos movimentos das placas tectônicas (Holz, 1999).

No RS, a cobertura vulcânica predomina em toda a metade norte do Estado e parte do sudoeste, constituindo parte da Formação Serra Geral e formando o Planalto Sul Riograndense. Esses derramamentos são também conhecidos como Trapp do Paraná e Província Magmática do Brasil meridional (Brasil, 1973).

As rochas efusivas da Bacia do Paraná (Figura 1.2) representam a maior manifestação de vulcanismo conhecida no planeta, cobrindo cerca de 1 milhão de km<sup>2</sup>, e um volume total de aproximadamente 650.000 km<sup>3</sup>. Foram derrames sucessivos de lavas que próximo ao município de Torres, RS, atingem mais de 1000 metros de espessura (Leinz & Amaral, 1978).

A designação de Formação Serra Geral refere-se à província magmática relacionada aos derrames que recobrem a Bacia do Paraná. A província abrange toda a região centro-sul do Brasil e estende-se ao longo das fronteiras do Paraguai, Uruguai e Argentina, onde são chamadas de “lavas Arapey”.

A Formação Serra Geral é composta por rochas vulcânicas básicas e ácidas. Até o fim da década de 70, apenas as rochas básicas haviam sido mapeadas, mesmo Schneider (1964 apud Menegotto et al., 1968) tendo já apresentado evidências da presença de materiais ácidos. As rochas ácidas também já haviam sido encontradas na região central do Estado, no município de Santa Maria (Sartori et al., 1975; Sartori & Gomes, 1980). Conforme dados de Roisenberg & Vieiro (2000), a Formação Serra Geral apresenta 150 mil km<sup>2</sup> cobertos por rochas efusivas ácidas e 1 milhão de km<sup>2</sup> cobertos por rochas básicas.

O Projeto Radam-Brasil (IBGE, 1986), mais especificamente o relatório de geologia do estado do RS, finalizado no ano de 1983, apresenta o mapeamento dos derramamentos básicos e ácidos no Estado. Em geral, há predomínio de basalto, com alguns derrames intermediários de material ácido, os quais ocorrem nas porções mais altas da Formação, recobrendo as rochas básicas. Conforme IBGE (1986), as áreas recobertas por rochas efusivas ácidas como os dacitos e riodacitos félsicos, estendem-se desde a porção Nordeste do Estado (municípios de Bom Jesus, Vacaria e Caxias do Sul), até a centro-oeste, nas proximidades do município

de Santiago. Os derrames da Formação Serra Geral, no RS, encontram-se em cotas que vão de 80 metros até 1100 metros de altitude.



Figura 1.2. Localização da porção brasileira da Bacia do Paraná (adaptado de Leinz & Amaral, 1978).

### **Mineralogia das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral**

No RS predominam basaltos com coloração escura devido à granulação fina e presença de minerais ferromagnesianos, opacos e vidros nessa rocha. São predominantemente afaníticos e apresentam estrutura vesículo-amigdaloidal freqüente, com capas de alteração limonítica (IBGE, 1986). Os basaltos são constituídos principalmente por plagioclásios e piroxênios. Os plagioclásios são labradorita, que por vezes alteram-se para micas (sericita) e epídoto. Os piroxênios são da variedade augita e pigeonita que podem apresentar pequenas coroas de reações para anfibólios do tipo hornblenda, alterando-se para silicatos do tipo clorita.

São comuns nos basaltos do RS, agregados intersticiais formados por quartzo, calcedônia, plagioclásios sódicos, feldspatos potássicos e clorita. Também ocorrem amígdalas preenchidas com carbonatos, zeólitas, quartzo, calcedônia e minerais argilosos de coloração esverdeada. Pode ocorrer raramente biotita e os

minerais acessórios são apatita, opacos (magnetita e ilmenita) e zircão (IBGE, 1986).

Análise efetuada por Corrêa (2003), sobre a mineralogia de basaltos, ao sul e oeste do Estado de Santa Catarina, através de difratometria de raios X (DRX), sugere que os basaltos apresentam piroxênios do tipo pigeonita e augita, plagioclásios com composição que variam de albita (sódica) a anortita (cálcica) e quartzo.

Os dacitos e riódacitos félsicos encontrados no Estado do RS apresentam coloração do tipo cinza-amarronzada e, quando intemperizados, apresentam pontilhados marrom-claro. As amígdalas são escassas e, quando presentes, são preenchidas por quartzo, calcedônias, zeólitas ou calcitas. São as rochas mais abundantes da seqüência ácida, apresentando-se afaníticas, com cerrado diaclasamento horizontal e vertical (IBGE, 1986).

Sua mineralogia é constituída por cristais de plagioclásios e raros máficos, com espaços intersticiais entre esses minerais preenchidos por quartzo e feldspatos, compondo um intercrescimento felsítico. Os plagioclásios apresentam composição da andesina. Os piroxênios são pouco freqüentes, já alterados para hornblenda ou clorita. Os minerais que compõem o intercrescimento felsítico foram identificados por Sartori & Gomes (1980) como andesina, sanidina e quartzo. As rochas com composição de riódacito apresentam maior intercrescimento felsítico que os dacitos (IBGE, 1986).

Análise petrológica de riódacitos no Estado do Paraná e São Paulo, realizadas por Raposo (1987) apud Truffi & Clemente (2002), confirma a predominância de plagioclásio e outros minerais como piroxênios, opacos e apatita. A matriz é constituída pelos mesmos minerais supracitados, mais quartzo, feldspato alcalino (ortoclásio) e material vítreo. Os clinopiroxênios foram identificados como augita e pigeonita. Estudos de Truffi & Clemente (2002) identificaram os fenocristais de plagioclásios como sendo anortita e albita. A matriz do riódacito corresponde, na avaliação desses autores, a 80-85 % do material, ocorrendo, eventualmente, amígdalas preenchidas por zeólitas. O resumo dos minerais encontrados nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral é apresentado na Tabela 1.2.

Tabela 1.2. Resumo dos minerais identificados em amostras de rochas da Formação Serra Geral.

<b>Grupos</b>	<b>Minerais</b>	<b>Rochas</b>	<b>Fontes</b>
plagioclásios	albita	basalto, riodacito	Truffi & Clemente (2002), Correa (2003)
	oligoclásio	basalto, riólito	IBGE (1986), Correa (2003)
	andesina	basalto, dacito, riodacito, riólito	IBGE (1986), Correa (2003)
	labradorita	basalto	IBGE (1986), Correa (2003)
	bytownita	basalto	Correa (2003)
	anortita	basalto, riodacito	Truffi & Clemente (2002), Correa (2003)
micas	biotita	basalto	IBGE (1986)
	sericita	basalto	IBGE (1986)
piroxênios	augita	basalto, riodacito, riólito	IBGE (1986), Truffi & Clemente (2002), Correa (2003)
	pigeonita	basalto, riodacito, riólito	IBGE (1986), Truffi & Clemente (2002), Correa (2003)
opacos (óxidos)	magnetita	basalto, riodacito, riólito	IBGE (1986), Truffi & Clemente (2002)
	ilmenita	basalto, riodacito, riólito	IBGE (1986), Truffi & Clemente (2002)
fosfatos	apatita	basalto, riodacito	IBGE (1986), Truffi & Clemente (2002)
anfíbólios	hornblenda	basalto, dacito, riodacito, riólito	IBGE (1986)
clorita	-	basalto	IBGE (1986)
sílica	quartzo	basalto, dacito, riodacito, riólito	IBGE (1986), Truffi & Clemente (2002), Correa (2003)
	calcedônia	basalto, dacito, riodacito	IBGE (1986)
	cristobalita	riólito	Clemente (2001)
zeólita	-	basalto, dacito, riodacito	IBGE (1986)
zircão	-	basalto	IBGE (1986)
epidoto	-	basalto	IBGE (1986)
feldspatos-K	sanidina	basalto, dacito, riodacito, riólito	IBGE (1986)
carbonatos	calcita	basalto, dacito, riodacito	IBGE (1986)

Os riólitos felsíticos são rochas parecidas com os dacitos felsíticos, com textura afanítica e mineralogia composta por plagioclásio (andesina-oligoclásio), feldspato alcalino (sanidina sódica) e quartzo, responsáveis pelo intercrescimento felsítico. Outros cristais como opacos, hornblenda e augita-pigeonita raramente ocorrem dispersos na rocha (IBGE, 1986). Clemente (2001), estudando riólitos no

município de Campestre da Serra, RS, identificou a presença de cristobalita, tanto como revestimentos de cavidades, quanto na massa da matriz fina. Análises efetuadas pelo mesmo autor, em rocha riolítica e seus saprolitos, no município de Caxias do Sul, RS, por microscopia eletrônica de varredura (MEV) indicaram a coexistência dos plagioclásios, piroxênios e minerais opacos numa rocha de textura fina e matriz vítrea.

### **Intemperismo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral**

Em relação aos produtos do intemperismo das rochas ígneas vulcânicas, Clemente (1988) analisou saprolitos de riolitos da Formação Serra Geral, no Estado do Paraná. A análise mineralógica permitiu ao autor propor diferentes rotas de alteração dos minerais, tais como: plagioclásio altera-se para gibbsita, para geles e então para gibbsita, e para geles mais gibbsita e caulinita. O piroxênio altera-se para esmectita e goethita ou para goethita e gibbsita. A magnetita altera-se diretamente para óxidos de ferro (hematita e goethita), enquanto a matriz da rocha intemperiza-se para gibbsita e principalmente para a caulinita.

Embora os dados de Clemente (1988) apontem para a formação predominante de gibbsita a partir dos plagioclásios, o autor ressalta que a rocha estudada apresentou somente 5 a 10% de fenocristais, explicando porque o mineral predominante nos solos é a caulinita. De acordo com o mesmo autor, a alteração dos minerais das rochas ácidas coincide com a alteração das rochas vulcânicas básicas. Numa sucessão de fases, em ordem crescente de estabilidade, tem-se: olivina < plagioclásio < piroxênio < magnetita < feldspato alcalino < quartzo.

Estudos sobre a alteração de plagioclásios em riolitos, realizados por Truffi & Clemente (2002), apontam para uma alteração uniforme, onde as primeiras manifestações consistem em microfraturas que não seguem os planos de clivagem. Em casos de intemperismo ameno, ocorre transformação para caulinita e posteriormente a haloisita. Em condição de intemperismo mais intenso, as perdas mais severas de Si permitem a alteração direta de plagioclásio para gibbsita.

Os produtos de intemperismo de riólito no Estado do RS foram identificados por Clemente (2001), em perfil localizado a 85 km do município de Caxias do Sul em direção ao município de Vacaria, como sendo a caulinita o mineral dominante, seguida pela presença de cristobalita, quartzo e interestratificado illita-montmorilonita

e a possível presença de quartzo secundário ou em vias de cristalização. Análises por MEV revelaram que a matriz silicatada, aparentemente amorfa, evolui para microcristais de caulinita nos horizontes do solo, tornando-se mais caulínica conforme se aproxima da superfície.

Já em perfil encontrado no município de Caxias do Sul, Clemente (2001) identificou como produtos do intemperismo da rocha riolítica os plagioclásios, piroxênios, óxido e óxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita), com suspeitas da presença de cristobalita. Os piroxênios intemperizam-se fornecendo ferro para os horizontes de alteração. A natureza caulínica do material de alteração pôde ser identificada pelos cristais placóides com tendência hexagonal de tamanho menor e próximo de 2  $\mu\text{m}$ . Ainda foram observadas a ocorrência de quartzo secundário, interestratificado illita/vermiculita e illita.

Observações efetuadas por Clemente (2001), através da MEV e DRX, trazem evidências de que a evolução mineralógica da matriz da rocha é distinta dos microfenocristais. Os microfenocristais de plagioclásios alteram-se para illita, 2:1 em vias de alteração para caulinita. Análise na superfície da matriz da rocha identificou, nos pontos de alteração, a presença de caulinita, illita, cristobalita e quartzo.

Estudos de alteração de rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral foram efetuados por Menegotto & Gasparetto (1987) na região do município de Santa Maria, RS. Esses autores observaram que a alteração desenvolve-se de uma forma concêntrica e outra em perfis verticais. A alteração concêntrica ocorre nas rochas básicas e ácidas, sendo condicionada à existência de uma estrutura maciça, com pouco diaclasamento. A alteração vertical ocorre onde a rocha apresenta intenso diaclasamento ou intensa estrutura vesicular.

Os mesmos autores notaram a alteração intempérica dos minerais, na seguinte ordem crescente de estabilidade: carbonato = piroxênio = vidro < plagioclásio < feldspato alcalino < magnetita < quartzo. Entre os principais produtos de alteração do basalto destacam-se a esmectita, os geles amorfos e subordinadamente, a goethita. Entre as rochas vulcânicas ácidas, a alteração do vitrófiro originou esmectita em elevada proporção, enquanto o riólito formou geles amorfos, caulinita, illita e menores proporções de esmectita (Menegotto & Gasparetto, 1987).

Corrêa (2003) analisou a mineralogia de saprolitos de basaltos ao sul e oeste do Estado de Santa Catarina. O autor verificou que as amostras são constituídas

essencialmente de caulinita, óxidos de ferro como a maghemita, a goethita e a hematita. Também foram encontrados indícios de pequena quantidade de minerais primários como os plagioclásios, piroxênios e quartzos. Tal quantidade de minerais primários indica uma rápida transformação desses para minerais secundários do tipo 1:1. Devido ao ambiente de alta lixiviação de Si, os argilominerais do tipo 2:1 formados apresentam lâminas de hidróxi-alumínio entre camadas. O resumo dos minerais de alteração identificados em amostras de saprolitos da Formação Serra Geral é apresentado na Tabela 1.3.

Tabela 1.3. Resumo dos minerais de alteração identificados em amostras de saprolitos da Formação Serra Geral.

<b>Grupos</b>	<b>Minerais</b>	<b>Rochas</b>	<b>Fontes</b>
silicatos	ilita	basalto	Clemente (2001)
	hornblenda	basalto, dacito, riodacito, riólito	IBGE (1986)
	clorita	basalto	IBGE (1986)
	caulinita	riodacito	Clemente (1988), Clemente & Azevedo (2007)
	haloisita	basalto, riólito, riodacito	Kämpf et al. (1995b), Kämpf (1995), Truffi & Clemente (2002), Clemente (1988), Kämpf et al. (1995b), Clemente (2001), Clemente & Azevedo (2007)
	esmectita	basalto, riodacito, riólito	Clemente (2001), Clemente & Azevedo (2007)
	vermiculita	riólito	Clemente (2001)
óxidos	gibbsita	riodacito	Clemente (1988), Clemente & Azevedo (2007)
	goethita	basalto, riodacito	Clemente (1988), Kämpf et al. (1995b), Correa (2003), Clemente & Azevedo (2007)
	hematita	basalto, riodacito	Clemente (1988), Correa (2003), Clemente & Azevedo (2007)
	maghemita	basalto	Correa (2003)

Todos os estudos supracitados no texto foram realizados em ambientes onde houve formação de horizonte pedogenético B. Nesses casos, a frente de intemperismo encontra-se em maior profundidade, e a velocidade de intemperismo imposta pelas condições ambientais é maior que aquela ocorrida em ambientes onde se desenvolvem os solos rasos como os Neossolos. Sendo assim, as rotas de intemperismo desse último caso podem ser diferentes. Conhecer essa dinâmica de alteração é fundamental para o entendimento da gênese dos Neossolos.

### **Regiões fisiográficas do RS: aspectos pedogenéticos**

A composição mineralógica de um solo é resultado dos fatores e processos pedogenéticos atuantes (Jenny, 1941; Fanning & Fanning, 1989; Buol et al., 1997; Breeemen & Buurman, 2002). Sendo assim, cabe descrever alguns aspectos importantes relativos às diferentes regiões fisiográficas que compõem o Estado do RS. Dividido em cinco grandes regiões: Campanha, Planalto Meridional, Depressão Central, Escudo e Litoral (Figura 1.3), o Estado apresenta ambientes que promovem diferentes processos pedogenéticos (Brasil, 1973; Streck et al., 2002).

Conforme pode ser visualizado na Figura 1.4, na climosseqüência no Estado do RS, no sentido leste – oeste ocorre variações na precipitação média anual, temperatura média anual e radiação solar associada à evaporação. Essas variações estão associadas com a variação de altitude, que vai desde aproximadamente 80 m, na Fronteira Oeste, até 1100 m nos Campos de Cima da Serra, a Leste. Estudos sobre a mineralogia e matéria orgânica de Latossolos encontrados nessa climosseqüência foram realizados por Kämpf & Schwertmann (1983) e Dalmolin et al. (2006).

Nessas condições ambientais caracterizam-se as regiões da Campanha e parte do Planalto Meridional (Fronteira Sudoeste) pela menor altitude, menor precipitação (Figura 1.5) e maior radiação e evaporação, resultando em uma menor umidade residual – precipitação-evapotranspiração (P-EVT) – no solo quando comparado com as regiões do Planalto Médio e Campos de Cima da Serra (Brasil, 1973).



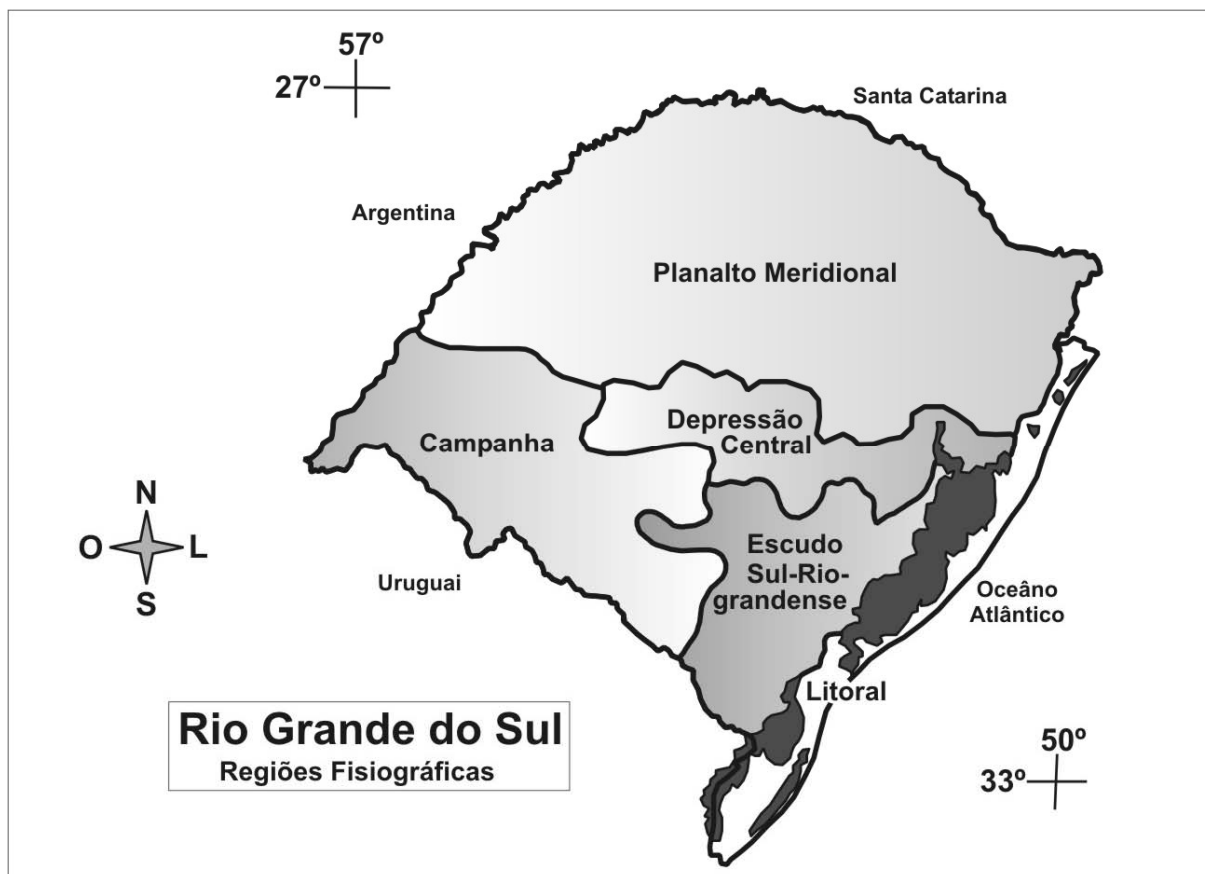


Figura 1.3. Representação do Rio Grande do Sul e suas principais regiões fisiográficas (adaptado de Brasil, 1973).

A umidade residual é fundamental para a promoção do intemperismo e transformação dos minerais primários em secundários. As condições de umidade, juntamente com a temperatura, afetam a estabilidade de alguns minerais e da matéria orgânica do solo. Da mesma forma, a matéria orgânica interfere na estabilidade dos minerais do solo (Kämpf & Schwertmann, 1983).

Conforme análises de Clemente (2001), em perfis derivados de riolitos na região de Caxias do Sul, RS, os ambientes geoquímicos sugeridos são o de monossilatização e o de bissiliatização, com predominância do primeiro uma vez que as manifestações de ocorrência de caulinitas tornam-se mais intensas do que as cristobalitas ou minerais de argila 2:1.

Estudos efetuados por Menegotto & Gasparetto (1987) na região de Santa Maria, RS, em perfis derivados de rochas efusivas básicas e ácidas, sugerem que o processo intempérico principal que ocorre na área é a bissiliatização. Entretanto, a formação da caulinita a partir do feldspato alcalino sugere também o processo

monossilítico parcial. Os dados mostram que, em termos de velocidade de lixiviação, as condições estão próximas ao limite entre os dois processos.

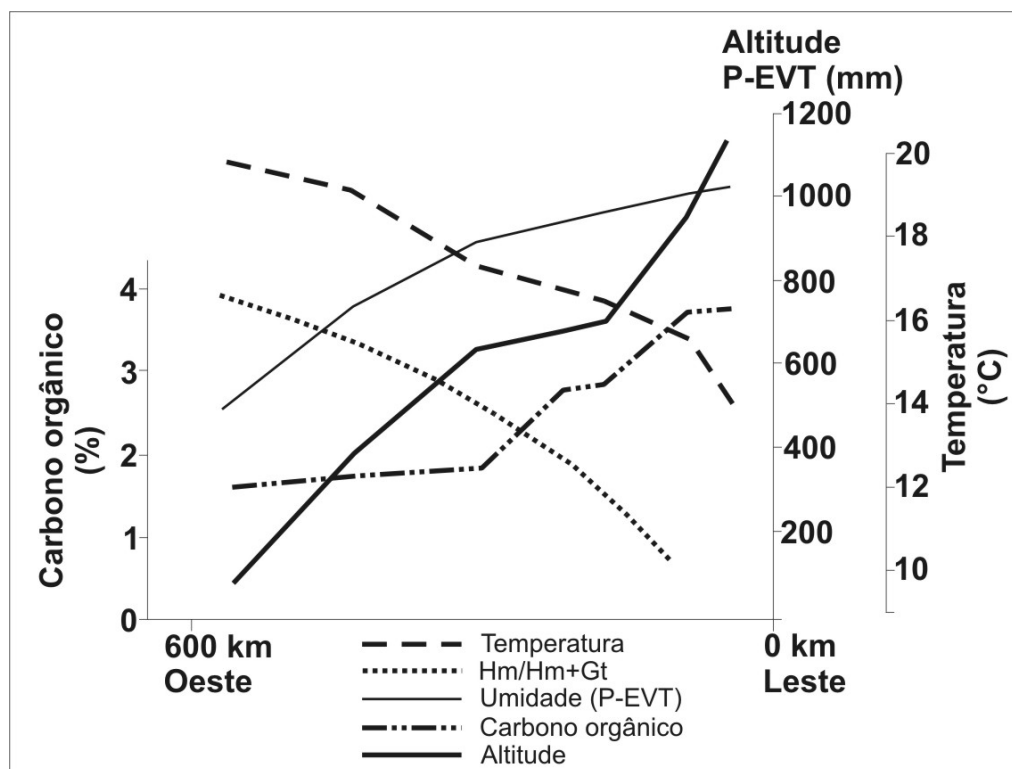


Figura 1.4. Variação do carbono orgânico, umidade e relação Hm/Hm+Gt em uma climosseqüência no Planalto do RS (adaptado de Kämpf & Schwertmann, 1983). Hm: hematita; Gt: goethita; P: precipitação; EVT: evapotranspiração.

Fica então evidente a influência do clima quando se considera os trabalhos publicados sobre a gênese e mineralogia dos solos gaúchos. Percebe-se que a Oeste, próximo aos municípios de São Borja, Itaqui e Uruguaiana, predominam os processos de bissialitização. Conforme se avança em direção a Leste, no centro do Estado, próximo ao município de Santa Maria, os processos de bissialitização e monossilitização encontram-se nos seus limites. A partir de Santa Maria, em direção a Nordeste, para os municípios de Caxias do Sul, Vacaria e Bom Jesus, predominariam os processos de monossilitização.

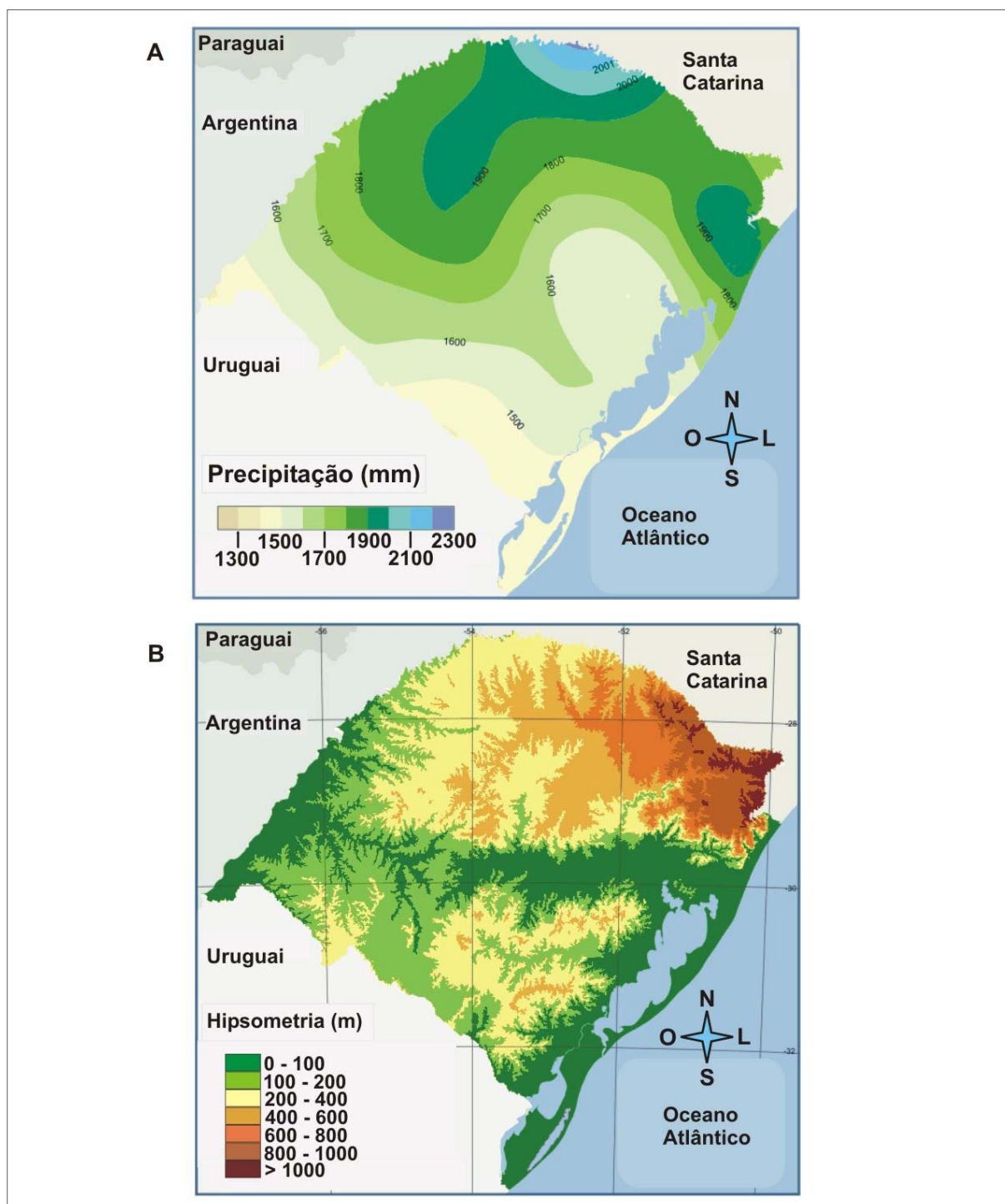


Figura 1.4. Distribuição pluvial (A) e altimetria (B) do RS (adaptado do Atlas socioeconômico do RS, disponível online: <http://www.scp.rs.gov.br>).

### Mineralogia dos solos gaúchos

Em relação à mineralogia dos solos gaúchos, existem alguns trabalhos publicados com análises mineralógicas, muitos dos quais tratam sobre Latossolos Vermelhos e Brunos e Cambissolos Húmicos do Planalto Médio e Campos de Cima

da Serra (Potter & Kämpf, 1981; Kämpf & Dick, 1984; Ker & Resende, 1990; Kämpf, 1995; Azevedo et al., 1996). Estes solos têm recebido atenção dos pesquisadores pelo seu interesse agrícola, no caso dos Latossolos, e por encontrarem-se em uma das regiões mais frias do Brasil, a qual apresenta particularidades em relação as demais, no caso dos Cambissolos.

Na região da Campanha Gaúcha, onde ocorrem Vertissolos, Chernossolos e Neossolos, poucos trabalhos sobre mineralogia são encontrados. Kämpf et al. (1995b), estudando uma seqüência de solos nessa região, citam que nos saprolitos de Vertissolos, localizados na planície, foram encontrados haloisita, esmectita, goethita, óxidos de manganês, plagioclásios (labradorita e bitownita), anfibólios (hornblenda), zeólitas (clinoptilolita) e ainda piroxênios (pigeonita). Na fração areia e silte de Vertissolos e Neossolos, foram identificados os mesmos plagioclásios, anfibólios e piroxênio e zeólitas dos saprolitos, mais quartzo e esmectita.

Na fração argila, Kämpf et al. (1995b) observaram, em Neossolos, a predominância de interestratificado caulinita-esmectita, e nos Vertissolos, de esmectita. Sendo o quartzo e plagioclásios minerais comuns em ambos os solos e as zeólitas nos Vertissolos. A presença de minerais primários nos solos confirma o ambiente de baixo grau de intemperismo. Foi identificado, principalmente nos Neossolos, um bloqueio parcial na capacidade de expansão das esmectitas, indicando a formação de esmectitas com hidróxi-Al entrecamadas (EHE). As esmectitas foram identificadas como intermediárias entre montmorilonitas e beidelitas. O aumento do fluxo lixiviante, nas cotas mais altas, onde ocorrem os Neossolos, favorece a transformação de esmectita em interestratificado caulinita-esmectita com ou sem hidróxi-Al entrecamadas e óxidos de ferro, enquanto a haloisita se transforma em caulinita.

A presença de haloisita também foi identificada por Kämpf (1995), em saprolitos de rochas de basalto e riolito, tanto na Região da Campanha quanto na Região dos Campos de Cima da Serra. Devido às condições de campo, armazenamento inadequado e alguns pré-tratamentos, os quais promovem a desidratação da haloisita, parte desses minerais estava sendo identificada como caulinita desordenada. No caso dos saprolitos de riolitos nos Campos de Cima da Serra, pode haver haloisitas desenvolvidas a partir de zeólita. Já na Campanha, pode haver haloisitas interestratificada com esmectitas desenvolvidas a partir de rochas basálticas.

Em saprolitos derivados de basaltos da Formação Serra Geral, Kämpf & Schwertmann (1995) encontraram gibbsita, caulinita e haloisita, cristobalita e óxidos de ferro como a goethita, magnetita e hematita. Nos saprolitos de riolitos da mesma Formação foram observadas caulinita desordenada associada à haloisita, cristobalita, gibbsita, quartzo, goethita e lepidocrocita. Cabe ressaltar que os basaltos estão, na maioria, sob Latossolos no Planalto Médio e Campos de Cima da Serra, enquanto os riolitos estão sob Cambissolos Húmicos nos Campos de Cima da Serra.

Estudo de Potter & Kämpf (1981), realizado na região dos Campos de Cima da Serra, analisou a mineralogia de Cambissolos Húmicos e Latossolos Brunos nos municípios de Bom Jesus e Vacaria, respectivamente. Os autores apontaram a presença de quartzo, caulinita, argilomineral 2:1 e gibbsita na fração areia. A presença dos argilominerais deve-se à possível dispersão parcial na separação das frações granulométricas. A fração silte apresentou os mesmos minerais mais a cristobalita. Dados semelhantes foram obtidos por Kämpf & Klamt (1978) estudando Latossolo Bruno, Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho no Nordeste do Planalto Riograndense.

Na fração argila de Cambissolos Húmicos e Latossolos Brunos, Potter & Kämpf (1981) identificaram a caulinita como mineral dominante, seguida de quartzo (com maiores teores no Cambissolo, que é derivado de rocha ácida), haloisita (nos horizontes C), 2:1 com hidróxi-entrecamadas (nos horizontes A e B) e teores reduzidos de gibbsita. Ainda, foram observados óxidos de ferro como a hematita e goethita, sendo a goethita dominante em todos os horizontes de ambos os solos. Nos saprolitos, os minerais primários como ortoclásios e plagioclásios (anortita, labradorita e bytownita), menos resistentes ao intemperismo, sofrem alterações, promovendo o aumento relativo de quartzo e a formação de caulinita/haloisita.

As condições ambientais, associadas aos teores de matéria orgânica mais elevados na região de Vacaria e Bom Jesus, favorecem a complexação do alumínio e do ferro liberados pelo intemperismo, limitando a formação de alguns óxidos, como a gibbsita e a hematita, principalmente, no horizonte A. Os compostos orgânicos do solo também favorecem a biociclagem de silício e a seguinte seqüência de transformação dos minerais: primários → amorfos → haloisita → caulinita (Potter & Kämpf, 1981).

Kämpf & Klamt (1978), trabalhando com Latossolos e Nitossolos do Nordeste do Planalto Sul-Riograndense, sugerem a ocorrência de um processo de dessilicação parcial, evidenciado pela presença de argilo-minerais 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas, promovendo a caulinitização dos solos. Esse processo é resultante da inconstância das condições climáticas desde o início da formação desses solos. Conforme estimativas de Bigarella (apud Kämpf & Klamt, 1978), a pedogênese, nesse caso, teve seu início em clima mais seco e encontra-se atualmente em clima mais úmido.

De acordo com Kämpf & Klamt (1978), a seqüência de intemperismo dos solos do Planalto Médio e Campos de Cima da Serra, inicia com a alteração do material de origem em amorfo, com posterior recristalização em argilo-minerais. Grandes quantidades de material amorfo encontradas nos horizontes inferiores do Latossolo Bruno, no município de Vacaria, assim como a mineralogia dos horizontes superiores, indicam essa seqüência de intemperismo (Figura 1.5).

Em termos gerais, a caulinita aparece como mineral predominante em ambas as regiões do Estado, contudo, na Campanha Gaúcha aparecem minerais menos intemperizados do grupo dos 2:1, como a esmectita. Já nos Campos de Cima da Serra, as condições de intemperismo são mais intensas, promovendo uma maior dessilicação do perfil de solo, reduzindo a quantidade de minerais 2:1 e aumentando os óxidos, principalmente a goethita.

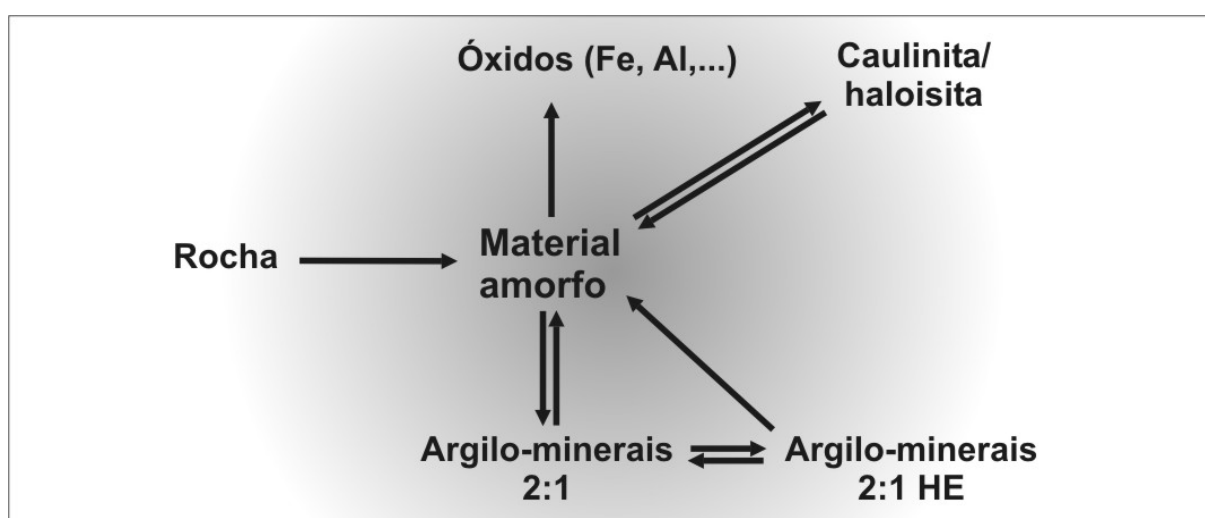


Figura 1.5. Esquema da formação dos materiais amorfos e recristalização em argilo-minerais e óxidos. (Adaptado de Kämpf & Klamt, 1978).

A maioria desses dados apontam para a mineralogia de solos mais intemperizados, onde alguns, como os Latossolos, têm sua gênese iniciada sob paleoclimas. O estudo da evolução mineralógica de solos pouco desenvolvidos como os Neossolos podem elucidar o comportamento evolutivo dos solos em termos mineralógicos no clima atual, permitir um maior conhecimento da reatividade da fração coloidal e sua influência na fertilidade do solo e contribuir na definição de atributos diagnósticos para a sua classificação. Porém, tais estudos são escassos para a região Sul do Brasil, e muito pouco se sabe sobre os Neossolos Litólicos e Regolíticos.

**Capítulo 1-b**

**MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DE NEOSSOLOS LITÓLICOS E  
REGOLÍTICOS**

**Revisão de literatura**



## Neossolos Litólicos e Regolíticos

Neossolos são solos pouco desenvolvidos e geralmente pouco profundos, em vias de formação devido à reduzida atuação dos processos pedogenéticos, que pode ser em razão da resistência do material de origem ao intemperismo, condição climática ou geomorfológica que impede ou limita a evolução desses solos, ou pouco tempo de ação dos agentes intempéricos e pedológicos. Geralmente apresentam seqüência de horizontes A - C - R ou A - R, podendo apresentar horizonte B, mas sem requisitos para caracterizar qualquer horizonte B diagnóstico (Embrapa, 2006).

Mais especificamente, os Neossolos Litólicos e Regolíticos, anteriormente denominados, respectivamente, de Litossolos e Regossolos, foram classificados, conforme a 1ª e 2ª aproximação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 1980 e 1981), na classe 1, chamada de grupamento de solos rudimentares (pouco evoluídos, com ausência de horizonte B diagnóstico), juntamente com as areias quartzosas, atualmente Neossolos Quartzarênicos, e solos aluviais, atualmente Neossolos Flúvicos. Somente na primeira edição do SiBCS (Embrapa, 1999), essa classe recebe a denominação de Neossolos.

Conforme descrito na segunda edição do SiBCS (Embrapa, 2006), atualmente em vigor, os Neossolos Litólicos são solos com horizonte A ou O hístico que apresentam espessura menor que 40 cm, posicionados sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr, ou ainda sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída de fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm. Esses solos apresentam contato lítico dentro de 50 cm da superfície. Os Neossolos Litólicos admitem a presença de um horizonte B em início de formação, desde que este não satisfaça qualquer tipo de horizonte diagnóstico.

Os Neossolos Regolíticos são caracterizados pela presença de um horizonte A sobrejacente a um horizonte C ou Cr. O contato lítico deve ocorrer a uma profundidade maior que 50 cm. Admite horizonte B incipiente com menos de 10 cm de espessura. Além disso, deve satisfazer pelo menos um dos seguintes requisitos: 4% ou mais de minerais primários alteráveis na fração areia grossa e fina, em qualquer horizonte dentro de 150 cm a partir da superfície do solo; e/ou 5% ou mais do volume do horizonte C ou Cr apresentando fragmentos de rocha semi-intemperizados ou saprolito, dentro de 150 cm a partir da superfície do solo (Embrapa, 2006).

Em termos práticos, a diferença maior entre os Neossolos Litólicos e os Neossolos Regolíticos é a profundidade do contato lítico. É muito comum a ocorrência desses Neossolos associados, sendo que no Neossolo Regolítico existe uma camada de material intemperizado que não pode ser caracterizado como rocha, o que permite a locação do contato lítico em maior profundidade. Essa camada também não se caracteriza como horizonte B, sendo então material saprolítico. Nesses casos, o termo saprolítico seria uma alternativa ao regolítico que vem sendo usado equivocadamente devido à redundância no seu emprego, visto que todos os solos são saprolíticos (veja discussão no Capítulo 5).

### **Neossolos rasos no RS**

O Estado do RS apresenta diferentes unidades de mapeamento (UM), registradas no mapa de reconhecimento de solos do RS (Brasil, 1973), classificadas como Neossolos Litólicos. Essas unidades encontram-se distribuídas nas diversas regiões fisiográficas do Estado, sendo as principais, em termos de área, descritas na seqüência: UM Pedregal, UM Guassupí, UM Charrua, UM Caxias, UM Silveiras e UM Pinheiro Machado.

As unidades Pedregal, Guassupí, Charrua, Caxias e Silveiras ocorrem sobre os derramamentos vulcânicos da Serra Geral, enquanto a unidade Pinheiro Machado ocorre sobre rochas graníticas no Escudo Sul-riograndense. Esses solos apresentam características químicas que retratam as rochas de origem e os ambientes de formação (Brasil, 1973; Streck et al., 2002).

Em termos morfológicos todas as unidades apresentam alta variabilidade resultante principalmente da diversidade do relevo e da resistência do material de origem. Entretanto, mesmo considerando somente os dados dos perfis modais descritos em Brasil (1973), percebe-se que algumas unidades classificadas como Neossolos Litólicos poderiam ser alocadas na sub-ordem Regolítico. O levantamento mais detalhado de informações morfológicas do perfil, desde o horizonte A até as camadas mais profundas, pelo menos um metro de profundidade, poderiam contribuir para uma classificação mais coerente desses solos.

Levantamentos de solos realizados em diversos municípios do Estado, do tipo detalhado e semidetalhado, têm mostrado a alta variabilidade morfológica e a freqüente presença de camadas saprolíticas no perfil. A ocorrência de saprolito

implica em contato lítico mais profundo, devido à maior profundidade da frente de intemperismo e a ausência de informações sobre essas camadas têm dificultado a classificação dos Neossolos. Sendo assim, há uma carência de informações sobre os Neossolos do RS, onde trabalhos que apresentem descrições morfológicas detalhadas são fundamentais para o entendimento do comportamento desses solos.

### **Morfologia como atributo diagnóstico na classificação de Neossolos**

A classificação de solos possui importância fundamental na organização sistemática das informações sobre esse recurso. A sistematização das observações de campo pela classificação dos solos visa promover e facilitar o entendimento, a lembrança, a generalização das informações obtidas e, até mesmo, a predição daquelas não coletadas (Kellogg, 1963). Outro propósito da classificação é estabelecer grupamentos para fins de interpretações utilitárias (Cline, 1949). Os sistemas de classificação de solos podem ser naturais ou taxonômicos, quando baseados em propriedades observadas (Soil Survey Staff, 1999; Embrapa, 2006), e técnicos ou interpretativos, quando construídos sobre um determinado tipo de uso do solo (Lepsch et al., 1991; Ramalho Filho & Beek, 1995; Ramalho Filho & Pereira, 1999; Pereira, 2002, Pedron et al., 2006).

A quase totalidade dos sistemas de classificação de solos no mundo são morfogenéticos, ou seja, usam critérios morfológicos relacionados aos processos de formação dos solos para definir as classes de solos. O SiBCS (Embrapa, 2006), o sistema americano – Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) e o sistema da FAO – WRB (FAO, 2006) são sistemas taxonômicos que fazem uso de atributos morfogenéticos para a definição dos níveis categóricos superiores.

A utilização de características morfológicas na organização dos sistemas de classificação é possível devido à estreita relação entre os processos pedogenéticos e os resultados morfológicos. Em outras palavras, a morfologia do solo é a expressão direta ou indireta dos eventos pedogenéticos ocorridos em um dado material. Além disso, a observação e anotação de características morfológicas podem ser efetuadas de forma simples, no próprio campo, sem a necessidade de equipamentos sofisticados, o que facilita a obtenção dos dados para definição da classe de solo.

No Brasil, a análise de características morfológicas do solo para fins de classificação iniciou juntamente com os trabalhos de Levantamento de Solos, na década de 50. Nesta época, parte do conhecimento utilizado vinha dos manuais americanos. Na década de 60, foi publicado o primeiro manual de descrição e coleta de solo no campo, onde as características morfológicas e ambientais foram padronizadas para atender a demanda na área de classificação de solos (Santos et al., 2005).

Diversas características morfológicas são utilizadas pelo SiBCS (Embrapa, 2006). A cor, a espessura, a textura, a presença de cerosidade e concreções são exemplos de atributos diagnósticos que auxiliam na diferenciação das distintas classes de solos no Brasil. As informações referentes a esses atributos morfológicos permitem a inferência de outras não observadas no perfil, contribuindo para o entendimento do comportamento do solo e do seu potencial de uso.

Em relação aos Neossolos Litólicos e Regolíticos, características como espessura e textura são fundamentais na organização taxonômica dessas classes. Nesse contexto, o contato lítico talvez seja o atributo diagnóstico mais importante. Muitos técnicos têm relatado a dificuldade de interpretação das informações sobre os Neossolos trazidas nos relatórios de levantamento de solos. Esse fato é resultado de uma descrição morfológica considerada, em grande parte dos casos, insuficiente para caracterização adequada desses solos. O problema está relacionado com a falta de informações sobre a morfologia da transição entre os horizontes do solo e os materiais parcialmente alterados (Machado, 1997; Oliveira, 2001).

Nesse caso, os Neossolos têm sido classificados com base em informações mínimas, onde outras, talvez mais importantes, estejam sendo negligenciadas. Além de haver um déficit nas informações regularmente coletadas para os Neossolos, algumas avaliações, responsáveis pela definição do segundo nível categórico, têm sido consideradas demasiadamente subjetivas, dificultando uma classificação única entre os técnicos da área. Trabalho realizado por Vidal-Torrado (2007) mostra a insatisfação dos usuários em relação à classe dos Neossolos do SiBCS, considerando essa a classe que merece mais atenção.

## Contatos solo-saprolito-rocha

Segundo a 1ª aproximação do SiBCS (Embrapa, 1980), os atributos contato lítico e contato paralítico são considerados, ambos extraídos do sistema americano de classificação de solos - Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). O contato lítico é o limite entre o solo e o material coeso subjacente que geralmente é contínuo e apresenta poucas fraturas, distantes 10 cm ou mais entre si. Este material, mesmo quando úmido, tem sua escavação impraticável com uma pá reta. Quando constituídos por rochas pluriminerálicas (mais de um mineral em sua constituição) não apresentam dispersão em água ou hexametáfosfato de sódio após agitação por 15 horas.

O contato paralítico diferenciava-se do contato lítico pela sua dispersão parcial, após agitação por 15 horas com água ou hexametáfosfato de sódio. Além disso, quando úmido o material pode ser escavado, mesmo com dificuldade, manualmente com uma pá reta (pá de corte). Ambos os contatos não apresentam penetração de raízes, exceto entre as fraturas (diáclases e fissuras). O contato paralítico foi chamado de contato litóide a partir da 2ª aproximação do SiBCS (Embrapa, 1981), até a sua quarta aproximação (Embrapa, 1997a), quando em 1999, com o lançamento da primeira edição do SiBCS (Embrapa, 1999), o contato litóide deixou de ser usado, permanecendo o contato lítico.

Desde o Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), os contatos líticos e litóides (paralíticos) foram propostos para diferenciar materiais em relação à sua dureza, onde o contato litóide poderia ser escavado com uma escavadeira, enquanto o contato lítico somente com a ação de explosivos. Contudo, considerando que ambos os contatos não apresentam penetração de raízes, exceto entre eventuais fraturas, existe uma lacuna na organização taxonômica desses materiais. É visto que ocorrem perfis com presença de saprolito (horizontes C, Cr e CR) e ou materiais consolidados, mas com alto grau de fraturamento, os quais permitem o desenvolvimento de raízes, caracterizando uma maior profundidade efetiva no perfil, muito diferente daquelas pressupostas pelos contatos líticos e litóides.

A versão atual do SiBCS (Embrapa, 2006), apresenta, além do contato lítico, o contato lítico fragmentário, que é a presença de material endurecido subjacente ao solo, onde o alto grau de fraturamento permite a penetração de raízes. Entretanto, ainda permanece a falta de critério diagnóstico que caracterize a presença de

camada saprolítica. Nessa camada, diferentemente do contato lítico, podem 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. Nesse caso, esses Neossolos teriam potencial de uso superior ao usualmente estimado.

Há registro de diversos autores, como Schafer et al. (1979), Stolt & Baker (1994) e Machado (1997), sobre a dificuldade de separação das camadas de solo e saprolito e determinação do tipo de contato que ocorre no perfil. Outra dificuldade é a falta de informação morfológica encontrada nas descrições de perfis de Neossolos e a sua padronização entre os pedólogos. Mesmo entre os contatos líticos e litóides, ou fragmentário, faltam critérios para a notação mais qualificada das observações de campo. Um dos testes utilizado é o da pá reta (Soil Survey Staff, 1993), onde a dificuldade de escavação distingue os materiais que constituem a rocha sã (inalterada), o saprolito e o solo (Oliveira, 2001). Contudo, Oliveira (2001) e Machado (1997) destacam as deficiências desses métodos relacionados à sua subjetividade, mesmo após estabelecimento, no Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1993), de maior rigor entre as classes de resistência a escavação.

Nesse sentido, maiores informações sobre os Neossolos e suas particularidades são necessárias para que se conheça e entenda melhor esses materiais, e se possa organizá-los em classes mais pertinentes. Conjuntos de dados específicos de aspectos morfogenéticos dos perfis de Neossolos devem ser analisados para se determinar os diferentes níveis de informações necessárias ao seu planejamento de uso racional.

### **A presença de saprolito no perfil de Neossolos**

Saprolito é o material resultante do intemperismo da rocha, em diferentes graus de intensidade e que ainda mantém a sua estrutura (Buol, 1994; Stolt & Baker, 1994; Oliveira, 2001). Nesse sentido, o saprolito pode apresentar qualquer condição de dureza compatível com a condição de rocha semi-alterada, afetando de forma diferente o desenvolvimento de raízes.

O saprolito se diferencia do solo pelo predomínio de mecanismos de alteração geoquímicos sobre os pedogenéticos (Calvert et al., 1980a), fluxo através de fraturas

e macroporos (O'Brien & Buol, 1984; Driese et al., 2001) e formação de minerais secundários com preservação da estrutura da rocha (Graham et al., 1994). Os saprolitos diferenciam-se das rochas pela resistência à compressão não confinada menor que 100 MPa (Buol, 1994). Embora distinto do solo, estima-se que os saprolitos que apresentam maior grau de alteração possam apresentar comportamento semelhante ao solo, no que se refere à drenagem e retenção de água, retenção e transformação de substâncias e fornecimento de nutrientes aos organismos vivos.

Como o saprolito é um material de interesse de áreas profissionais diversas, os poucos estudos apresentam metodologias e terminologias diferenciadas, as quais dificultam a comparação dos resultados e o uso de uma definição comum. Contudo, no Brasil, há um consenso na Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, verificado pelas suas publicações, que o termo saprolito refere-se ao manto de alteração de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, onde minerais primários e secundários constituem o material em alteração pela ação do intemperismo. Geralmente, apresentam desenvolvimento "in situ" e isovolumétrico, mantendo a estrutura da rocha de origem. São denominados horizontes C, Cr, CrR, CR (Curi et al., 1993; Machado, 1997; Oliveira, 2001; Embrapa, 2006).

O regolito é o manto de alteração encontrado na superfície da Terra, sendo constituído pelas camadas de solo e saprolito. Em outras palavras, tudo que não é rocha sã é considerado regolito (Eggleton, 2001). O saprolito, geralmente, compreende a maior porção do regolito (Oliveira, 2001), sendo encontrado, em áreas tropicais, em profundidades consideráveis, dificultando seu estudo (Stolt & Baker, 1994). Por isso, o saprolito tem sido muito pouco estudado (Graham et al., 1994), principalmente no Brasil, apesar de sua importância ambiental e tecnológica (Machado, 1997; Oliveira, 2001; Oliveira, 2003; Azevedo & Vidal-Torrado, 2006).

Os saprolitos desempenham funções ambientais e tecnológicas tão importantes quanto os solos. A filtragem da água de percolação, retenção de fluídos e solutos e sua possível transformação são exemplos do papel dos saprolitos. Além desses, o fornecimento de água (Witty et al., 2003) e de nutrientes para as plantas, quando a frente de intemperismo é próxima da superfície (Bornyasz et al., 2005), como no caso dos Neossolos, também são funções importantes. Em termos tecnológicos, os saprolitos apresentam potencial para uso na construção civil e em aterros sanitários (Oliveira, 2001; Vepraskas, 2005). Entretanto, o conhecimento das

suas características mineralógicas, químicas, físicas, morfológicas e biológicas é fundamental para o seu emprego em qualquer atividade humana.

O termo saprolítico, no SiBCS, refere-se a presença de horizonte “Cr” dentro de 100 cm da superfície do solo e, é utilizado para identificar a classe dos Chernossolos no terceiro nível categórico (grande grupo), e a classe dos Argissolos e Luvisolos no quarto nível categórico (subgrupo) (Embrapa, 2006). Em relação aos Neossolos rasos, a presença de saprolito é parcialmente contemplada pela subordem “Regolítico”, conforme descrito anteriormente.

O problema é que a organização da subordem “Regolítico” não permite a separação, em níveis categóricos inferiores, de perfis com diferentes tipos de saprolitos, os quais conferem potencial de uso distinto aos referidos materiais. Por exemplo, perfis com saprolito altamente intemperizado, onde as raízes penetram livremente e encontram água e nutrientes são classificados igualmente aos perfis onde o saprolito não permite a penetração de raízes e o volume de fraturas é inferior, conferindo consideráveis limitações ao desenvolvimento das raízes. Além disso, a própria identificação do saprolito e a determinação do seu limite superior e inferior, pelos técnicos, dificulta a aplicação da classificação taxonômica e interpretativa.



## **Capítulo 2**

### **MATERIAL E MÉTODOS**

**Caracterização ambiental dos pontos amostrais  
e procedimentos analíticos**

## 2. Caracterização ambiental dos pontos amostrais e procedimentos analíticos

### 2.1. Localização e caracterização ambiental dos pontos amostrais

Este trabalho concentra-se na análise de materiais de rocha, saprolito e solo provenientes de diferentes perfis dispostos em uma lito-climosequência sobre a extremidade Sul da Bacia do Paraná, no RS.

Foram analisados cinco (5) conjuntos regolíticos (solo + saprolito) e seus materiais geológicos de origem (Quadro 2.1), dispostos em um transeto, na direção Oeste-Leste no Estado, que inicia próximo ao município de Itaquí e segue pelos municípios de Unistalda, Ibarama, Caxias do Sul, até Bom Jesus, sendo identificados, respectivamente, como P1, P2, P3, P4 e P5. Os pontos amostrais mantiveram-se próximos à latitude de 29° Sul (Figura 2.1).

Quadro 2.1. Localização, relevo, material de origem e altitude dos perfis estudados.

<b>Perfil*</b>	<b>Localização</b>	<b>Relevo local</b>	<b>Material de origem</b>	<b>Altitude (m)</b>
1	Itaquí, na BR 472, a 17 km da sede do município	Suave ondulado	Basalto	82
2	Unistalda, a 10 km da sede, em estrada vicinal	Ondulado	Basalto	150
3	Ibarama, a 4 km da sede, em direção a Sobradinho	Forte ondulado	Basalto	380
4	Caxias do Sul, na RS 453 próximo ao shopping Iguatemi	Ondulado	Riólito-riodacito	770
5	Bom Jesus, RS 430, a 400m da comunidade de Casa Branca	Suave ondulado	Riólito-riodacito	1055

\*Classificação (Embrapa, 2006): 1- Neossolo Regolítico eutrófico léptico; 2- Neossolo Regolítico eutrófico típico; 3- Neossolo Regolítico eutrófico típico; 4- Neossolo Litólico distroúmbrico típico; 5- Neossolo Regolítico húmico típico;

Os perfis foram coletados em áreas onde, conforme o mapa de reconhecimento de solos do RS (Brasil, 1973), ocorrem as seguintes unidades de mapeamento (UM): Pedregal, Guassupi, Charrua, Caxias e Silveiras, todas

consideradas Neossolos rasos (Litólicos ou Regolíticos). Devido à variabilidade morfológica e espacial existente no campo, os perfis analisados neste trabalho não apresentam necessariamente as mesmas características dos perfis modais descritos em Brasil (1973).

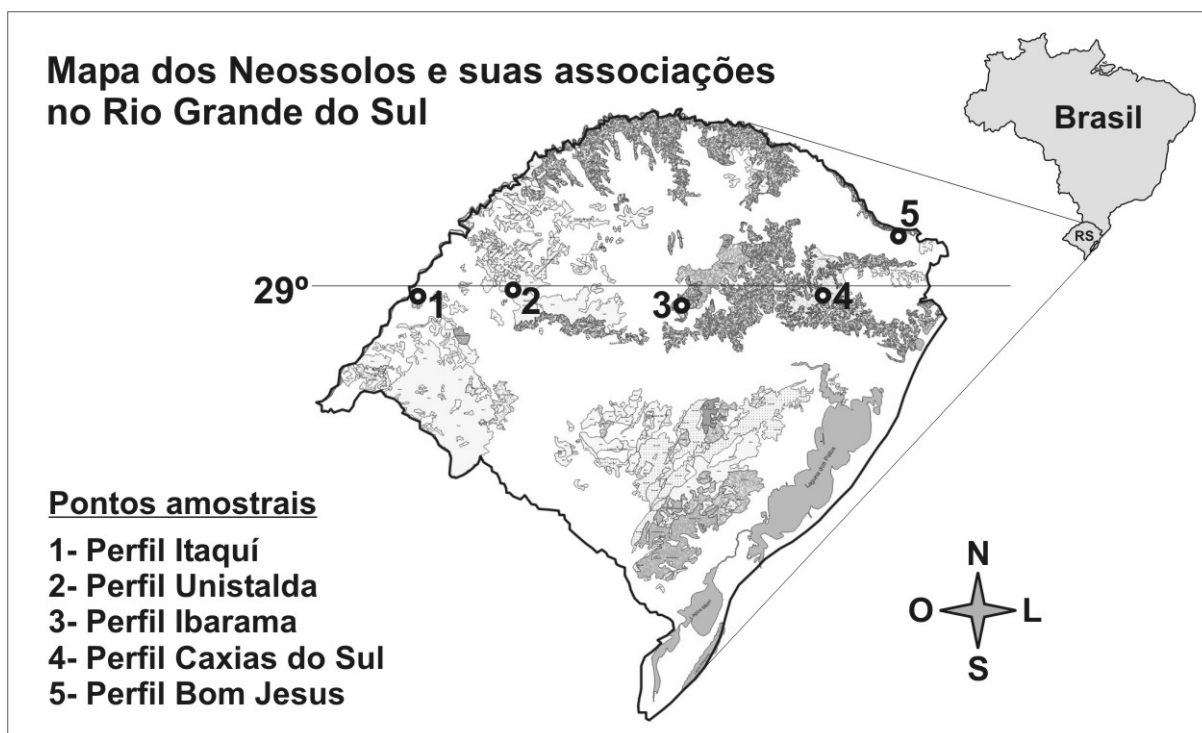


Figura 2.1. Distribuição dos Neossolos Litólicos e suas associações no Rio Grande do Sul (adaptado de Brasil, 1973) e localização do transeto com os pontos amostrais.

Os critérios utilizados na escolha dos pontos amostrais foram a ocorrência, no perfil, de Neossolos Litólicos ou Regolíticos, altitude, relevo, material de origem, coordenadas geográficas, morfologia do perfil, dando-se preferência à presença de saprolito, e o histórico de uso da terra, onde foram selecionados pontos sem aplicação de insumos agrícolas.

As características dos pontos amostrais em relação ao clima (temperatura e precipitação), coordenadas geográficas, vegetação natural e uso atual da terra são apresentadas na Figura 2.2.

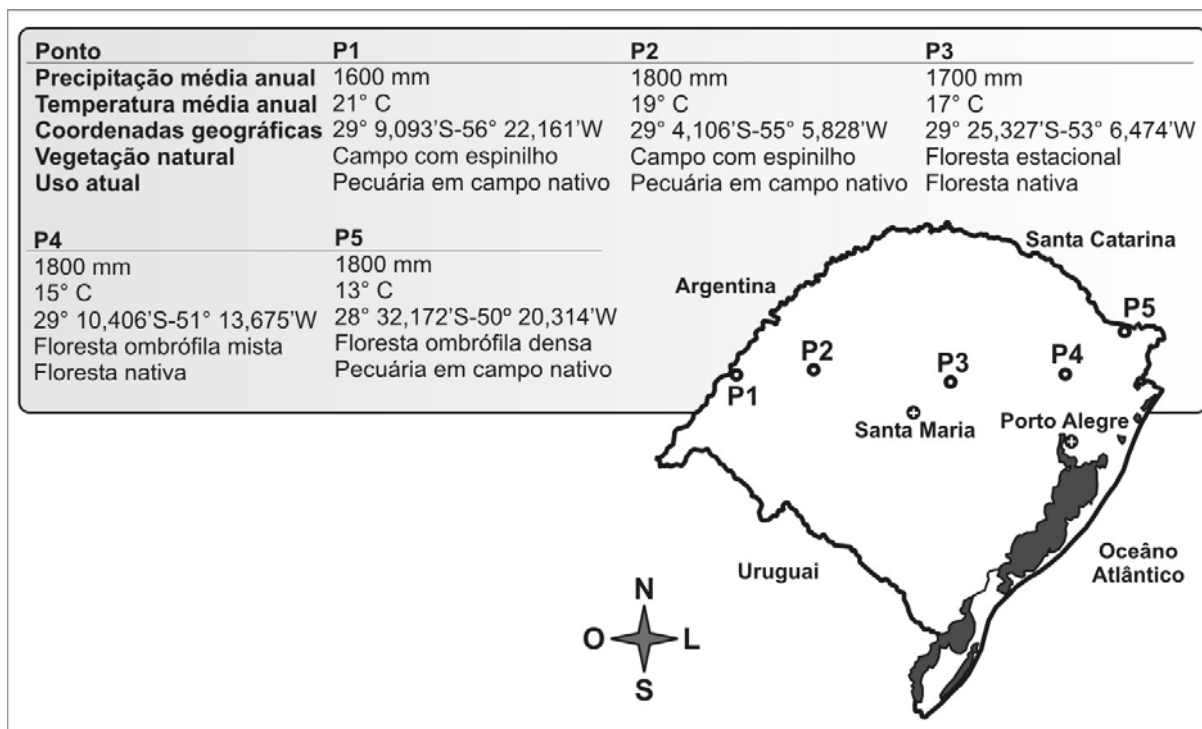


Figura 2.2. Características ambientais dos pontos amostrais. Temperatura média anual e precipitação média anual (Atlas socioeconômico do RS, disponível online: <http://www.scp.rs.gov.br>).

## 2.2. Coleta e preparo das amostras

Os materiais de solo e saprolito foram coletados em amostra única, sem repetição, nos horizontes e camadas identificados nos perfis. Nos horizontes Cr e RCr os materiais de solo e saprolito foram coletados e embalados tanto separadamente para as análises químicas, quanto conjuntamente para as análises morfológicas. As coletas e descrição morfológica foram efetuadas de acordo com Santos et al. (2005), com algumas adaptações em relação à descrição dos perfis, as quais foram objetos de estudo do Capítulo 4 e serão discutidas adiante no texto.

Foram utilizadas ferramentas de plástico (a base de PVC), tais como bandejas, baldes e pás, e de madeira, como talhadeira, para evitar possíveis contaminações das amostras com metais. Tal medida de segurança visa futuro estudo do balanço pedogeoquímico nos perfis em questão. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas para o laboratório.

Vinte e quatro horas após a sua coleta no campo, as amostras foram levadas para estufa com circulação forçada de ar e temperatura de 50° C ( $\pm$  5° C), onde ficaram por 7 dias, até sua secagem. Na seqüência, as amostras foram separadas

em duas frações: grosseira ( $> 2$  mm) e fina ( $< 2$  mm), conforme Santos et al. (2005), por peneiramento seco. Todas as ferramentas utilizadas no peneiramento e moagem das amostras eram constituídas de material plástico. As amostras de saprolitos foram moídas com bastão de madeira do tipo “rolo de massa”, adaptado para tal função, para sua posterior análise química e mineralógica. As amostras de saprolitos mais resistentes foram encaminhadas para o Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL - USP) para sua moagem, juntamente com as amostras de rochas.

### 2.3. Análises físicas

#### Granulometria da fração fina

A composição granulométrica total da fração fina (Tabela 2.1) foi determinada pelo método da pipeta, conforme Embrapa (1997b). Esse método baseia-se na dispersão da amostra com solução de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , separação da fração areia por tamisamento em úmido e da argila pela velocidade de sedimentação considerando-se a lei de Stokes. O silte é determinado pela diferença das massas de areia e argila do total. Os teores de argila dispersa em água foram obtidos pelo método descrito pela Embrapa (1997b).

Tabela 2.1. Classes granulométricas segundo Santos et al. (2005).

Classes granulométricas		Diâmetro (mm)
Fração grosseira	Matacão	$> 200$
	Calhaus	$200 - 20$
	Cascalho	$20 - 2$
Fração fina (terra fina)	Areia grossa	$2 - 0,2$
	Areia fina	$0,2 - 0,05$
	Silte	$0,05 - 0,002$
	Argila	$< 0,002$

#### Granulometria frações grosseiras

A composição granulométrica da fração grosseira (Tabela 2.1) foi obtida de duas maneiras: juntamente com a coleta de amostra para determinação da densidade do sistema solo+saprolito (ver item na seqüência), em três repetições, e

coletando-se na parede do perfil com o auxílio de uma faca e uma bacia, também com três repetições. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, trazidas ao laboratório, secas em estufa com circulação forçada de ar, e separadas nas classes granulométricas, por tamisamento em seco. Os dois métodos de coleta foram comparados. Os dados granulométricos dos horizontes são resultados da média entre os dois métodos, totalizando seis repetições.

### **Densidade**

A densidade dos diferentes horizontes que compõem o solo foi determinada pelo método da escavação, descrito por Blake & Hartge (1986). Optou-se por esse método devido ao alto volume de materiais grosseiros que dificultam o emprego de procedimentos de rotina, como o anel volumétrico sugerido pela Embrapa (1997b). Em cada horizonte foram efetuadas três escavações com as dimensões de aproximadamente 20 x 20 x 20 cm, onde todo o material foi retirado e armazenado em saco plástico para posterior secagem a 105° C e pesagem. O volume de cada escavação foi determinado com o preenchimento com areia com densidade calculada, através do aparato conhecido como funil de areia, conforme descrito em Blake & Hartge (1986).

A densidade das amostras de rocha e das amostras de saprolito, foram determinadas pelo método do torrão parafinado, descrito por Blake & Hartge (1986). Foram utilizados fragmentos de rochas e saprolitos, com cinco repetições, do tamanho entre 2 e 4 cm de diâmetro. O volume do torrão (rocha e saprolito) foi determinado pela sua impermeabilização com parafina e posterior pesagem do volume de líquido deslocado pela imersão do torrão em um recipiente com água, baseando-se no princípio de Arquimedes.

A densidade dos saprolitos foi utilizada para estimar o volume de terra fina e o volume das frações grosseiras em cada horizonte, da seguinte maneira:

Volume da fração grosseira =  $M_s$  (massa seca de calhaus e cascalhos)/ $d$  (densidade do saprolito)

Volume do sistema =  $M_s$  (massa seca total)/ $d$  (densidade do sistema obtido pela escavação)

Volume de terra fina = Volume do sistema – volume de materiais grosseiros

O conhecimento do volume de cada fração granulométrica em cada horizonte permitiu comparar esses dados com a granulometria tradicional, obtida com base no peso.

### **Teste de dispersão de fragmentos grosseiros**

As amostras de saprolitos e rochas foram submetidas ao teste de dispersão em água e em hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L<sup>-1</sup> para verificação da solubilidade do material. Esses testes são usados para identificação dos contatos líticos e litóides (Soil Survey Staff, 1975). Fragmentos de saprolitos e rochas, secos ao ar, com diâmetro entre 1 e 2 cm, em cinco repetições por horizonte, foram submetidos à agitação horizontal, em baixa velocidade, em água e em hidróxido de sódio por 15 horas.

Os resíduos da dispersão sofreram tamisamento em úmido, em malha de 2 mm. O material retido na malha da peneira foi coletado, seco em estufa a 105° C e pesado. O resíduo que passou na peneira foi considerado disperso, enquanto o resíduo retido foi considerado não disperso. A umidade inicial das amostras foi corrigida com o fator de umidade, conforme Embrapa (1997b). A porcentagem de dispersão foi obtida pela equação:

$$\text{Dispersão (\%)} = [(M_{si} - M_{sf}) \cdot 100] / M_{si}$$

Onde:

M<sub>si</sub>: massa seca inicial já corrigida com o fator de umidade;

M<sub>sf</sub>: massa seca final, do resíduo retido na peneira.

Conforme Machado (1997), a interpretação dos contatos foi efetuada da seguinte forma: quando a dispersão ultrapassou 50 %, considerou-se que não havia contato; quando a dispersão foi de 3 a 50 %, considerou-se contato litóide, e quando a dispersão foi inferior a 3 %, considerou-se contato lítico.

## 2.4. Análises químicas

### Análises químicas de rotina

As análises químicas de rotina foram determinadas de acordo com a metodologia preconizada por Embrapa (1997b), conforme o que segue: os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados por espectroscopia de absorção atômica após extração com  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ . O  $\text{K}^+$  e o  $\text{Na}^+$  trocável foram extraídos com solução de  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e seu teor determinado por fotometria de chama. A acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ ) foi determinada em extrato de  $\text{Ca}(\text{OAc})_2$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 e titulado com  $\text{NaOH}$   $0,0606 \text{ mol L}^{-1}$ . O  $\text{Al}^{3+}$  trocável foi extraído com solução de  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{NaOH}$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . O pH foi determinado em extrato de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada e  $\text{KCl}$  na proporção 1:2,5.

O carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley-Black modificado (Embrapa, 1997b), onde a matéria orgânica é oxidada com solução de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )  $1 \text{ mol L}^{-1}$  em presença de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado. O excesso de dicromato é titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal ( $\text{FeSO}_4[\text{NH}_4]_2$ )  $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ .

A partir dos dados analíticos foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), a saturação por alumínio ( $\text{Al} \cdot 100 / \text{S} + \text{Al}$ ) e a saturação por bases ( $\text{S} \cdot 100 / \text{CTCpH7}$ ), a relação silte/argila, o grau de floculação - GF ( $[(\text{argila total} - \text{argila natural}) \cdot 100] / \text{argila total}$ ) e o  $\Delta\text{pH}$  (pH  $\text{KCl}$  - pH  $\text{H}_2\text{O}$ ).

### Extração de ferro, alumínio, silício, manganês e titânio total ( $\text{Fe}_t$ , $\text{Al}_t$ , $\text{Si}_t$ , $\text{Mn}_t$ e $\text{Ti}_t$ )

As amostras de solo (terra fina), saprolito e rocha foram submetidas à extração de  $\text{Fe}_t$ ,  $\text{Al}_t$ ,  $\text{Si}_t$ ,  $\text{Mn}_t$  e  $\text{Ti}_t$ , pelo método do ataque com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado na proporção 1:1, conforme descrito em Embrapa (1997b). As amostras de saprolito e rocha dos P2 e P4 não foram analisadas devido a restrições de recursos. Nesse caso, a estratégia utilizada foi priorizar a análise das amostras dos P1, P3 e P5, os quais representam as extremidades e o centro da lito-climoseqüência estudada.



O ataque sulfúrico promove a dissolução total da amostra, solubilizando o Fe, Al, Mn, Ti e o Si dos minerais primários e secundários das frações areia, silte e argila (Inda Jr., 2002). Entretanto, Kehrig (1949) ressalta que a extração de elementos totais, com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, na fração terra fina ocorre somente em minerais primários e secundários alteráveis, não contabilizando, por exemplo, o Si do quartzo e outros silicatos resistentes ao intemperismo.

Os teores de óxidos em percentagem obtidos pelo ataque sulfúrico permitem o cálculo das relações moleculares  $k_i$  e  $k_r$ , os quais são utilizados como índices de intemperismo do solo (Kehrig, 1949; Carvalho, 1956; Melo et al., 1995; Embrapa, 1997b). Os índices  $k_i$  e  $k_r$  têm se mostrado apropriados para caracterização de amostras de solos, principalmente dos Latossolos.

O índice  $k_i$  é a relação molecular entre a sílica e a alumina, enquanto o  $k_r$  é a relação molecular entre sílica e sesquióxidos de alumínio e ferro (Carvalho, 1956). O  $k_i$  fornece uma estimativa do grau de intemperismo de solos tropicais e subtropicais, apresentando uma estimativa da relação caulinita e gibbsita nos solos. O índice  $k_r$  é semelhante ao  $k_i$ , porém, mais apropriado para indicar o grau de alteração dos minerais em solos onde a alta taxa de formação de óxidos de ferro contrasta com os baixos teores de alumina (Kehrig, 1949).

$$k_i = (\% \text{ SiO}_2 \times 1,70) / \% \text{ Al}_2\text{O}_3$$

$$k_r = (\% \text{ SiO}_2 \times 1,70) / [\% \text{ Al}_2\text{O}_3 + (\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \times 0,64)]$$

A interpretação dos valores de  $k_i$  e  $k_r$ , conforme Embrapa (2006), se verifica da seguinte forma:

- $k_i > 0,75$  e  $k_r > 0,75$  sugerem solos cauliníticos;
- $k_i > 0,75$  e  $k_r \leq 0,75$  sugerem solos cauliníticos-oxídicos;
- $k_r \leq 0,75$  sugere solos oxídicos (hematíticos ou goethíticos);
- $k_i \leq 0,75$  e  $k_r \leq 0,75$  sugerem solos gibbsíticos/oxídicos;
- $k_i > 2,2$  sugere presença abundante de argilominerais 2:1 (Mello et al., 1995).

### **Extração de ferro, alumínio e manganês em óxidos e oxihidróxidos de Fe pedogênicos ( $Fe_d$ , $Al_d$ e $Mn_d$ )**

O  $Fe_d$ ,  $Al_d$  e  $Mn_d$  equivalem às formas presentes nos óxidos e oxihidróxidos de Fe pedogênicos da fração argila, incluindo aqueles cristalinos, mal cristalizados e não cristalinos, como a hematita, goethita, lepidocrocita e ferrihidrita. Nesse caso, o Al e o Mn contabilizados são oriundos da substituição isomórfica com o Fe na estrutura dos minerais supracitados. Alguns trabalhos mostram a possibilidade de extração de pequena concentração de frações litogênicas (McKeague et al., 1971).

O  $Fe_d$ ,  $Al_d$  e  $Mn_d$  são extraídos com solução aquecida a 75° C, de citrato tribásico de sódio dihidratado, como agente complexante, tamponada a pH 7,3 pelo bicarbonato de sódio, à qual é adicionado ditionito de sódio em pó ( $Na_2S_2O_4$ ) como agente redutor. O Fe, Al e Mn provenientes dos minerais dissolvidos são determinados no extrato por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997b). Esse procedimento segue o descrito por Mehra & Jackson (1960).

### **Extração de ferro, alumínio e manganês em óxidos e oxihidróxidos de Fe mal cristalizados ( $Fe_o$ , $Al_o$ e $Mn_o$ )**

O  $Fe_o$ ,  $Al_o$  e  $Mn_o$  são extraídos com oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido (pH 3), no escuro, devido à formação de complexos após a dissolução de óxidos e oxi-hidróxidos de Fe mal cristalizados (amorfo) do solo, tais como ferrihidrita e lepidocrocita. O Al e o Mn contabilizadas são provenientes da substituição isomórfica do Fe na estrutura dos minerais supracitados. O Fe, Al e Mn são determinados no extrato por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1997b). O procedimento para extração de  $Fe_o$ ,  $Al_o$  e  $Mn_o$  segue os princípios estabelecidos por McKeague & Day (1966).

## **2.5. Análises mineralógicas (difratometria de raios-x)**

Foram realizadas análises por difratometria de raios-x (DRX) nas amostras de solo (terra fina), nas frações silte e argila, e nas amostras de saprolito e rochas, visando a identificação dos minerais primários e secundários presentes no material.

As amostras da fração argila do P2 e do P4 não foram analisadas pelo mesmo motivo descrito no ítem 2.4.

### **Preparo das amostras para DRX**

As amostras de saprolito foram moídas em graal de ágata, enquanto as amostras de rocha foram moídas em moinho. Ambas foram acondicionadas em suportes (porta-amostras) para lâminas em pó, próprios do equipamento utilizado. As amostras de solo primeiramente sofreram separação granulométrica conforme o método da pipeta descrito por Embrapa (1997b) e referido no ítem 2.3 “granulometria da fração fina”. O tempo de sedimentação para coleta da fração argila total foi calculado com base no nomograma de Tanner & Jackson (1947). A fração silte foi coletada do fundo do recipiente após a extração de toda a fração argila, colocado em estufa para secagem a 40° C. As lâminas da fração silte foram preparadas em pó, da mesma forma que as lâminas de saprolito e rocha.

A fração argila de cada amostra de solo, mantida no estado pastoso, foi dividida em duas porções, as quais foram saturadas com K<sup>+</sup> (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) e Mg<sup>2+</sup> (MgCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>), conforme orientações de Theisen & Harward (1962), Whitting & Allardice (1986) e Hughes et al. (1994). As lâminas foram preparadas de forma orientada pelo método do “esfregaço”, conforme citado em Resende et al. (2005). Os seguintes tratamentos foram analisados: argila saturada com K<sup>+</sup> a temperatura ambiente (25° C); argila saturada com K<sup>+</sup> e aquecida a 350° C; argila saturada com K<sup>+</sup> e aquecida a 550° C; argila saturada com Mg<sup>2+</sup> a temperatura ambiente (25° C); argila saturada com Mg<sup>2+</sup> e posteriormente solvatada com etileno-glicol (25° C); e argila desferrificada com DCB (Ditionito-Citrato-Bicarbonato, conforme Mehra & Jackson, 1960) e posteriormente saturada com K<sup>+</sup>.

O equipamento utilizado foi um difratômetro modelo Philips PW, com ânodo de cobre (Cu K $\alpha$  1,54 Å) e filtro de níquel (Ni), velocidade de varredura de 1,2° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>, faixa de varredura de 3° a 65° 2 $\theta$  (amostras de argila e silte), e 3° a 90° 2 $\theta$  (amostras de saprolito e rocha), tensão de aceleração de 40 kV e corrente de 40 mA. Os difratogramas foram gerados no aplicativo APD (Automated Powder Diffraction), v.3.53, produzido pela Philips Export B.V. (1992), responsável pelo gerenciamento do difratômetro, onde foram convertidos para arquivos com extensão “.udf”. A posição dos reflexos foram obtidas utilizando-se os recursos do aplicativo

“WinFit! Beta release 1.2.1” produzido por Krumm (1997). Os arquivos “.udf” foram importados como planilhas de texto, e os difratogramas finais foram gerados em aplicativos gráficos.

A identificação das fases minerais foi efetuada utilizando-se, principalmente, as chaves de Brindley & Brown (1980) e o material de Resende et al. (2005).

## **2.6. Análises morfológicas**

As análises morfológicas foram separadas em dois grupos, um formado pelas avaliações de rotina, utilizadas nas descrições de perfis de solos no campo e sugeridas por Santos et al. (2005) e outro formado por avaliações aqui chamadas de complementares, por serem pouco utilizadas nos trabalhos de campo, sendo algumas sugeridas neste trabalho.

As avaliações morfológicas de rotina envolveram as características de perfil e ambientais. As características do perfil do solo consideraram a seqüência de horizontes e sua profundidade, a cor do solo, com o uso da caderneta de Munsell, a textura, estrutura, consistência, presença de raízes e transição entre horizontes. As características ambientais anotadas foram a rochiosidade, pedregosidade, relevo, localização, material de origem, clima, data, cobertura vegetal, uso atual da terra, erosão, altitude e drenagem do perfil, conforme descrito em Santos et al. (2005).

As avaliações morfológicas complementares são descritas na seqüência:

### **Análise de fraturas no perfil**

A parede de exposição do perfil do solo foi preparada para a tomada de uma imagem digital, conforme a Figura 2.3. A tomada desta imagem foi padronizada, com a montagem da câmera sobre um tripé com nível de bolha. A câmera foi sempre posicionada a 1,5 metros da parede do perfil, de modo a manter a escala uniforme em todas as imagens. Para auxiliar na precisão, uma escala foi colocada ao lado do perfil para balizar a imagem. A altura da câmera foi ajustada para que todos os horizontes e camadas fossem registrados. Em todas as imagens aparece a superfície do perfil para que o ângulo das fraturas fosse tomado tanto em relação ao nível d’água quanto em relação à superfície local.

As imagens foram tomadas com resolução de 8 megapixels, sendo posteriormente analisadas no computador para marcação das fraturas. Outras características do fraturamento foram anotadas no campo, como orientação das fraturas, espessura, distância horizontal entre fraturas e preenchimento das mesmas. As fraturas foram analisadas e apresentadas no diagrama de fraturas, conforme procedimento proposto na seqüência.

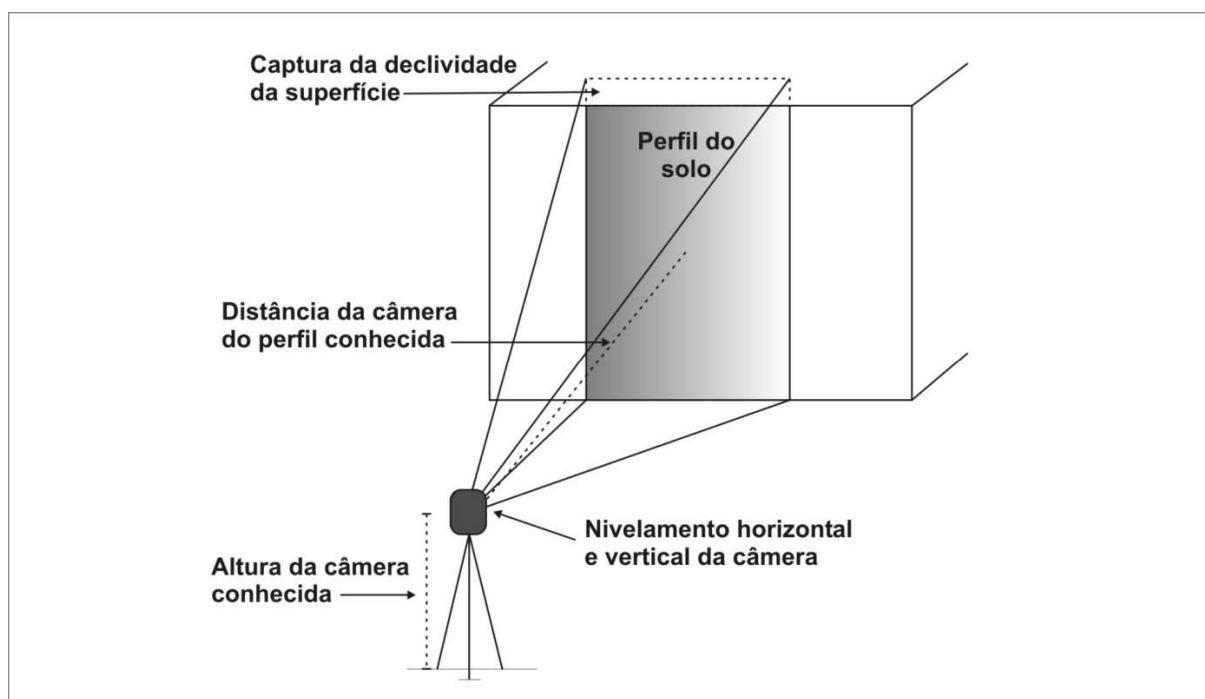


Figura 2.3. Esquema da coleta das imagens dos perfis usadas para análise das fraturas.

### **Diagrama de fraturas: proposta metodológica**

Em solos rasos como muitos Neossolos Litólicos e Regolíticos, a descrição detalhada de características específicas, como profundidade efetiva, raízes e tipo de contato, é fundamental para a compreensão do comportamento desses solos e determinação do seu potencial de uso, como por exemplo, agrícola e geotécnico.

A configuração de fraturas de um perfil contribui diretamente para o conhecimento do tipo de contato existente, penetração de raízes e água e profundidade efetiva. Por isso, a descrição de fraturas em rochas com os mais variados graus de intemperismo deve ser criteriosa, a fim de contribuir de fato com os estudos do perfil.

O diagrama de fraturas visa a organização de dados sobre as fraturas que ocorrem em materiais não intemperizados completamente no perfil e sua apresentação de maneira que dinamize a percepção e o entendimento da configuração de fraturas.

O diagrama de fraturas consta de uma imagem fotográfica nivelada do perfil, exatamente onde ocorre o contato entre solo-saprolito-rocha. No campo registra-se fotograficamente todo o perfil e, no laboratório, utiliza-se o registro dos horizontes e camadas de interesse. Sobre a imagem, devidamente recortada em aplicativos de tratamento de imagens, são demarcadas as principais fraturas, as quais são posicionadas dentro do diagrama modelo conforme a Figura 2.4.

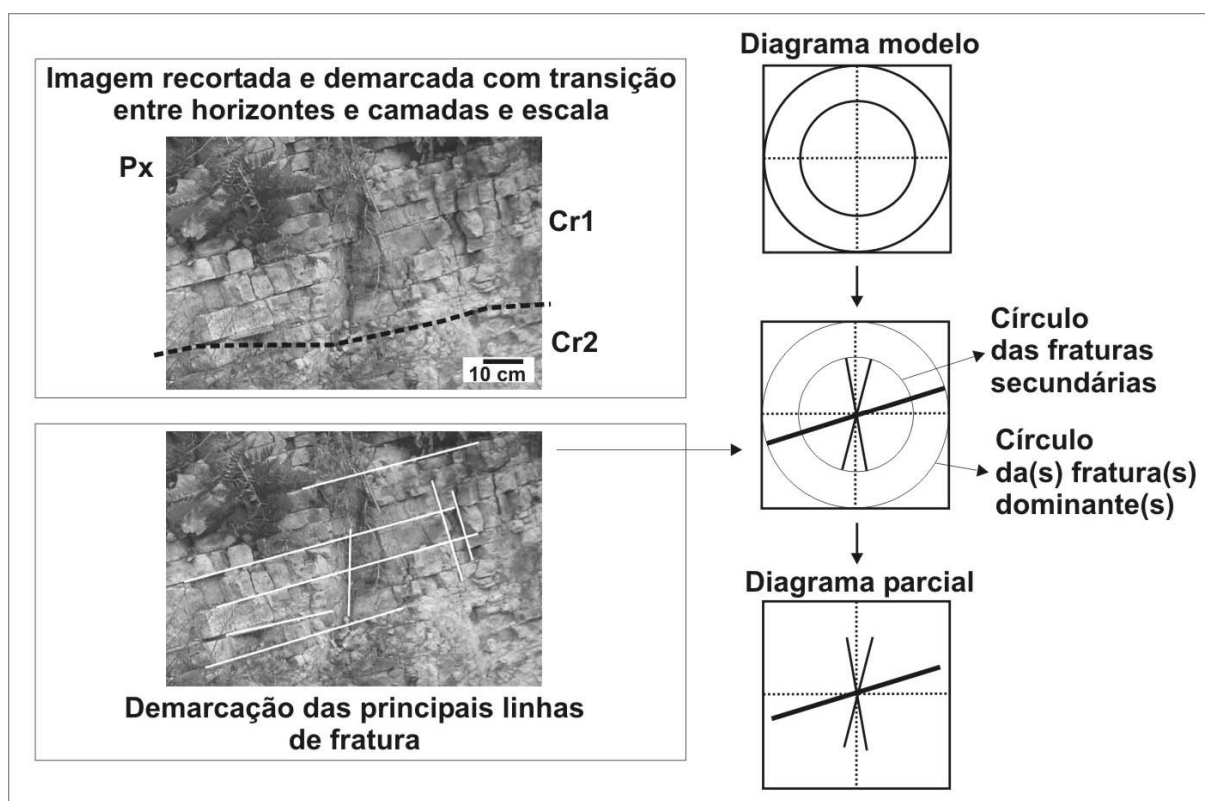


Figura 2.4. Esquema de preparação da imagem, diagrama modelo, ângulos de inclinação e montagem do diagrama de fraturas.

No diagrama modelo, as linhas que representam as fraturas dominantes são posicionadas no centro, com extensão do círculo maior. As linhas que representam as fraturas dominantes aparecem com espessura superior àquelas que representam as fraturas secundárias, as quais, por sua vez, são posicionadas no centro do diagrama modelo, na extensão do círculo menor. Caso o perfil não apresente

fraturas dominantes, todas as linhas no diagrama serão posicionadas no círculo menor.

É importante ressaltar que no campo, no momento do registro fotográfico, é fundamental a utilização de uma escala visível para balizamento da imagem. Anotações de campo, como espessura das fraturas, ângulo de inclinação em relação ao nível (inclinação horizontal), sentido dominante e preenchimento das fraturas com solo ou raízes, apoiarão a construção do diagrama de fraturas no laboratório e agregarão informações na apresentação final do diagrama.

Além das linhas que indicam as fraturas dominantes e secundárias, o diagrama também apresenta informações sobre o ângulo de mergulho e o sentido do mergulho, conhecidos como “atitudes” dos planos formados pelas fraturas. Esses conhecimentos foram agregados da área de geociências, mais especificamente, do tema “atitudes de estruturas geológicas” (Ragan, 1985; Marshak, 1998), visando a integração de técnicas existentes e de áreas profissionais distintas. Na Figura 2.5 são apresentados modelos guias para a obtenção do ângulo de mergulho e do azimute do sentido do mergulho, bem como a representação final do diagrama de fraturas.

O ângulo de mergulho é a inclinação que os planos de fraturas apresentam em relação à linha horizontal. A sua determinação é feita com a demarcação das linhas de fraturas dominantes na imagem do perfil (ver Figura 2.4) e sua sobreposição ao modelo guia de ângulos de mergulho. O sentido do mergulho é o ângulo entre o Norte geográfico e uma linha horizontal que indica o rumo do mergulho. O sentido do mergulho é obtido pelo sistema azimutal, devido a maior facilidade de anotação e análise computacional dos dados e devido à possibilidade de utilização de bússolas comuns, disponíveis no mercado.

Conforme o exemplo da Figura 2.5, a notação do ângulo e sentido do mergulho é composta pelos seguintes elementos: azimute do sentido do mergulho, sempre com o Norte como referência (N255), e ângulo do mergulho com a indicação do quadrante geográfico (11SW), sendo a notação final dada pelo termo “N255/11SW”.

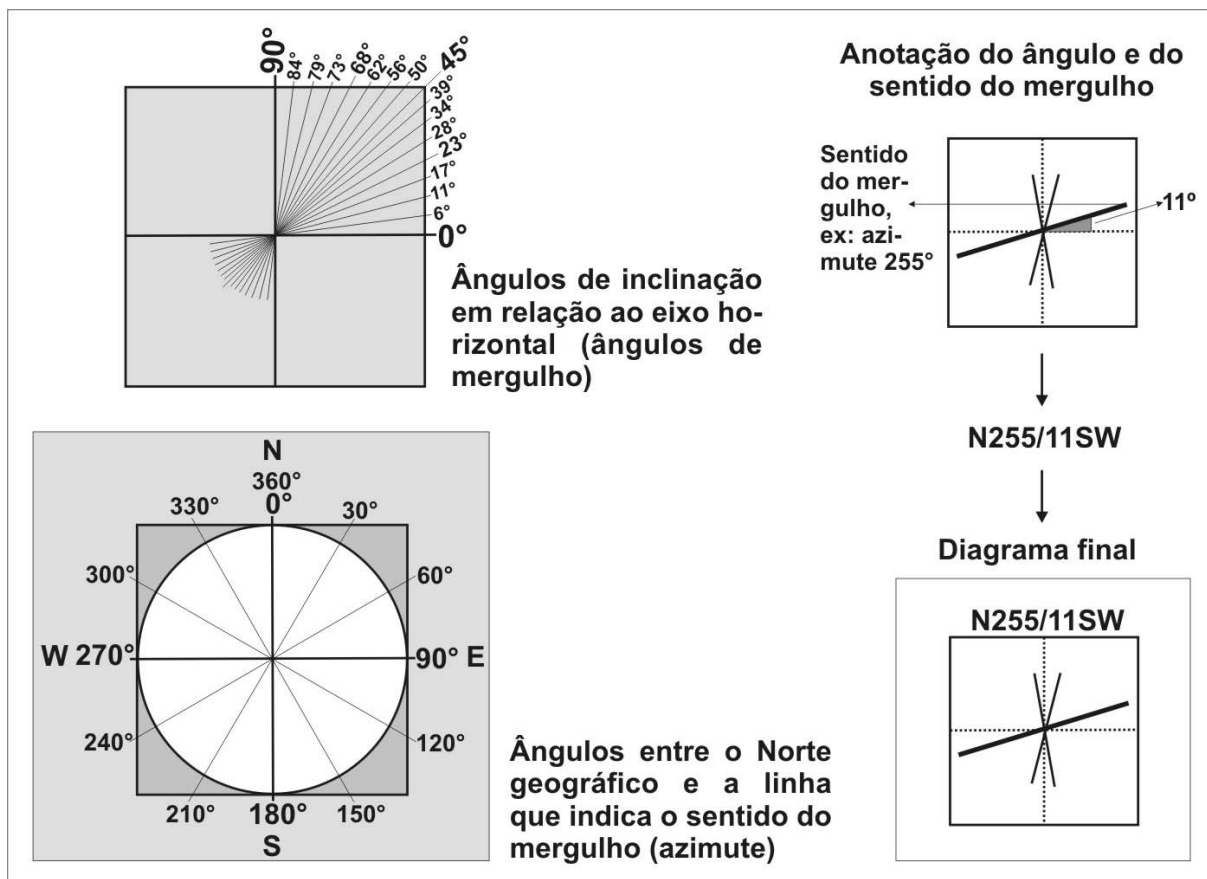


Figura 2.5. Anotação de atitudes das estruturas geológicas e configuração final do diagrama de fraturas.

Na Figura 2.6, apresenta-se as três faces ideais para obtenção dos diagramas de fraturas. A análise dessas três faces permite conhecer com maior detalhe a configuração de fraturas do perfil. No entanto, devido a dificuldades logísticas de campo, geralmente é obtida somente a face Y (frontal).

A apresentação final do diagrama de fraturas é sugerida na Figura 2.7. A imagem demarcada com transição, horizontes e camadas e identificação do perfil é colocada juntamente com o diagrama de fraturas e uma descrição detalhada da configuração e situação das fraturas no referido perfil.



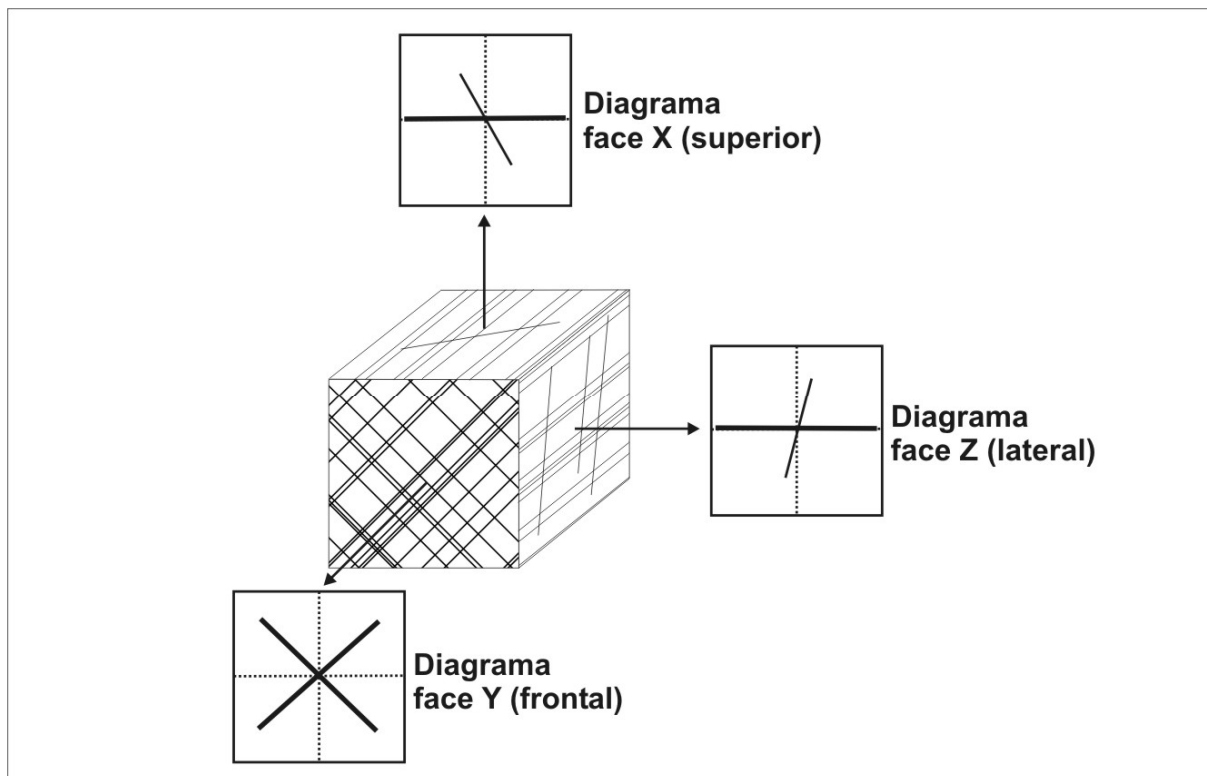


Figura 2.6. Representação das três faces onde são obtidos os dados para construção do diagrama de fraturas.

	Imagem do perfil	Diagrama	Descrição
Px	<p>Cr1</p> <p>Cr2</p>	<p>N235/2SW</p>	<p>Fraturas abundantes no Cr1 e Cr2, dispostas, predominantemente, no sentido horizontal (<math>2^\circ</math>). Apresentam espessura de até 1 cm, com espessamento menor que 10 cm entre fraturas, as quais são preenchidas, em sua maioria, com solo e raízes.</p>
Py	<p>Cr1</p> <p>Cr2</p>	<p>N255/11SW</p>	<p>Fraturas abundantes no Cr1 e Cr2, dispostas, predominantemente, a <math>12^\circ</math> do eixo horizontal, com pequena variação angular. Apresentam espessura de até 1 cm, com espessamento menor que 10 cm entre fraturas, as quais são preenchidas, em sua maioria, com solo e raízes.</p>

Figura 2.7. Sugestão de apresentação final do diagrama de fraturas da face Y (frontal).

### **Análise de raízes**

As raízes coletadas em cada horizonte, pelo método da escavação, usado para determinação da densidade do sistema solo-saprolito, foram pesadas após secas a 105° C. Os valores de raízes (massa seca) dos diferentes horizontes foram corrigidos para um mesmo volume de coleta e, posteriormente, expressos em percentagens de raízes em relação à massa total de raízes do perfil. Também foram anotadas a arquitetura das raízes e a tipologia botânica. A percentagem de raízes estimada pela massa seca foi comparada à estimativa obtida pela observação visual no campo conforme Santos et al. (2005).

### **Testes de resistência à escavação dos materiais**

Testes morfológicos para identificar o contato solo-saprolito-rocha foram utilizados para comparação com características químicas e mineralógicas. Foram aplicados os testes da faca e do martelo pedológico (Speight & Isbell, 1979 apud Buol, 1989), da pá reta (Soil Survey Staff, 1993) e as classes de intemperismo de Clayton et al. (1979). A análise dos resultados desses testes foi usada para a proposição de um quadro com classes de intemperismo que mais refletem a evolução das rochas e saprolitos sob Neossolos derivados de rochas vulcânicas no RS. As tabelas e quadros dos testes supracitados são apresentados no Apêndice 3.

## **Capítulo 3**

# **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE SAPROLITOS E NEOSSOLOS DERIVADOS DE ROCHAS VULCÂNICAS DA BACIA DO PARANÁ NO RIO GRANDE DO SUL**

## **Caracterização química e mineralógica de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**

### **3.1. Introdução**

Os Neossolos Litólicos e Regolíticos são solos que apresentam contato lítico relativamente próximo à superfície, o que influencia o seu potencial ecológico e tecnológico. São solos pouco pesquisados devido ao seu baixo potencial agrícola, porém, nas últimas décadas, a pressão de uso agrícola e urbano sobre estes solos vem justificando a demanda por conhecimentos mais específicos em relação à sua gênese, mineralogia, química, física e morfologia, a fim de se evitar a degradação das áreas exploradas. A menor disponibilidade de dados científicos sobre os Neossolos rasos se reflete no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, onde os Neossolos correspondem à classe que mais necessita aperfeiçoamento (Vidal-Torrado, 2007).

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) apresenta diferentes regiões fisiográficas caracterizadas por particularidades em relação ao regime hídrico, à temperatura, à radiação solar, ao relevo e à geologia, as quais afetam a gênese dos solos (Brasil, 1973; Kämpf & Schwertmann, 1983; Streck et al., 2002; Dalmolin & Pedron, 2004). No RS, são encontrados estudos de gênese e mineralogia somente para solos desenvolvidos, com horizonte B diagnóstico. Trabalhos que abordam os Neossolos como os de Cogo (1972) e Kämpf et al. (1995b), são restritos à região da Campanha. O conhecimento das diferenças químicas e mineralógicas entre os Neossolos, impostas pelo ambiente de formação, é fundamental para o entendimento do comportamento desses solos quando submetidos ao uso antrópico.

Em relação à gênese dos solos, conhecer a contribuição do clima atual para este processo é importante. Considerando que parte dos solos gaúchos iniciou sua formação em climas passados, como exemplo os Latossolos do Planalto (Kämpf & Schwertmann, 1983), é importante analisar a situação dos solos pouco desenvolvidos, que apresentam sua gênese e composição mineralógica sujeita às condições ambientais atuais, pois são menos influenciados por paleoclimas, oferecendo a melhor oportunidade para o estudo da mineralogia como indicador

ambiental. O estudo dos Neossolos pode auxiliar no entendimento dos processos pedogenéticos atuais, bem como sua evolução em termos de resultados mineralógicos, morfológicos e químicos.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo o estudo das características químicas e mineralógicas de materiais de rocha-saprolito-solo provenientes de cinco perfis de Neossolos, dispostos em uma lito-climoseqüência sobre rochas vulcânicas, da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul, visando à identificação da evolução mineralógica e a sua relação com o comportamento químico, físico e morfológico dos solos.

### **3.2. Resultados e discussões**

#### **Características químicas dos saprolitos e solos**

Todos os perfis analisados apresentaram boa drenagem e ocorrem em relevo predominantemente ondulado, com exceção do P1 e do P5 que se encontram em locais suave ondulado. Na Tabela 3.1 são mostrados dados de profundidade e granulometria dos perfis. A seqüência de horizontes (Hz) é A – Cr – R, indicando que os perfis apresentam uma camada ou Hz saprolítico entre a rocha e o Hz A, com exceção do P4, que apresentou contato lítico logo abaixo do Hz A, conforme dados morfológicos (ver capítulo 4).

Os dados referentes à granulometria da fração total (Tabela 3.1), mostram que a fração grosseira (> 2 mm) aumenta do Hz A em direção à rocha em todos os perfis. A contribuição de fragmentos grosseiros em relação ao total no Hz A variou desde 23 % no P5 até 76 % no P2. No Hz subsequente, a variação foi de 59 % no P5 até 87 % no P2.

Em relação aos teores de argila, o P3 apresentou os valores mais baixos, de 158 g kg<sup>-1</sup> no Hz A, enquanto o P4 e o P5 mostraram valores mais elevados, de 368 g kg<sup>-1</sup> e 553 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, no Hz A. Os teores de argila aumentam em profundidade em todos os perfis, exceto no P5. É importante ressaltar que nos Hz subsuperficiais a variação de terra fina foi de 2 % a 29 %, o que indica uma possível transferência de argila dos Hz superficiais para estes. Os dados de argila natural (dispersa em água), maiores nos Hz subsuperficiais, onde os teores de argila total são mais elevados, e os dados de cor da fração terra fina (ver Capítulo 4), idênticos

em todos os Hz do perfil, contribuem para essa hipótese (Graham et al., 1994). Esses dados sugerem que o processo de transferência de argila se sobrepõe à formação de argila pelo intemperismo.

Tabela 3.1. Caracterização granulométrica dos perfis estudados.

Perfil	Hz.	Prof. <sup>1</sup> cm	Granulometria fração total		Granulometria terra fina				AD <sup>2</sup>	GF <sup>3</sup> %	Silte/ argila
			Cascalho +calhaus	Terra fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
			g kg <sup>-1</sup>								
1	A	0-15	640	360	129	346	330	195	62	68	1,69
	Cr/A	-30	830	170	75	347	352	226	88	61	1,56
	Cr	-70	870	140	38	268	357	337	132	61	1,06
	RCr	-180	980	20	55	243	356	346	173	50	1,03
2	A	0-21	760	240	89	154	475	283	102	64	1,68
	Cr1	-90	870	130	48	148	459	345	180	48	1,33
	Cr2	-182	880	120	21	243	415	322	190	41	1,29
3	A	0-30	590	410	20	168	655	158	58	63	4,16
	Cr/A	-110	780	220	12	189	652	147	66	55	4,43
	Cr	-170	770	230	3	205	591	200	144	28	2,95
4	A	0-40	750	250	55	169	407	368	58	84	1,11
	RCr1	-85	850	150	8	197	389	406	51	87	0,96
	RCr2	-280	960	40	-	-	-	-	-	-	-
5	A	0-20	230	770	25	73	349	553	100	82	0,63
	Cr/A	-45	590	410	23	102	375	500	116	77	0,75
	Cr1	-78	710	290	4	178	489	329	139	58	1,49
	Cr2	-205	960	40	-	-	-	-	-	-	-

<sup>1</sup> Prof.: profundidade;

<sup>2</sup> AD: argila natural (dispersa em água);

<sup>3</sup> GF: grau de flocculação.

O GF é usado na estimativa da estabilidade de agregados no solo. Verificou-se que os valores mais elevados encontram-se nos Hz superficiais, possivelmente, devido à influência da matéria orgânica. Destacam-se o P4 e o P5 com GF mais elevados que os demais perfis, o que está de acordo com a elevação dos teores de carbono orgânico e Al como efeito da variação climática ao longo do transeto (Kämpf & Schwertmann, 1983; Dalmolin et al., 2006). Ainda, tais valores de GF podem ser indicativos de uma condição de intemperismo mais avançada, onde uma maior estabilidade de agregados é conferida pela relação entre óxidos e oxi-hidróxidos com a matéria orgânica (Sposito, 1989; Stevenson, 1994). Essa hipótese é apoiada também pelos valores da relação silte-argila do P4 e P5 em relação aos do P1, P2 e P3.

Analisando-se os dados químicos de rotina para os 5 perfis (Tabela 3.2), observou-se que a variação climática e geológica ao longo da lito-climosequência afeta as características dos Neossolos. O P1, P2 e P3, derivados de basaltos, ocorrem em clima menos favorável à lixiviação que o P4 e P5, derivados de rochas ácidas. As evidências da diferença geológica entre os perfis são encontradas nos teores de Al trocável observados nos saprolitos moídos, que são mais elevados no P4 e P5 que nos demais, e nos valores de ferro (Fe), Al, silício (Si) e titânio (Ti) para as amostras de rochas do P1 (basalto) e P5 (rocha ácida), apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.2. Caracterização química dos perfis avaliados.

Perfil	Hz <sup>1</sup>	pH			Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	CTC <sup>2</sup>	V	Al	Corg.
		H <sub>2</sub> O	KCl	$\Delta^3$										
1	A	5,7	5,1	-0,6	5,6	1,5	0,90	0,17	0,1	2,8	10,94	74	1	21,94
	Cr/A	5,3	4,4	-0,9	6,8	1,6	0,23	0,26	0,3	2,9	11,81	75	3	11,78
	Cr	5,3	4,3	-1,0	8,5	2,4	0,25	0,33	0,6	3,5	14,96	77	5	12,02
	RCr	5,6	4,5	-1,1	9,0	2,6	0,26	0,40	0,3	2,9	15,14	81	2	12,20
	As	5,5	4,3	-1,2	14,0	3,5	0,51	0,23	0,4	2,2	20,45	89	2	2,15
	Cr/As	5,7	4,2	-1,5	14,6	3,4	0,16	0,30	0,5	2,0	20,47	90	3	1,32
	Crs	5,7	4,0	-1,7	17,5	4,4	0,14	0,40	1,3	2,3	24,65	91	5	0,84
2	A	6,0	5,2	-0,8	7,8	2,2	1,26	0,10	0,0	3,2	14,52	78	0	36,82
	Cr1	5,9	5,0	-0,9	6,6	1,6	0,66	0,10	0,1	3,0	11,91	75	1	17,04
	Cr2	5,9	4,9	-1,0	6,6	2,3	0,31	0,29	0,1	2,6	12,07	79	1	7,17
	Cr1s	6,5	5,4	-1,1	4,8	1,2	0,92	0,21	0,0	1,9	9,06	79	0	2,75
	Cr2s	6,4	5,1	-1,3	4,9	1,9	0,31	0,36	0,1	2,1	9,51	78	1	1,26
3	A	5,7	4,9	-0,8	6,5	1,6	1,34	0,16	0,1	3,1	12,69	76	1	25,53
	Cr/A	5,4	4,5	-0,9	3,9	0,6	0,44	0,15	0,3	2,7	7,70	65	6	13,03
	Cr	5,7	4,3	-1,4	5,4	1,8	0,77	0,26	0,4	2,3	10,54	78	5	4,66
	As	6,3	4,7	-1,6	4,5	1,3	0,13	0,20	0,1	1,2	7,30	84	2	1,79
	Cr/As	5,9	4,2	-1,6	4,5	0,8	0,42	0,21	0,4	1,5	7,41	80	6	1,66
Crs	6,0	4,4	-1,6	5,9	2,0	1,03	0,52	0,3	2,2	11,67	81	3	6,52	
4	A	4,4	3,8	-0,5	1,1	0,4	0,39	0,15	8,6	14,8	16,83	12	81	49,80
	RCr1	4,5	3,9	-0,7	0,6	0,2	0,17	0,10	10,1	14,7	15,80	7	90	35,84
	As	4,7	3,9	-0,8	0,7	0,6	0,10	0,19	10,1	9,8	11,34	14	87	7,88
	RCr1s	4,8	4,0	-0,9	0,5	0,2	0,07	0,16	8,3	8,7	9,60	10	90	6,79
5	A	4,6	3,8	-0,8	0,9	0,4	0,22	0,17	6,7	10,2	11,91	14	80	39,31
	Cr/A	4,5	3,8	-0,7	0,7	0,2	0,06	0,08	7,3	9,5	10,57	10	87	26,60
	Cr1	4,8	3,9	-0,9	0,6	0,2	0,02	0,06	8,8	7,5	8,37	11	91	7,16
	Cr/As	5,0	3,9	-1,2	0,7	0,2	0,02	0,20	10,2	7,5	8,66	13	90	3,93
	Cr1s	5,4	3,9	-1,4	0,6	0,2	0,03	0,23	9,7	6,9	7,97	13	90	2,34
	Cr2s	5,2	3,9	-1,2	0,6	0,3	0,04	0,10	9,2	7,4	8,39	12	90	1,01

<sup>1</sup> Horizontes seguidos da letra "s" subscrita representam as amostras de saprolitos (moídas);

<sup>2</sup> CTC a pH 7,0.

<sup>3</sup>  $\Delta$  = variação.

Conforme dados de Ker & Resende (1990), a elevada perda de bases nos perfis encontrados a Nordeste do RS é resultado da lixiviação de materiais

promovida pelas condições ambientais locais (baixas temperaturas, precipitação elevada e baixa evapotranspiração). O acréscimo de carbono orgânico nessa região do Estado foi explicado, por Dalmolin et al. (2006), como sendo resultado do aumento da umidade, acentuado pelos teores mais elevados de argila, sugerindo a formação de complexos organo-minerálicos que contribuem para a proteção da matéria orgânica e acúmulo de carbono orgânico nos solos.

Essa tendência de maior perda de bases e acréscimo nos teores de carbono orgânico nos Hz superficiais, nos perfis encontrados a nordeste no RS, como resultado das condições ambientais, também é evidente em outros trabalhos: Kämpf & Klamt (1978), Pötter & Kämpf (1981), Kämpf & Dick (1984) e Almeida et al. (1997).

Os valores de CTC pH7 são considerados altos em todos os perfis nos Hz superficiais, segundo a SBCS (2004). A acidez dos solos, caracterizada pelo Al e H+Al, pode ser indicadora de intemperismo avançado. No P4 e P5, há uma maior acidez em relação aos demais, também indicada pelos valores de pH, enquanto a soma de bases (Ca+Mg+Na+K) é maior no P1, P2 e P3. Outro aspecto interessante de se analisar é a soma de bases nos materiais saprolíticos. No P1 houve aumento de bases nas amostras de saprolito moídos, sugerindo que a condição de intemperismo dos saprolitos, quando moídos, permite o aparecimento de superfícies de troca e o conseqüente ataque dos reagentes químicos extratores, com a liberação de elementos químicos, contudo, não foi analisada, neste trabalho, a efetividade destas cargas no campo.

Em relação aos valores de  $Fe_t$ ,  $Mn_t$  e  $Ti_t$  (Tabela 3.3), verificou-se que as amostras de terra fina dos perfis derivados de basalto tendem a apresentar valores mais elevados que os perfis derivados de rochas ácidas. Em contrapartida, os valores de  $Al_t$  e  $Si_t$  foram mais elevados nos perfis derivados de rochas ácidas. Os dados provenientes do ataque sulfúrico conferem com as características químicas dos materiais de origem e com as observações de Kämpf & Dick (1984) e Ker & Resende (1990), para os solos da região dos Campos de Cima da Serra, no RS.

Nas amostras de terra fina, foram verificados valores de ki mais elevados para o P1, P2 e P3, indicando maior grau de silicificação, enquanto o P4 e o P5 apresentam maior lixiviação de Si (dessilicificação). Para as amostras de saprolitos moídos, o P3 e o P5 apresentaram valores de ki inferiores aos da terra fina, sugerindo uma condição de intemperismo mais intensa, o que foge à lógica da



fração fina ser mais intemperizada que a fração grosseira que a deu origem, além de não conferir com os dados de difratometria de raios-x.

Tabela 3.3. Teores de Fe, Al, Si, Mn e Ti totais obtidos pelo ataque sulfúrico e índices ki e kr.

Perfil	Hz*	Fe <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Si <sub>t</sub>	Mn <sub>t</sub>	Ti <sub>t</sub>	ki	kr
		g kg <sup>-1</sup>						
1	A	123,3	33,0	46,2	2,3	13,1	2,70	0,96
	Cr/A	123,6	52,6	77,0	2,0	13,3	2,82	1,32
	Cr	112,5	64,8	93,8	1,6	8,9	2,79	1,52
	RCr	101,4	65,4	91,0	1,9	8,6	2,68	1,54
	As	138,3	84,8	130,2	1,9	7,7	2,96	1,66
	Cr/As	133,6	86,4	134,4	1,7	8,3	3,00	1,72
	Crs	128,9	72,5	127,4	1,1	8,2	3,39	1,83
	R	48,8	5,7	13,5	0,5	4,7	4,56	0,89
2	A	113,3	61,9	66,3	1,9	9,7	2,06	1,10
	Cr1	114,5	82,4	80,7	1,6	8,3	1,89	1,13
	Cr2	101,7	105,1	111,5	1,9	5,3	2,05	1,40
3	A	55,1	37,0	61,6	1,7	4,9	3,21	1,87
	Cr/A	58,5	34,9	40,1	2,3	5,0	2,22	1,23
	Cr	66,9	78,7	91,9	0,7	5,3	2,25	1,60
	As	47,5	44,3	58,8	0,9	3,5	2,56	1,69
	Cr/As	54,7	50,6	52,7	1,2	3,5	2,01	1,32
4	Crs	63,8	121,6	133,9	0,5	4,1	2,12	1,70
	A	53,6	78,1	75,1	0,6	3,5	1,85	1,39
5	RCr1	57,1	99,2	81,7	0,4	4,1	1,59	1,24
	A	58,8	97,8	95,2	0,4	5,5	1,88	1,46
	Cr/A	64,1	106,6	94,3	0,3	5,3	1,71	1,32
	Cr1	78,8	110,9	90,5	0,5	5,9	1,57	1,17
	As	78,8	81,3	62,1	1,0	5,5	1,47	1,00
	Cr/As	83,2	119,3	67,7	0,5	5,9	1,09	0,82
	Cr1s	101,4	102,3	66,7	0,5	7,2	1,26	0,85
	R	35,5	177,6	187,6	0,2	2,0	2,04	1,86

\* Horizontes seguidos da letra "s" subscrita representam as amostras de saprolitos (moídas).

Conforme citação de Melo et al. (1995), solos com valores de ki superiores a 2,2 apresentam porção significativa de minerais 2:1. Nesse caso, novamente formam-se dois grupos, onde o P1, P2 e o P3 apresentam ki superior a 2,0, e o P4 e P5 inferior a 1,88. Segundo critérios da Embrapa (2006), todos os perfis são considerados caulíníticos por apresentarem valores de ki e kr superiores a 0,75. Os valores de ki e kr das amostras de terra fina do P4 e P5 são semelhantes aos valores de 1,95 e 1,24, respectivamente, encontrados por Ker & Resende (1990) em Latossolos da região dos Campos de Cima da Serra, sugerindo o avançado estágio de intemperismo dos Neossolos desta região.

As relações entre elementos totais, elementos nos óxidos cristalinos e aqueles nos minerais amorfos são apresentados na Tabela 3.4. Os valores mais elevados de Fed nas amostras de terra fina foram observados no P2 e P3, seguidos pelo P5. Nas amostras de saprolitos os valores de Fed ficaram entre 15 e 68 g kg<sup>-1</sup>, valores esses inferiores aos encontrados por Kämpf & Schwertmann (1995), em saprolitos de basaltos e riólitos, de 47 a 354 g kg<sup>-1</sup>.

Tabela 3.4. Valores de ferro, alumínio e manganês, provenientes de óxidos pedogenéticos e amorfos, extraídos com dcb e oxalato, e suas relações.

Perfil	Hz*	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub> / Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Al <sub>o</sub>	Al <sub>d</sub> / Al <sub>t</sub>	Al <sub>o</sub> / Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>	Mn <sub>o</sub>	Mn <sub>d</sub> / Mn <sub>t</sub>	Mn <sub>o</sub> / Mn <sub>d</sub>
1	A	48,1	3,7	0,4	0,08	0,8	0,4	0,02	0,5	2,4	2,0	1,0	0,9
	Cr/A	53,6	2,3	0,4	0,04	2,3	0,7	0,04	0,3	2,0	1,5	1,0	0,7
	Cr	46,7	1,9	0,4	0,04	2,3	1,5	0,04	0,6	2,1	1,0	1,3	0,5
	RCr	42,2	1,9	0,4	0,05	2,3	1,3	0,04	0,5	1,7	1,2	0,9	0,7
	As	42,4	2,5	0,3	0,06	3,0	1,0	0,04	0,3	1,8	1,4	0,9	0,8
	Cr/As	23,4	1,3	0,2	0,05	1,2	0,9	0,01	0,8	0,8	1,1	0,5	1,3
	Crs	38,4	0,8	0,3	0,02	2,8	1,3	0,04	0,5	0,9	0,5	0,8	0,6
2	A	63,1	2,3	0,6	0,04	5,7	1,6	0,09	0,3	1,2	1,2	0,6	1,0
	Cr1	67,8	2,3	0,6	0,03	6,4	2,2	0,08	0,3	0,9	1,1	0,6	1,2
	Cr2	74,0	2,1	0,7	0,03	8,6	1,8	0,08	0,2	0,7	1,3	0,4	1,9
	Cr1s	64,9	0,6	-	0,01	5,7	3,7	-	0,6	1,4	0,3	-	0,2
	Cr2s	68,7	1,2	-	0,02	3,3	2,2	-	0,7	0,9	0,5	-	0,6
3	A	21,7	1,5	0,4	0,07	1,4	1,2	0,04	0,8	1,1	1,3	0,6	1,2
	Cr/A	17,7	2,4	0,3	0,13	0,7	1,5	0,02	2,1	0,7	2,2	0,3	3,3
	Cr	23,9	1,5	0,4	0,06	1,6	1,2	0,02	0,8	1,6	0,6	2,3	0,4
	As	20,0	0,7	0,4	0,03	0,8	0,3	0,02	0,4	0,7	0,7	0,8	1,1
	Cr/As	26,5	0,7	0,5	0,03	2,2	0,3	0,04	0,1	0,3	0,5	0,3	1,6
4	Crs	21,0	1,7	0,3	0,08	2,3	1,6	0,02	0,7	0,6	0,3	1,2	0,6
	A	19,9	3,4	0,4	0,17	8,5	5,2	0,11	0,6	0,5	0,4	0,8	0,8
	RCr1	14,7	3,5	0,3	0,24	8,2	6,8	0,08	0,8	0,1	0,2	0,3	1,5
	As	21,8	2,4	-	0,11	12,4	10,7	-	0,9	0,0	0,3	-	0,1
5	RCr1s	15,7	1,7	-	0,11	9,8	13,4	-	1,4	0,3	0,1	-	0,4
	A	36,5	1,8	0,6	0,05	8,3	3,4	0,08	0,4	0,3	0,2	0,8	0,5
	Cr/A	39,5	2,0	0,6	0,05	7,9	3,1	0,07	0,4	0,2	0,1	0,7	0,6
	Cr1	40,3	0,9	0,5	0,02	6,0	2,3	0,05	0,4	0,2	0,1	0,4	0,4
	Cr/As	41,1	1,2	0,5	0,03	5,7	2,0	0,07	0,4	0,1	0,2	0,1	1,5
	Cr1s	26,0	0,6	0,3	0,02	6,2	2,0	0,05	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0
	Cr2s	18,9	1,0	0,2	0,05	4,6	3,9	0,04	0,9	0,3	0,6	0,6	1,7

\* Horizontes seguidos da letra "s" subscrita representam as amostras de saprolitos (moídas).

Os teores de Fed podem variar conforme o material de origem. De acordo com Pötter & Kämpf (1981) e Kämpf & Dick (1984), rochas mais ácidas como o riólito e o dacito conferem aos solos valores inferiores de Fed que as rochas básicas como o basalto. Os valores de Ald, mais elevados para o P4 e o P5, e Mnd, mais elevados

para o P1, P2 e o P3, também correspondem às características impostas pelas rochas de origens.

A relação Fed/Fet permite a estimativa de Fe em minerais secundários em relação ao Fe em minerais primários e secundários. Nas amostras de terra fina, verificou-se que o P1, P3 e o P4 apresentaram valores inferiores, variando de 0,3 a 0,4, enquanto o P2 e o P5 apresentaram valores entre 0,5 a 0,7, indicando que o P1, P3 e o P4 possuem pelo menos 60 % do Fe alocado em silicatos, enquanto o P2 e o P5 possuem pelo menos 30 % do Fe nos silicatos.

Os valores para a relação Fed/Fet encontrados para os cinco perfis são inferiores aos encontrados por Kämpf & Dick (1984), para Latossolos do Nordeste do RS (0,85-0,99), e por Dalmolin et al. (2006), para Latossolos do Planalto do RS (0,7-1,0). No entanto, esses valores são próximos dos encontrados por Kämpf & Dick (1984) para Hz B de Cambissolos do Nordeste do RS (0,48-0,77), indicando o menor grau de evolução dos Neossolos em comparação com os Latossolos e grau similar com os Cambissolos.

As relações Ald/Alt e Mnd/Mnt seguem o mesmo comportamento da relação Fed/Fet, no que se refere aos valores encontrados nos perfis. Porém, os valores de Al alocados em minerais silicatados e óxidos de Al são mais elevados, variando de 98 % a 89 % do Alt.

A medida do Feo/Fed indica o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe. Os valores dessa relação apontam para o predomínio de óxidos de Fe bem cristalizados em todos os perfis, com variação de 98 % a 76 %. O P4 apresenta maiores teores de Fe mal cristalizados. Considerando que as formas de baixa cristalinidade compreendem a ferrihidrita (Kämpf & Dick, 1984), há uma proporção considerável desses minerais que podem corresponder até 24 % do valor de Fed no Hz RCr1 do P4.

Valores elevados de Feo nos Hz superficiais são atribuídos, geralmente, à complexação do Fe pela matéria orgânica (MO), a qual retarda a cristalização dos óxidos de Fe (Schwertmann, 1966; Pötter & Kämpf, 1981; Kämpf & Dick, 1984). Esse comportamento não foi observado nos perfis estudados, com exceção do P4, ou a interferência da MO deu-se também em profundidade nos demais perfis. A presença de minerais de baixa cristalinidade foi relatada por Kämpf & Klamt (1978) nos solos do Planalto Médio e Superior do RS, onde desempenham o papel de precursor dos minerais secundários na rota de intemperismo.

Os valores da relação Al<sub>o</sub>/Al<sub>d</sub> foram intermediários e muito semelhantes entre os cinco perfis. O P2 e o P5 apresentaram valores inferiores de 0,3 e 0,4, respectivamente. Para a relação Mn<sub>o</sub>/Mn<sub>d</sub>, os valores foram maiores no P2, P3 e no P4, variando de 0,4 a 3,3. As relações sugerem predomínio de Fe, Al e Mn nos óxidos cristalinos, com exceção do Mn nos P2, P3 e no P4. Valores mais altos de Al<sub>d</sub> no P4 e no P5 sugerem maior substituição de Fe por Al nos óxidos e oxihidróxidos de Fe desses perfis. Da mesma forma, valores superiores de Mn<sub>d</sub> no P1, P2 e no P3 sugerem maior substituição de Fe por Mn nesses perfis.

### Mineralogia das rochas

Os difratogramas das amostras de rocha são apresentados na Figura 3.1. Observa-se uma similaridade na composição mineralógica das rochas, com maior frequência de piroxênios, plagioclásios, feldspatos potássicos, olivinas, biotita, muscovita, magnetita e quartzo. Os minerais mais freqüentes e seus respectivos reflexos são apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5. Minerais mais freqüentes nas amostras de rochas dos perfis analisados e seus principais reflexos (Brindley & Brown, 1980; Resende et al., 2005).

<b>Minerais</b>	<b>Principais reflexos (nm)</b>
Plagioclásios	0,651 - 0,377 - 0,364 - 0,315 - 0,301
Piroxênios	0,321 - 0,301 - 0,257
Ortoclásios (feldspatos-K)	0,405 - 0,299
Quartzo	0,426 - 0,334 - 0,246 - 0,182 - 0,154
Magnetita-maghemita	0,295 - 0,252 - 0,161 - 0,128
Muscovita	1,00 - 0,199 - 0,149
Anfibólio	0,321 - 0,270
Cristobalita	0,405 - 0,284 - 0,249 - 0,188
Anatásio	0,188 - 0,125
Biotita	0,203 - 0,167
Olivina	0,252 - 0,228
Clorita	1,44 - 0,71

O P1, P2 e o P3 apresentam um padrão de difração muito semelhante, embora o P3 tenha mostrado menor intensidade e ordem dos reflexos. Houve uma tendência de redução da intensidade dos reflexos dos piroxênios, olivinas, magnetita-maghemita e plagioclásios e um aumento da intensidade dos reflexos do

quartzo do P1 em direção ao P5. Esse comportamento está de acordo com a natureza das rochas, básicas no P1, P2 e no P3 e ácidas no P4 e P5.

Foram identificados traços de hematita nos reflexos 0,145 e 0,118 nm. A presença desse óxido de Fe nas amostras de rocha deve-se à possível condição de alteração mais avançada de fragmentos da camada superficial das amostras de rocha. Contudo, as rochas coletadas no campo apresentaram coloração, dureza e estrutura aparente de rocha sã, ou muito pouco alterada. Corrêa (2003), estudando rochas básicas da Formação Serra Geral, também observou a formação de óxidos de Fe na superfície de alteração da rocha.

Os reflexos correspondentes à cristobalita, em 0,405, 0,284 e 0,188 nm, tornam-se mais evidentes no P4. Segundo Clemente (2001), a presença de cristobalita em rochas ricas em Si tem sido verificada tanto como preenchimento de cavidades quanto como constituinte da massa de granulação fina.

Análise petrológica de rochas ácidas como dacitos e riodacitos da Formação Serra Geral, efetuadas no RS por IBGE (1986), apontam para a ocorrência de minerais como plagioclásio, feldspatos-K, quartzo e raramente piroxênios e olivinas. No entanto, estudos de Clemente (2001) em rochas ácidas da Formação Serra Geral efetuados na região da Serra Gaúcha e Campos de Cima da Serra, mostraram a presença de piroxênios como minerais predominantes, juntamente com os plagioclásios.

Conforme os trabalhos de IBGE (1986), Clemente (2001), Truffi & Clemente (2002) e Corrêa (2003), as espécies de piroxênios predominantes são a pigeonita e augita, e dentre os plagioclásios destacam-se toda a variação entre albita e anortita. Entre os feldspatos-K ocorre a sanidina, enquanto a hornblenda é a representante dos anfibólios.

A composição mineralógica das cinco rochas estudadas foi similar em termos qualitativos, porém foi possível identificar diferenças em termos quantitativos pela análise dos difratogramas. Diversos trabalhos têm mostrado a diversidade mineralógica de rochas vulcânicas básicas e ácidas no RS, e a análise dos difratogramas da Figura 3.1, mostra que a distribuição dos minerais, como por exemplo, a presença de olivina juntamente com muscovita e quartzo em todos os perfis, torna difícil o entendimento da natureza da rocha com o uso exclusivo de difratogramas de raios-x.

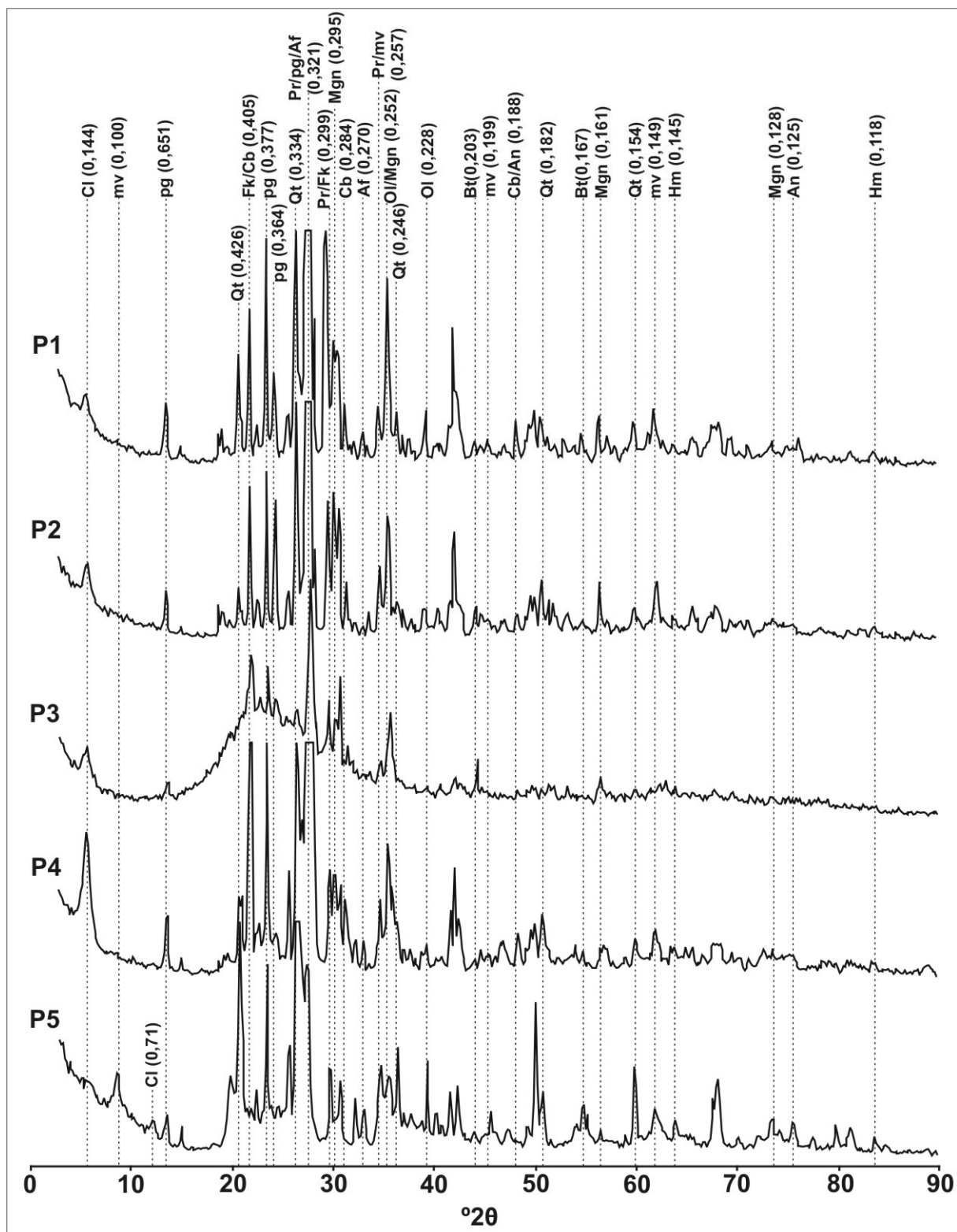


Figura 3.1. Difratogramas de raios-x das amostras de rochas dos perfis analisados (identificadas na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, mv: muscovita, pg: plagioclásio, Fk: feldspato-K, Cb: cristobalita, sm: esmectita, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, An: anatásio, Cl: clorita, Mgn: magnetita-maghemita, Ol: olivina e Hm: hematita.

## Mineralogia dos saprolitos

Os minerais mais freqüentes nos cinco perfis e seus respectivos reflexos são descritos na Tabela 3.6. As amostras de saprolito dos Hz A e Cr/A do P1 apresentaram um padrão mineralógico idêntico (Figura 3.2). Nesses Hz ocorrem os seguintes minerais: clorita, esmectita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita e biotita. No Hz Cr/A aparece ainda olivina, anatásio e a ferrihidrita.

Tabela 3.6. Minerais mais freqüentes nas amostras de saprolitos e seus principais reflexos (Brindley & Brown, 1980; Resende et al., 2005).

<b>Minerais</b>	<b>Principais reflexos (nm)</b>
Plagioclásios	0,651 - 0,377 - 0,364 - 0,315 - 0,301
Piroxênios	0,321 - 0,301 - 0,257
Ortoclásios (feldspatos-K)	0,405 - 0,299
Quartzo	0,426 - 0,334 - 0,246 - 0,182 - 0,154
Magnetita-maghemita	0,295 - 0,252 - 0,161 - 0,128
Muscovita	1,00 - 0,199 - 0,149
Anfibólio	0,321 - 0,270
Anatásio	0,188 - 0,125
Biotita	0,203 - 0,167
Olivina	0,252 - 0,228
Cristobalita	0,405 - 0,284 - 0,249
Clorita	1,54 - 0,71
Esmectita	1,70 - 1,44 - 0,257
Caulinita	0,715 - 0,358 - 0,198
Hematita	0,269 - 0,169 - 0,145 - 0,118
Goethita	0,418 - 0,415 - 0,269 - 0,245 - 0,224
Ferrihidrita	0,255 - 0,224 - 0,198 - 0,147
Lepidocrocita	0,193 - 0,173
Gibbsita	0,485 - 0,437

A configuração mineralógica similar entre os Hz A e Cr/A, em termos qualitativos, leva à crer que não houve contribuição significativa de material diferente da rocha de origem por processos de coluviamento. O relevo suave ondulado no local pode ter contribuído para o intemperismo autóctone desse perfil.

Os Hz Cr e RCr apresentaram um padrão de reflexos semelhante aos Hz subjacentes, porém, com alguns reflexos de minerais primários que já desapareceram nos Hz superficiais, como o caso dos plagioclásios, piroxênios e anfibólios no Hz RCr. Verificou-se no Hz RCr uma maior riqueza de reflexos entre os

ângulos 18 e 35° 2 $\theta$ , onde predominam minerais primários constituintes da rocha de origem.

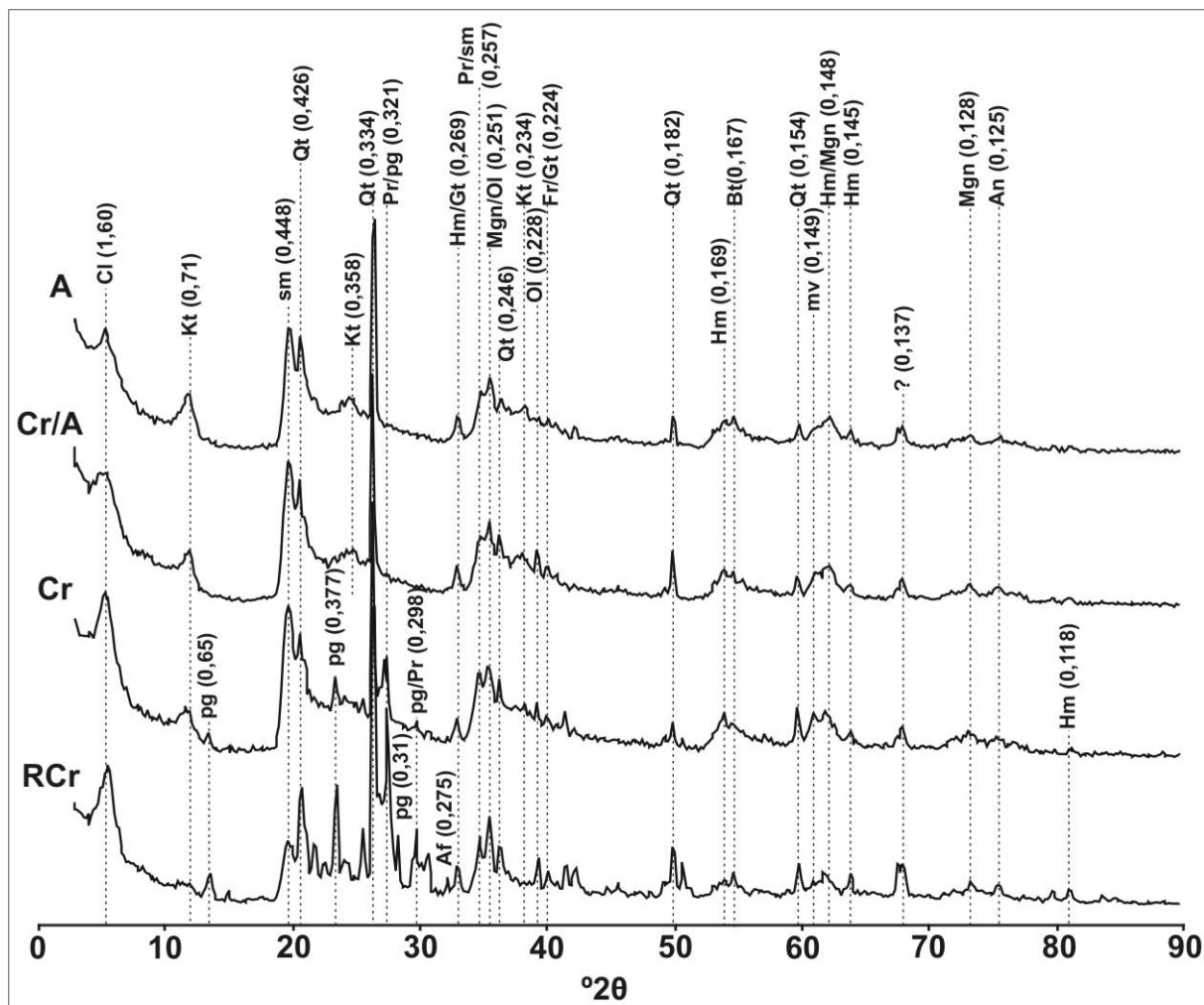


Figura 3.2. Difratoformas de raios-x das amostras de saprolito do perfil 1 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, mv: muscovita, pg: Plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, An: anatásio, Mgn: magnetita-maghemita, Ol: olivina, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita, Cl: clorita e sm: esmectita.

Houve um aumento do grau de alteração dos saprolitos do Hz RCr em direção à superfície do solo. O intemperismo nesse perfil vai desde a ausência de caulinita e predomínio de minerais primários, como quartzo, plagioclásio e piroxênio, no RCr, até a presença de minerais secundários como a caulinita, esmectita e óxidos de ferro nos saprolitos encontrados nos Hz superficiais. A clorita permanece em todos os Hz, mas aparenta ser mais intemperizada nos Hz superficiais.

O resultado da difratometria de raios-x para os saprolitos coletados nos hz. do P2 pode ser visto na Figura 3.3. Os três Hz do P2 apresentaram padrão



mineralógico semelhante, diferenciando-se apenas nas intensidades. Os minerais mais frequentes nos Hz do P2 são: muscovita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, olivina, anatásio, ferrihidrita, feldspato-K, plagioclásio, piroxênio e anfibólio.

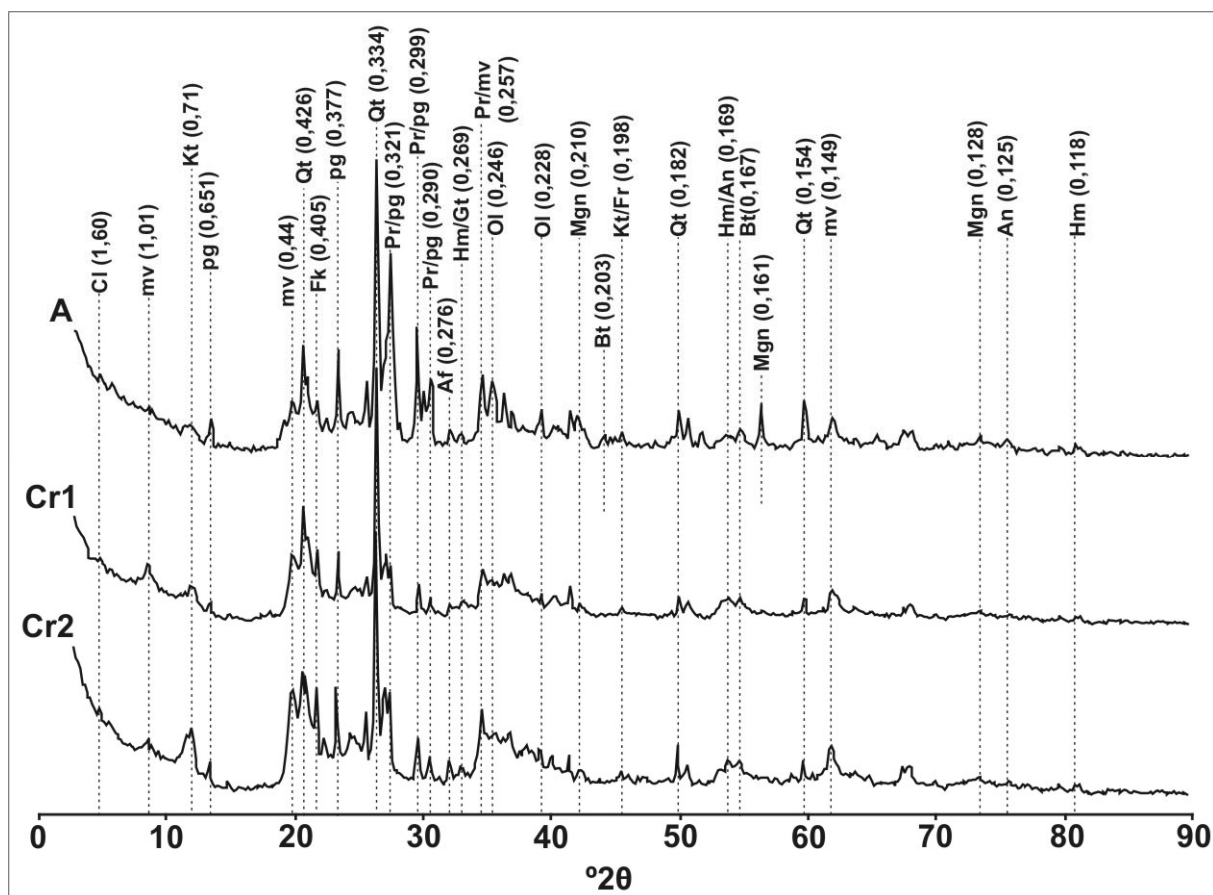


Figura 3.3. Difratogramas de raios-x das amostras de saprolito do perfil 2 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, mv: muscovita, pg: Plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, An: anatásio, Mgn: magnetita-maghemita, Ol: olivina, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita e sm: esmectita.

Em todos os Hz do P2 apareceram reflexos, com relativa intensidade, de minerais primários, sugerindo um menor grau de alteração desses quando comparados ao P1. Os reflexos nos diferentes Hz a 1,50 nm mostraram-se pouco intensos, apontando para um estágio avançado de degradação da clorita. Os reflexos dos plagioclásios, piroxênios e olivinas foram mais intensos no Hz A, em relação aos Hz Cr1 e Cr2.

Os difratogramas das amostras de saprolito do P3 são apresentados na Figura 3.4. Os Hz A e Cr/A possuem uma configuração mineralógica quantitativa e

qualitativa similar. Essa configuração é muito semelhante aos Hz do P2, porém com maior intensidade entre 35 e 90° 2θ. O Hz Cr apresentou um padrão menos cristalino e mais desordenado que os Hz sobrejacentes. Esse fato é apoiado pelas observações de campo que indicaram um saprolito com material mais alterado que os Hz A e Cr/A. Outro aspecto importante a ressaltar é que a moagem das amostras de saprolito para difratometria de raios-x foi efetuada manualmente, permitindo a coleta seletiva de material mais alterado, que é mais facilmente moído.

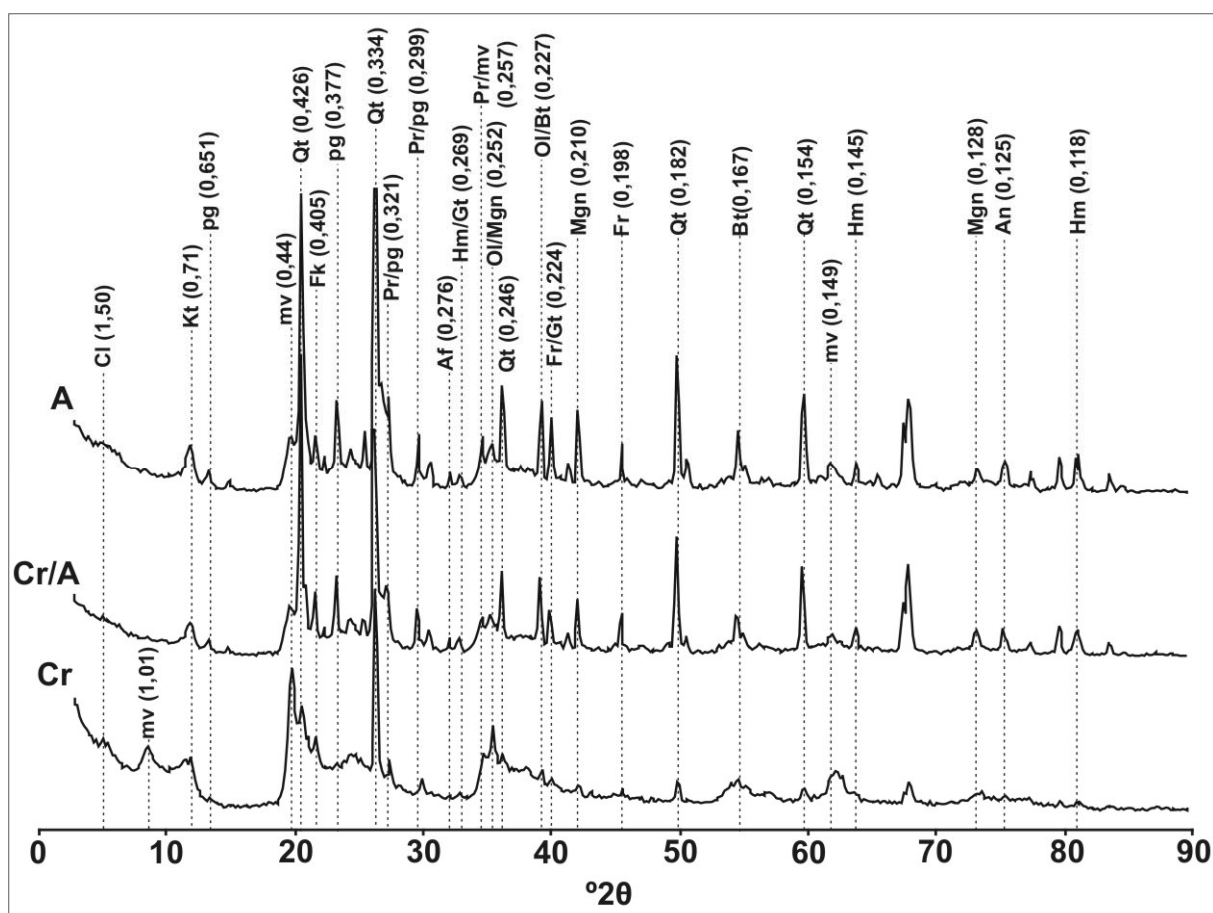


Figura 3.4. Difractogramas de raios-x das amostras de saprolito do perfil 3 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, mv: muscovita, pg: Plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, An: anatásio, Mgn: magnetita-maghemita, Ol: olivina, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita e sm: esmectita.

Os reflexos comuns a todos minerais presentes no Hz do P3 seguem na seqüência: muscovita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, olivina, anatásio, ferrihidrita, feldspato-K, plagioclásio, piroxênio e anfibólio. O Hz Cr apresentou ainda, reflexos mais intensos de muscovita a 1,01 nm e clorita a 1,50 nm. É possível que a clorita esteja sendo transformada, parte em

interestratificado clorita-esmectita e parte, diretamente para caulinita, permitindo o aumento da caulinita nos Hz superficiais.

Os resultados da difratometria de raios-x das amostras de saprolitos do P4 são dispostos na Figura 3.5. Todos os Hz do P4 apresentaram o mesmo padrão de difração. Diferentemente dos perfis anteriores, verifica-se no P4 a presença de gibbsita e cristobalita e ausência de minerais primários contidos na rocha matriz, como o feldspato-K e o anfibólio. Os reflexos dos piroxênios e plagioclásios também apresentam menor intensidade no P4. Essa configuração mineralógica é resultado do ambiente de alteração caracterizado pelas condições climáticas, como elevada precipitação e temperaturas mais baixas, que favorecem o intemperismo, associado às características da rocha matriz.

Os minerais comuns no P4 são os seguintes: muscovita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, anatásio, ferrihidrita, feldspato-K, plagioclásio, piroxênio, lepidocrocita, gibbsita, cristobalita e clorita. Os reflexos da ferrihidrita e lepidocrocita são mais evidentes e intensos no P4, concordando com os valores de Feo apresentados pelos saprolitos desse perfil.

Os resultados da difração de raios-x das amostras de saprolitos do P5 são encontrados na Figura 3.6. O P5 ocorre no extremo leste da lito-climosseqüência analisada neste trabalho e, semelhantemente ao P4, reflete na sua gênese as condições ambientais dos Campos de Cima da Serra no RS. Assim como os demais perfis, os Hz que constituem o P5 não apresentam diferenças mineralógicas significativas, exceto nas intensidades de alguns reflexos.

Os minerais mais freqüentes no P5 são: caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, anatásio, ferrihidrita, plagioclásio, lepidocrocita, gibbsita e clorita. Os reflexos a 1,60 nm aparentam ser de clorita interestratificada com esmectita. Esses reflexos são de baixa intensidade e tornam-se mais evidentes nos Hz Cr/A e Cr1, apresentando feições de esmectita colapsada com hidróxi-Al entrecamadas e interestratificada com caulinita. A baixa intensidade e desordem das reflexões que ocorrem desde aproximadamente 1,6 até 0,71 nm, suportam essa possibilidade.

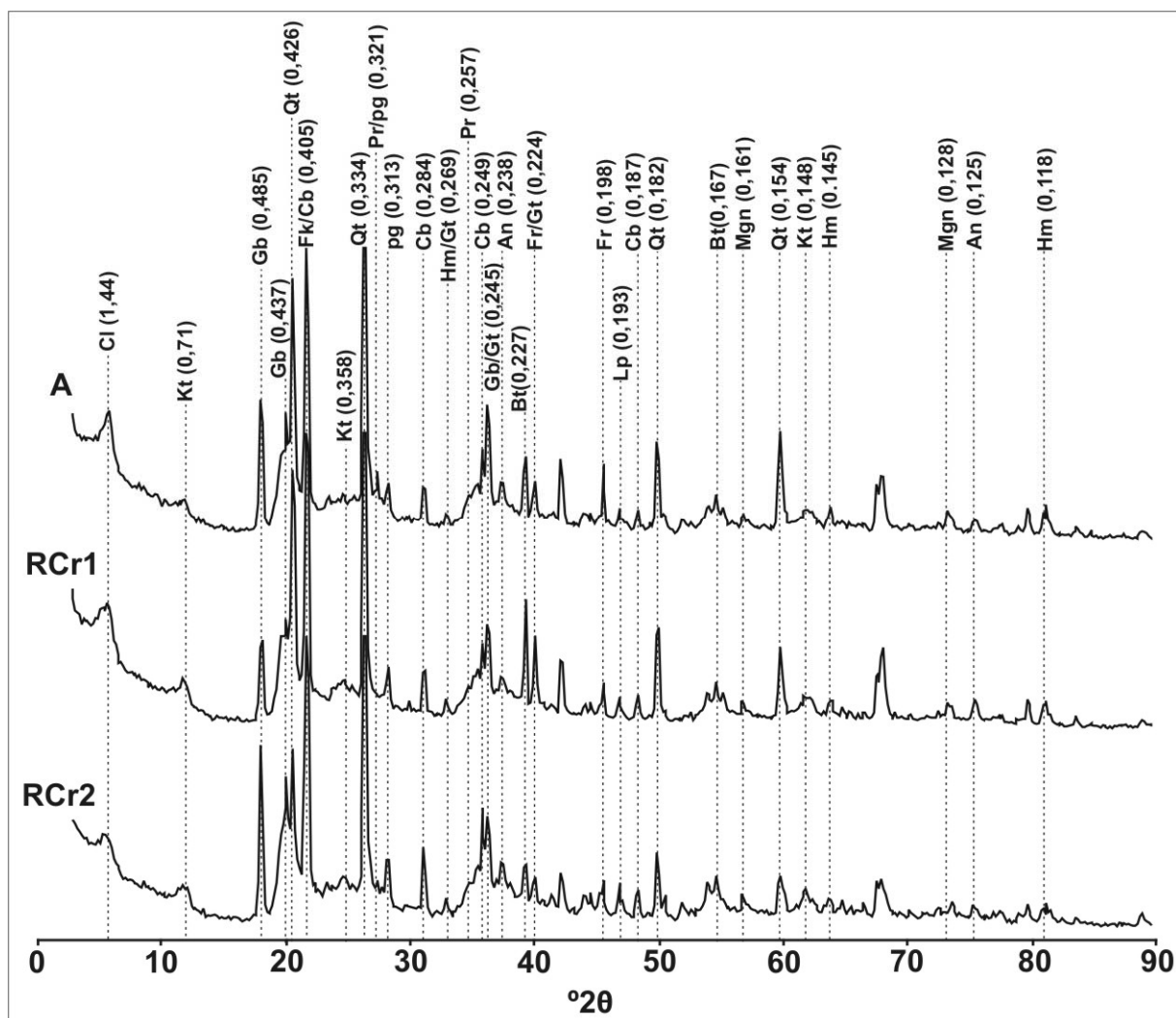


Figura 3.5. Difratomogramas de raios-x das amostras de saprolito do perfil 4 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, pg: Plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, An: anatásio, Mgn: magnetita-maghemita, Ol: olivina, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita, Lp: lepidocrocita, Gb: gibbsita, Cb: cristobalita e Cl: clorita.

Os reflexos da muscovita não são mais evidentes no P5, sugerindo sua alteração aparentemente completa. Foi observada uma redução dos reflexos no intervalo entre os ângulos 27 e 33°  $2\theta$ , onde predominam os minerais primários como piroxênios, plagioclásios e anfibólios, indicando ausência de piroxênios e anfibólios e redução dos plagioclásios, o que sugere que o P5 apresenta grau mais avançado de alteração dos saprolitos que os demais perfis.

Kämpf & Schwertmann (1995) analisaram saprolitos de riólitos do município de Bom Jesus, no RS, onde foi coletado o P5, e verificaram a presença de caulinita desordenada, associada à haloisita 1,0 nm, cristobalita, quartzo, goethita e gibbsita. Também foram identificados em menor quantidade a lepidocrocita e a magnetita.

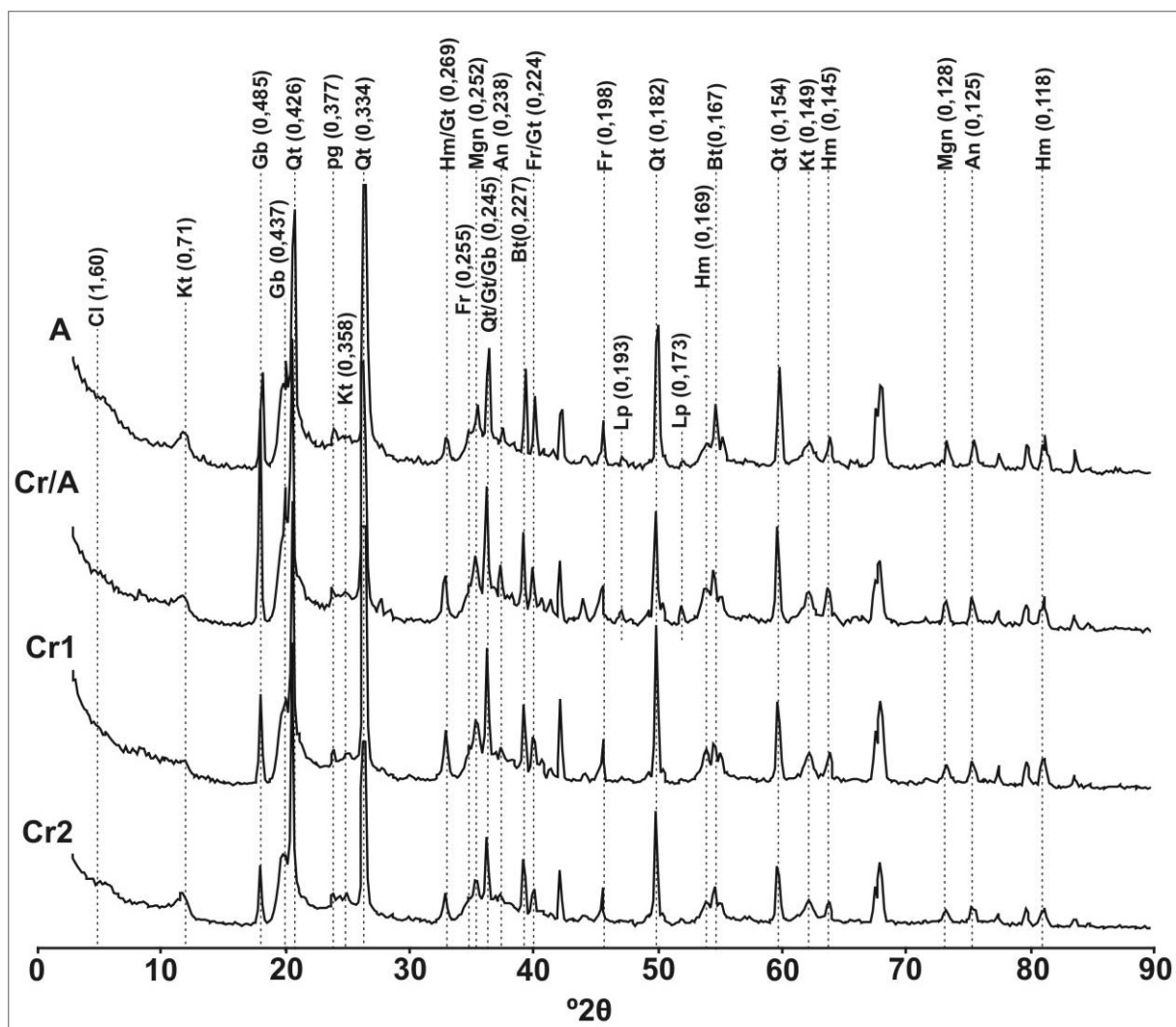


Figura 3.6. Difratoigramas de raios-x das amostras de saprolito do perfil 5 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, pg: plagioclásio, Bt: biotita, An: anatásio, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita, Lp: lepidocrocita, Gb: gibbsita e Cl: clorita.

Clemente (1988) e Clemente & Azevedo (2007) analisaram os produtos do intemperismo de plagioclásios em saprolitos de rochas ácidas, no Estado do Paraná, e identificaram a sua rápida alteração para caulinita e principalmente gibbsita. Os piroxênios alteram-se para esmectitas e goethita ou para goethita e gibbsita. A magnetita altera-se diretamente para óxidos de ferro (hematita e goethita). Truffi & Clemente (2002) observaram que os plagioclásios em rochas ácidas alteraram-se diretamente para gibbsita em casos de intemperismo mais intenso, onde as perdas de Si são mais severas. Esses dados apóiam a redução de minerais primários e incremento de caulinita, mas principalmente de gibbsita nos saprolitos do P4 e do P5.

Os reflexos da caulinita são mais intensos nos três primeiros perfis, indicando que nos dois últimos perfis há favorecimento da formação da gibbsita, devido às condições ambientais (clima e geologia), corroborando com as informações de Clemente (1988) e Truffi & Clemente (2002). A baixa intensidade dos reflexos da caulinita em todos os perfis, comparada à alta intensidade observada em amostra retirada do Hz Cr1, no P5, em estado mais avançado de alteração (dado não mostrado), indica que os saprolitos encontram-se em estágio inicial de transformação.

A análise conjunta dos saprolitos dos cinco perfis sugere que os três primeiros perfis, derivados de rochas básicas constituem um grupo diferente dos dois últimos, onde as rochas de origem são ácidas. Os primeiros são locados em ambientes caracterizados pela menor intensidade de intemperismo, enquanto os dois últimos apresentam um clima mais intenso (maior precipitação e menor temperatura média anual) na sua ação intempérica, permitindo uma maior perda de Si e modificando a dinâmica de alterações.

Kämpf & Schwertmann (1995) analisaram saprolitos de basaltos e riólitos encontrados no RS e verificaram em ambos a presença de gibbsita. Esses resultados diferem da ausência de gibbsita nos saprolitos do P1, P2 e P3, desenvolvidos de basaltos. É interessante destacar que os locais de origem dos saprolitos, oriundos de basaltos, analisados no trabalho de Kämpf & Schwertmann (1995), são encontrados na região do Planalto Médio e Campos de Cima da Serra, o que sugere a ação do clima na promoção de uma taxa de intemperismo mais intensa, permitindo a formação da gibbsita, mesmo em saprolitos derivados de basaltos.

Menegotto & Gasparetto (1987), trabalhando com rochas ácidas e básicas na região de Santa Maria, RS, determinaram que os produtos de alteração de ambos os tipos de rochas vulcânicas, principalmente as básicas, formam predominantemente a esmectita e geles amorfos. Os dados de Corrêa (2003) mostraram a presença de esmectita em amostras de saprolito de rochas basálticas, evidenciando a possibilidade de alteração inicial dos minerais primários. Os dados dos perfis estudados neste trabalho sugerem a alteração da clorita para esmectita e clorita-esmectita.

Ainda, Corrêa (2003) encontrou a presença de minerais secundários, na superfície de transformação de basaltos, como óxidos de Fe, caulinita e pequena

porção de minerais primários como plagioclásios e piroxênios, os quais apresentam uma alta taxa de alteração, indicando ambientes de elevada remoção de Si. Essas condições descritas por Corrêa (2003) não foram observados igualmente nos perfis analisados, onde houve o predomínio de minerais primários nas amostras de rochas e saprolitos.

De acordo com Kämpf et al. (1995b), reflexos a aproximadamente 0,710 nm com assimetria para ângulos  $2\theta$  menores até em torno de 1,00 nm podem indicar presença de haloisita interestratificada com esmectita, ou mesmo caulinita interestratificada com esmectita. Reflexos a 1,00 nm podem indicar haloisita hidratada. Kämpf et al. (1995b) e Kämpf & Schwertmann (1995) encontraram haloisitas em saprolitos de rochas vulcânicas básicas e ácidas no RS. Neste trabalho, a ausência de tratamentos específicos impossibilitou a identificação segura da haloisita. Embora, existam indícios de interestratificação haloisita-esmectita ou caulinita-esmectita, os quais são mais evidentes no Hz Cr do P1, Hz A do P2, Hz Cr do P3, Hz A e RCr1 do P4 e Hz Cr/A e Cr1 do P5.

### **Mineralogia da fração silte**

A mineralogia da fração silte é importante porque permite a observação de minerais primários mais resistentes à alteração e minerais secundários que apresentam maior grau de cristalinidade. Esses minerais são, em alguns casos, reservatórios de nutrientes para vegetais e, em outros, de elementos importantes na dinâmica de evolução pedogenética. Os reflexos mais freqüentes obtidos nas amostras de silte, analisadas em pó, são similares aos encontrados nos saprolitos, apresentados na Tabela 3.6.

Os difratogramas das amostras de silte do P1 são apresentados na Figura 3.7. Os reflexos da fração silte são praticamente idênticos entre os horizontes do P1, com algumas diferenças de intensidades. Comparado às amostras de saprolito desse perfil, os reflexos da fração silte apresentam maior intensidades entre os ângulos  $20$  e  $35^\circ 2\theta$  e  $40$  e  $50^\circ 2\theta$ , onde ocorrem, predominantemente, minerais primários e oxi-hidróxidos. Essa diferença dos reflexos nos ângulos supracitados é mais evidente nos Hz A e Cr/A.

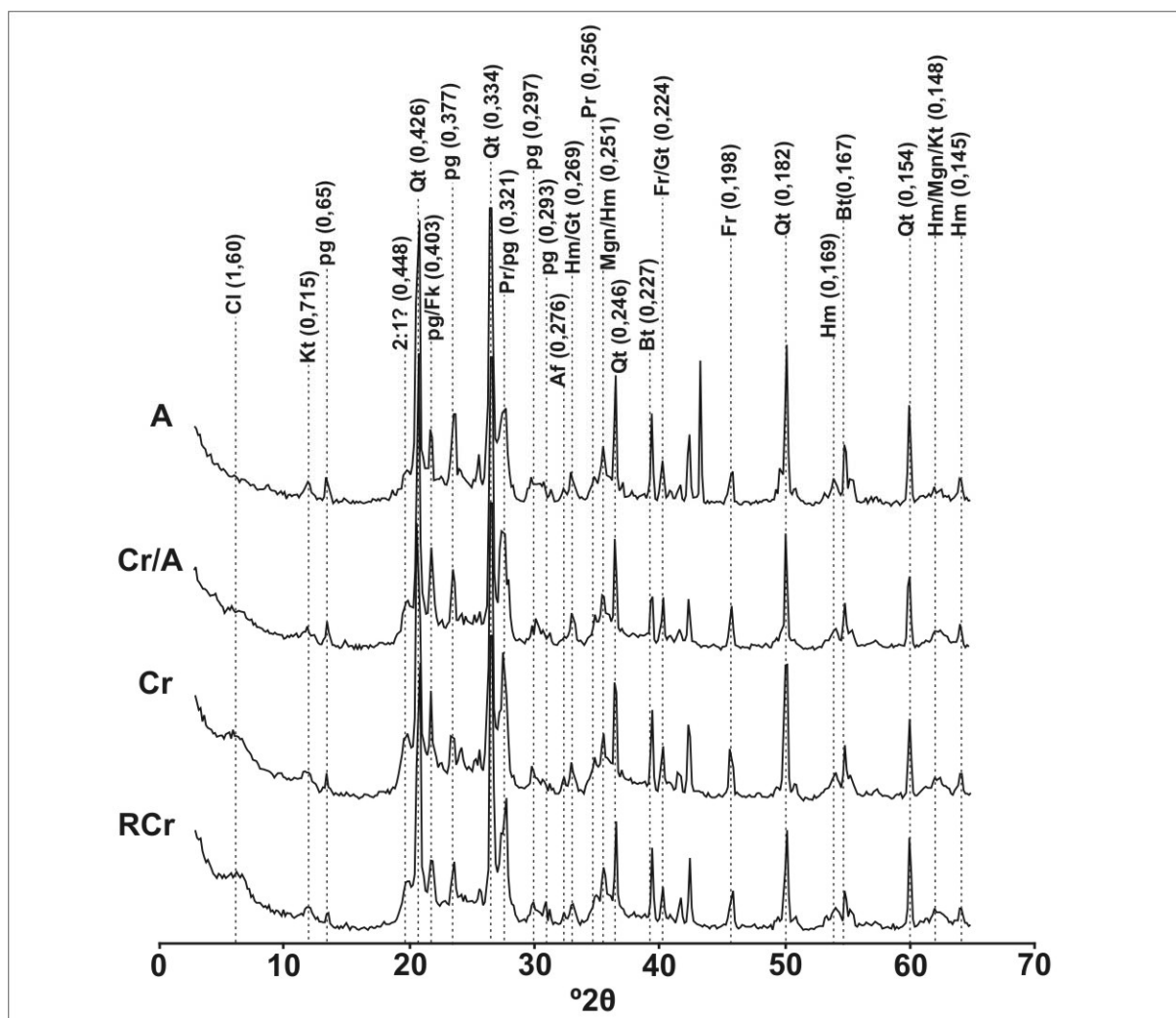


Figura 3.7. Difractogramas de raios-x das amostras da fração silte do perfil 1 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, pg: plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita, Cl: clorita e 2:1: mineral do tipo 2:1.

Os reflexos da fração silte mais freqüentes no P1 foram: caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, ferrihidrita, feldspato-K, plagioclásio, piroxênio e anfibólio. Kämpf et al. (1995b), analisando Neossolos da região da Campanha, também verificaram, na fração silte a presença de quartzo, plagioclásios e anfibólios. Os Hz Cr/A, Cr e RCr apresentam um reflexo a 1,60 nm que aparenta ser clorita. A intensidade desse reflexo sugere sua alteração parcial, enquanto a assimetria sugere interstratificação com esmectita.

A presença de caulinita, óxidos e óxi-hidróxidos de Fe e Al, aparentemente secundários, nas amostras da fração silte dos cinco perfis pode ter ocorrido por dois motivos: como películas recobrando as partículas de silte, conforme sugerem



Padmanabhan & Mermut (1996) e Resende et al. (2005), ou por presença de material saprolítico com elevado grau de alteração que possa ter sido fragmentado no tamanho da fração silte.

Os difratogramas de raios-x da fração silte do P2 são mostrados na Figura 3.8, onde pode ser observado que o padrão de difração desse perfil é muito homogêneo entre seus Hz e muito similar ao P1. Os principais minerais da fração silte do P2 são a caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, ferrihidrita, feldspato-K, plagioclásio, piroxênio e anfibólio.

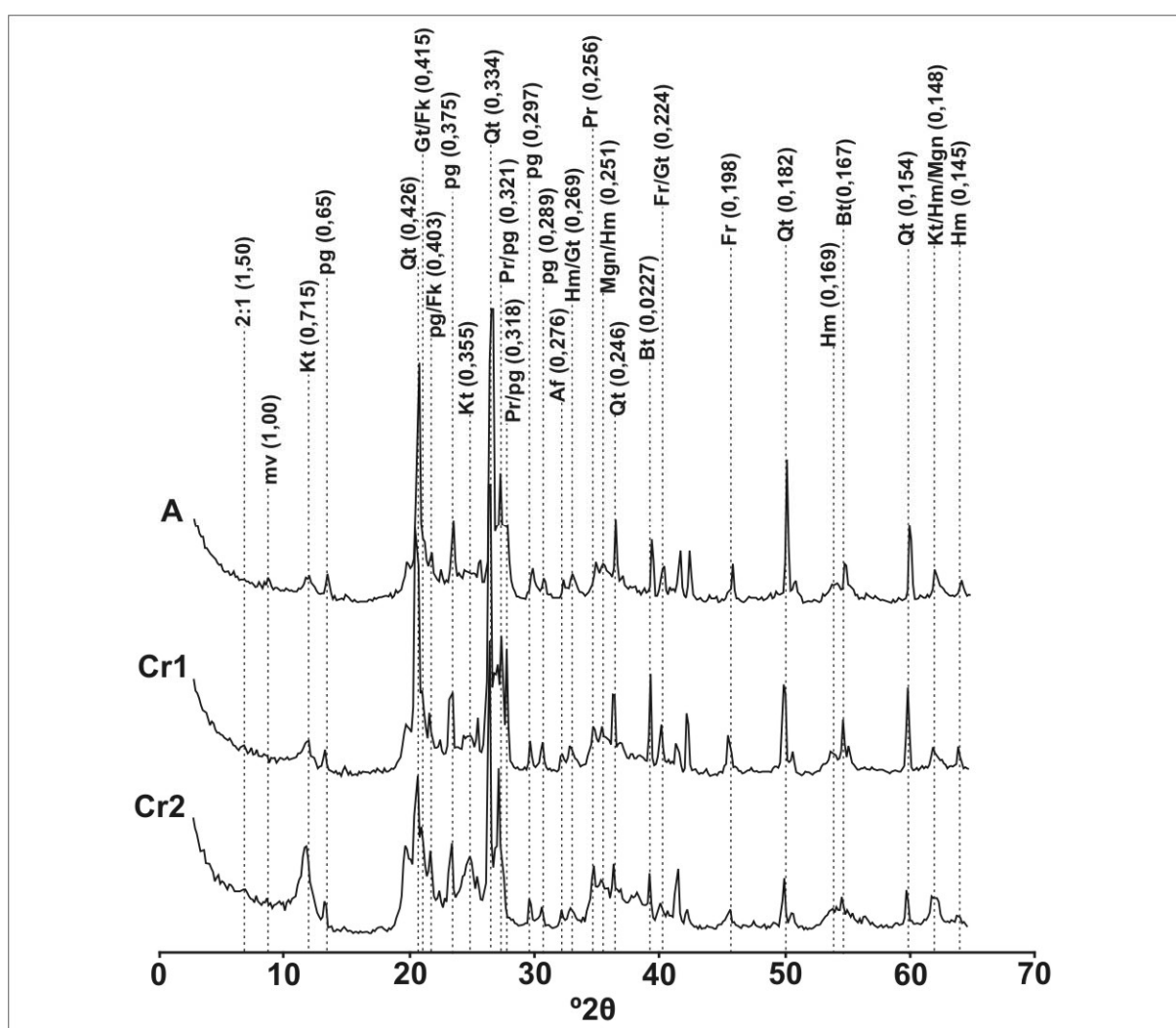


Figura 3.8. Difratogramas de raios-x das amostras da fração silte do perfil 2 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, mv: muscovita, pg: plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita e 2:1: mineral do tipo 2:1.

Reflexos de minerais do tipo 2:1 são pouco evidentes entre 1,0 e 1,8 nm. Teores mais elevados de caulinita no P2, em relação ao P1, são indicados pela intensidade dos reflexos a 0,71 e 0,35 nm, e pelos valores de Alt e Sit, principalmente, no Hz Cr2 (Tabela 3.3). O difratograma de raios-x da fração silte do P2 é muito semelhante ao difratograma das amostras de saprolitos do mesmo perfil. Entretanto, verificou-se a alteração, nas amostras de silte, das olivinas identificadas nas amostras de saprolitos.

Os dados de difratometria de raios-x do P3 são encontrados na Figura 3.9. Foi observado que todos os Hz apresentam difração similar, da mesma forma que o P1 e P2. Os principais minerais da fração silte no P3, são descritos a seguir: caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, ferrihidrita, feldspato-K, plagioclásio, piroxênio e anfibólio.

Semelhantemente ao P1 e P2, a fração silte do P3 não apresentou reflexos significativos de minerais do tipo 2:1 nos ângulos baixos entre 5 e 10° 2 $\theta$ , onde ocorrem os reflexos de primeira ordem, mas sim a 0,585, 0,448 e 0,256 nm onde os reflexos são geralmente secundários. O P3, assim como o P2, apresentou reflexos de caulinita mais intensos no Hz Cr, mais profundo. A difração das amostras de silte do P3 é praticamente idêntica às amostras de saprolito desse mesmo perfil.

Os dados de difratometria de raios-x das amostras da fração silte do P4 e P5 são dispostos na Figura 3.10. Esses dois perfis apresentam características mineralógicas distintas dos demais, conforme já observado nas amostras de saprolitos, devido às condições climáticas, referentes à maior precipitação e menor temperatura, e geológicas, referentes ao caráter ácido da rocha. Os reflexos da fração silte do P4 e P5 são semelhantes aos resultantes das amostras de saprolitos destes mesmos perfis, diferindo nos reflexos menos intensos em ângulos baixos, de minerais 2:1, na menor intensidade dos reflexos da gibbsita a 0,485 nm e aparente ausência do reflexo a 0,437 nm.

Os principais minerais da fração silte do P4 e do P5, são: gibbsita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, biotita, ferrihidrita, plagioclásio, piroxênio, anfibólio e anatásio. Ainda, aparecem no P4, reflexos de cristobalita a 0,405 e 0,284 nm, e com maior intensidade, de caulinita a 0,358 nm e anatásio a 0,238 nm no P5. Os reflexos mais intensos da gibbsita no P5 e os valores de Alt e Ald/Alt do P4 e P5 sugerem que esse mineral é mais abundante no P5. A ausência de alguns reflexos de minerais primários no P5, como plagioclásios e piroxênios a

0,321 e 0,299 nm, são indícios de uma condição de intemperismo mais intensa nesse perfil.

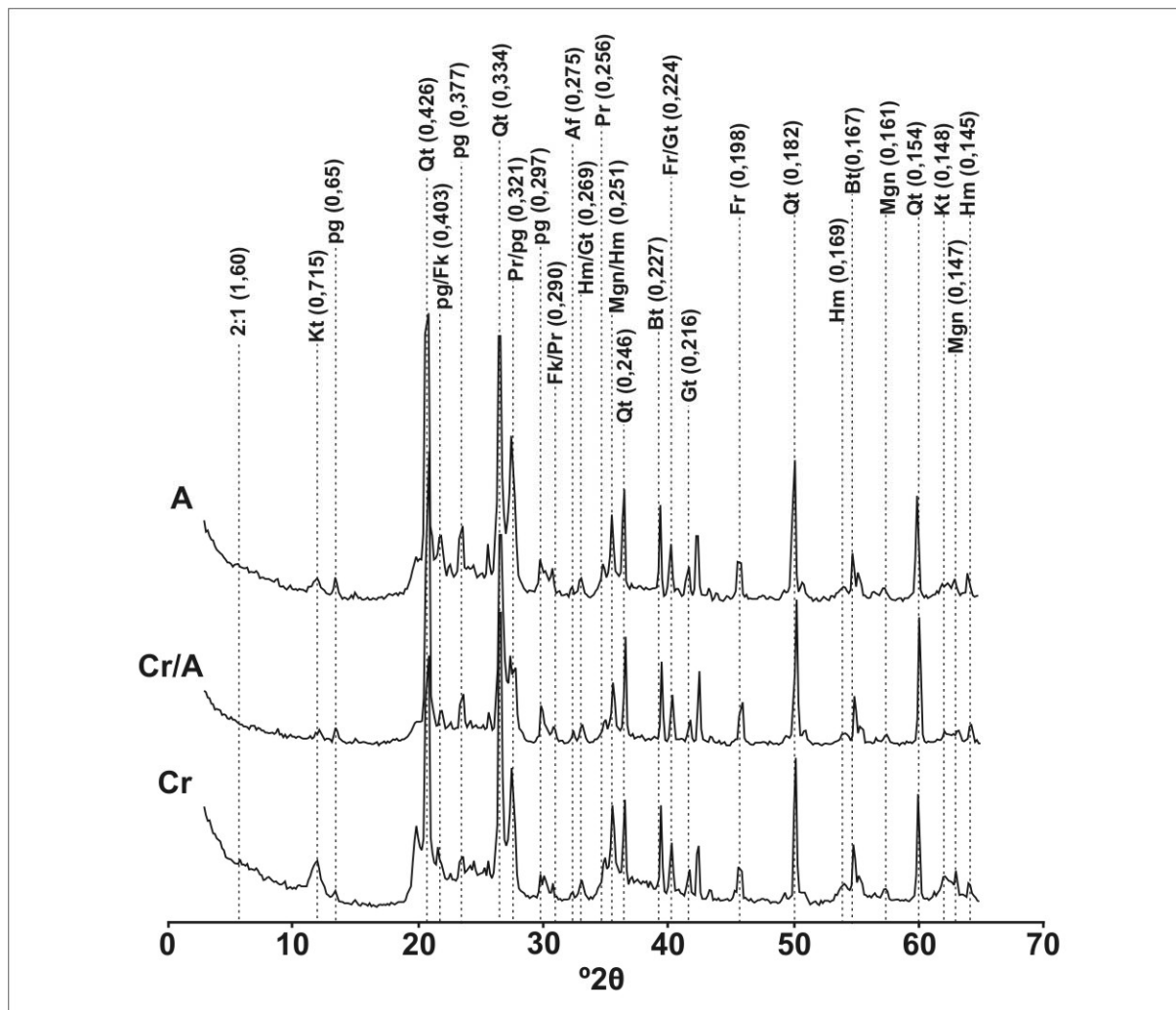


Figura 3.9. Difratoformas de raios-x das amostras da fração silte do perfil 3 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, pg: plagioclásio, Fk: feldspato-K, Pr: piroxênio, Af: anfibólio, Bt: biotita, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita e 2:1: mineral do tipo 2:1.

Em termos gerais, considerando os difratogramas da fração silte dos cinco perfis avaliados, verificou-se que o padrão de difração seguiu o mesmo comportamento expresso pelas amostras de saprolitos, com alguma diminuição na quantidade de minerais primários, como por exemplo, a muscovita, clorita e olivina e, maior intensidade de minerais secundários, principalmente os oxi-hidróxidos. Os dados de DRX da fração silte contribuem com a idéia de dois grupos distintos em relação à gênese.

Os dados mineralógicos da fração silte mostraram que todos os perfis apresentam considerável reserva mineral nessa fração, principalmente pela presença de plagioclásios, biotitas e piroxênios.

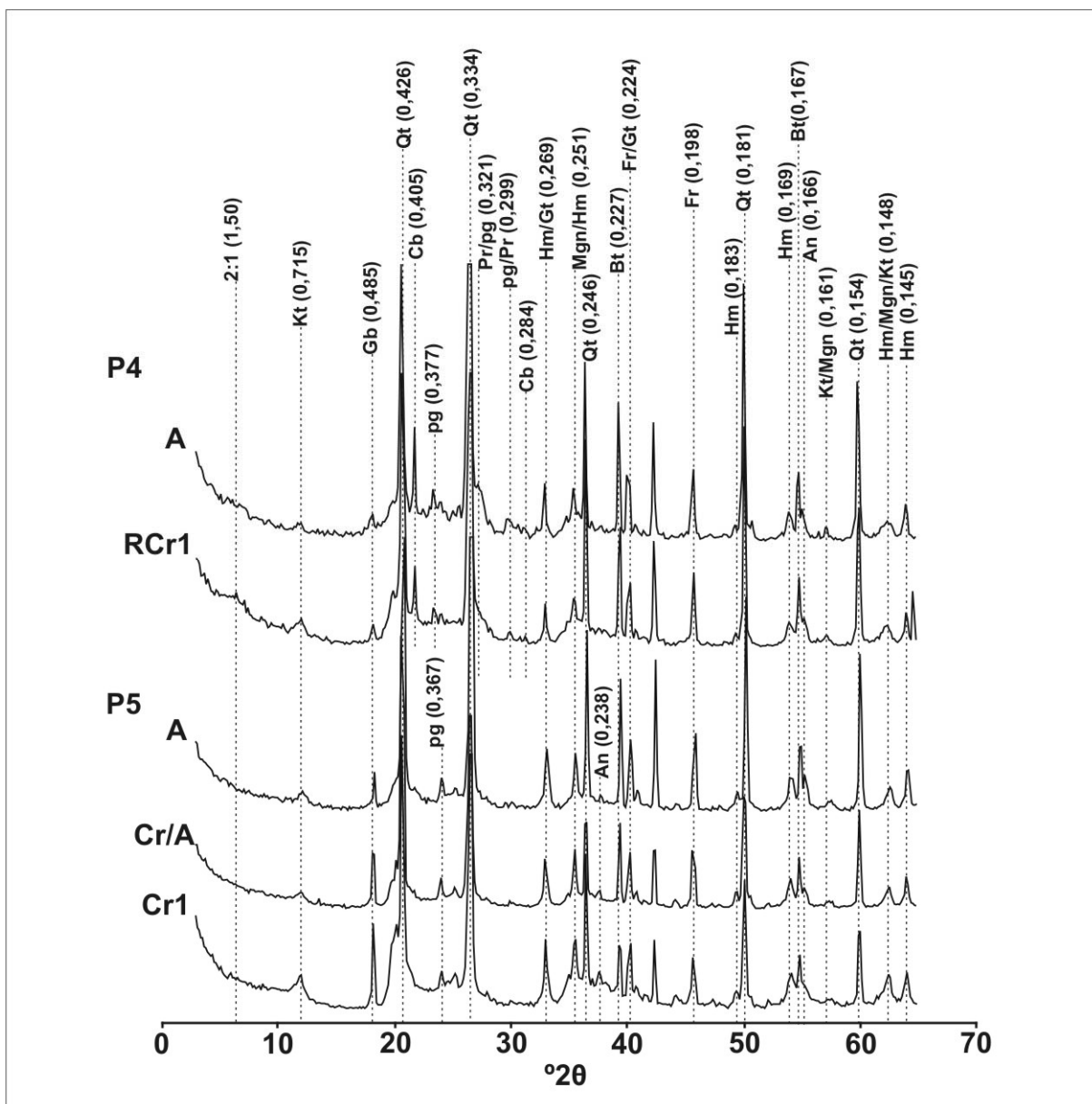


Figura 3.10. Difratoformas de raios-x das amostras da fração silte do perfil 4 e 5 (horizontes identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, pg: plagioclásio, Pr: piroxênio, Bt: biotita, An: anatásio, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita, Gb: gibbsita, Cb: cristobalita e 2:1: mineral do tipo 2:1.

## Mineralogia da fração argila

O conhecimento dos minerais que constituem a fração argila dos solos é fundamental ao entendimento do seu comportamento físico-químico e morfológico. Os minerais da fração argila são responsáveis, juntamente com a matéria orgânica, pela reatividade dos solos, interferindo diretamente em propriedades agrícolas, geotécnicas, entre outras.

Os reflexos dos minerais mais freqüentes na fração argila dos perfis avaliados encontram-se na Tabela 3.6. A mineralogia da fração argila do P1 pode ser observada na Figura 3.11. Todos os Hz do P1 mostraram difração similar, onde os minerais mais freqüentes foram a illita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, plagioclásio, cristobalita e esmectita.

O desaparecimento dos reflexos a 0,715, 0,35, 0,234 e 0,148 nm nas amostras aquecidas a 550° C confirmam a presença de caulinita em todos os Hz. A menor intensidade e desordem dos reflexos referentes à caulinita nas amostras de silte e saprolito sugerem que sua origem seja pedogenética, resultante da alteração de outros minerais, como os plagioclásios, conforme citam Clemente (1988), Clemente (2001), Clemente & Azevedo (2007) e Truffi & Clemente (2002).

O pequeno reflexo expandido a 1,80 nm com o tratamento Mg+etileno-glicol, sugere traços de esmectita na fração argila do P1. O ombro remanescente entre 1,8 e 1,0 nm indica a expansão parcial da esmectita e a possibilidade de esmectita com hidróxi-Al entrecamadas (EHE). No Hz A, o tratamento com K aquecido a 550° C promoveu um colapso parcial para 1,0 nm, enquanto as diferenças entre os tratamentos com Mg (não mostrado) e Mg+etileno-glicol foram mínimas, sugerindo o predomínio de esmectitas, que ocorrem associadas a uma menor porção de EHE.

No Hz RCr, a amostra aquecida a 550° C não promoveu o colapso da esmectita a 1,0 nm, sugerindo maior ação dos polímeros de Al nas entrecamadas desse mineral. De acordo com Kämpf & Curi (2003), maior evidência de EHE nos Hz subsuperficiais pode ser justificada pela maior taxa de complexação do Al pela matéria orgânica nos Hz superficiais. Esse efeito estaria retardando a formação de EHE no Hz A e Cr/A. A hipótese da presença da EHE no P1 é suportada pela citação de Kämpf et al. (1995b), relativa à ocorrência de EHE em Neossolos Litólicos na região da Campanha Gaúcha.

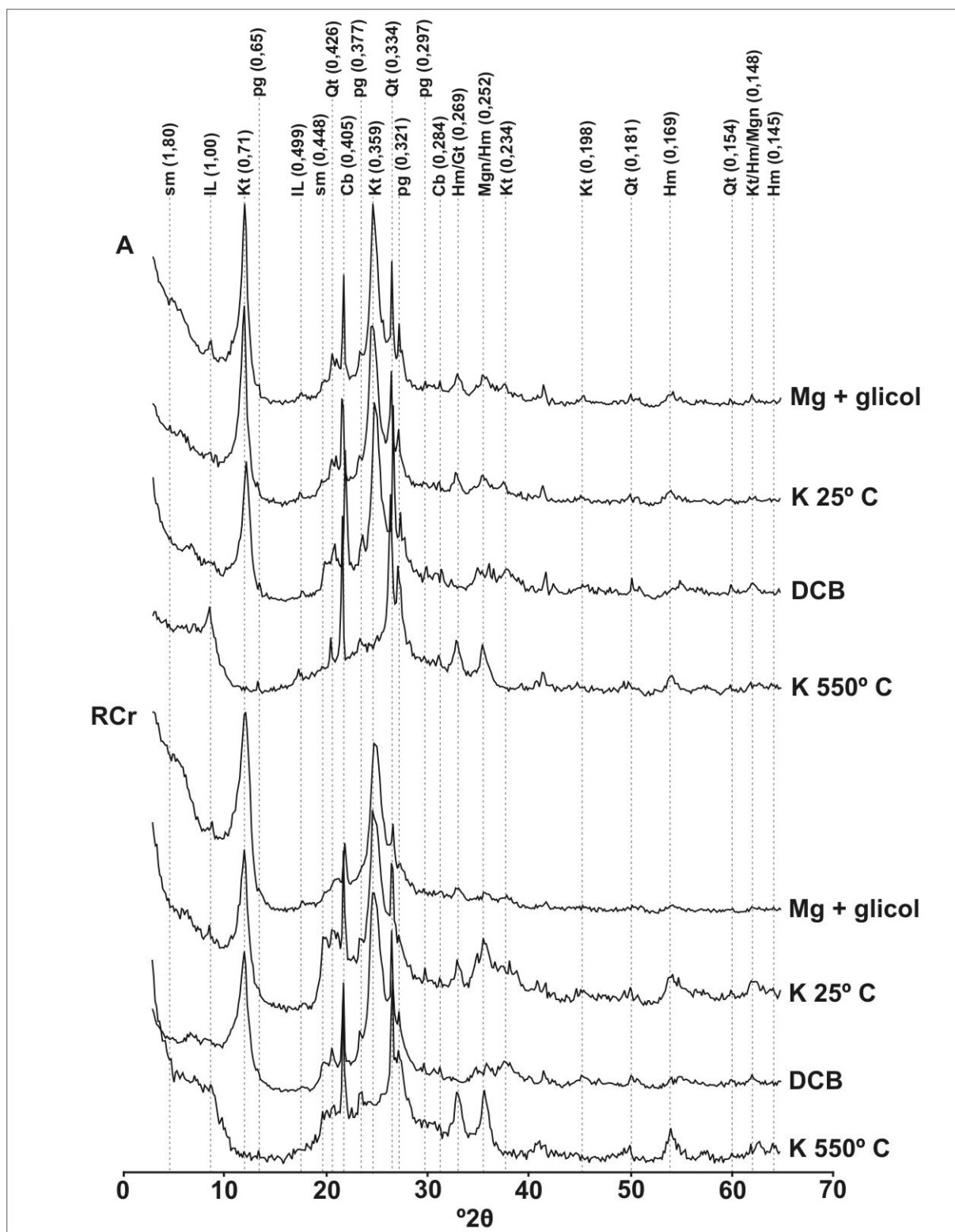


Figura 3.11. Difratogramas de raios-x da fração argila do perfil 1 (horizontes e tratamentos identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, IL: ilita, pg: plagioclásio, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Hm: hematita, sm: esmectita, Cb: cristobalita.

O fato dos reflexos da caulinita a 0,715 nm não terem o seu grau de assimetria alterados com o aquecimento a 350° C (não mostrado), sugere que a

caulinita apresenta alto grau de desordem ou interstratificação com minerais do tipo 2:1. A assimetria a partir de 0,715 nm para ângulos menores, até em torno de 1,0 nm, sem alteração com tratamentos como Mg+etileno-glicol e K aquecido a 350° C, é indicativo de interstratificação caulinita-esmectita (C-E) (Schultz et al., 1971; Bühmann & Grubb, 1991; Corti et al., 1998).

A assimetria dos reflexos a 0,715 nm para ângulos baixos, nos Hz A e RCr, sugere interstratificação entre caulinita e minerais 2:1 (Wada & Kakuto, 1983; Corti et al., 1998; Corrêa, 2003). Interstratificação C-E foi identificada por Kämpf et al. (1995) em Neossolos Litólicos da região da Campanha Gaúcha, com base em reflexos de 0,74 a 0,72 nm. Estudos mineralógicos de solos derivados de rochas básicas da Formação Serra Geral, em Santa Catarina, efetuados por Correa (2003), também identificaram a presença de C-E.

O reflexo em torno de 0,80 a 0,90 nm na amostra saturada com magnésio e submetida à atmosfera saturada com etileno-glicol seria resultante da combinação do espaçamento d001 da caulinita (0,715 nm) e o espaçamento d002 da esmectita (0,87 nm) (Reynolds, 1980). O reflexo em torno de 0,80 nm na amostra saturada com potássio e aquecida a 350° C, segundo Schultz et al. (1971), seria resultante de combinação do espaçamento d001 da caulinita (0,715 nm) com o da esmectita aquecida a 350° C (1,0 - 0,96 nm). O tratamento de saturação com potássio e posterior aquecimento a 550° C contrai as camadas do mineral 2:1 até 1,0 nm, mantendo ainda assimetria ou “ombro” em direção a ângulos mais baixos, o que também é uma feição diagnóstica de C-E (Wilson & Cradwick, 1972).

A comparação dos difratogramas das amostras saturadas com K com aqueles desferrificados com DCB e saturados com K, permitiram uma avaliação mais precisa dos reflexos dos óxidos e oxihidróxidos de ferro. Essa comparação contribuiu para a identificação segura de hematita difratando, principalmente, a 0,269, 0,252, 0,169 nm, goethita com reflexos a 0,269 nm e magnetita-maghemita a 0,252 e 0,148 nm.

Os difratogramas de raios-x das amostras da fração argila do P3 (Figura 3.12) apresentam menor intensidade dos reflexos de caulinita que o P1, sendo os reflexos do quartzo mais intensos que os da caulinita. O aumento da intensidade dos reflexos do quartzo do Hz Cr para o Hz A sugere a sua concentração residual conforme avança a frente de intemperismo. Assim como o P1, todos os Hz do P3 mostraram padrões de difração da fração argila similares, onde os minerais presentes são os

seguintes: illita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, magnetita-maghemita, plagioclásio, cristobalita e esmectita.

Como pode ser visto na Figura 3.12, os reflexos de primeira ordem da caulinita (0,715 nm) apresentam maior assimetria para ângulos menores, sugerindo, da mesma forma que no P1, a presença de C-E. Essa assimetria da caulinita destaca-se no Hz Cr. A Largura a Meia Altura (LMH) (dados não mostrados) e intensidades dos reflexos de primeira e segunda ordem da caulinita no P3 sugerem maior grau de desordem e menor quantidade desse mineral em comparação com o P1.

Em relação aos minerais 2:1, no P3 ocorreram reflexos desde 1,8 até 1,0 nm. O comportamento de expansão parcial a 1,8 nm na amostra tratada com Mg+etileno-glicol e do colapso a 1,0 nm na amostra com K e aquecida a 550° C sugere uma menor intercalação com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas dos 2:1 que no P1. Os reflexos a 1,0 nm que não se alteram com os tratamentos indicam a presença de illita.

A análise dos óxidos e oxihidróxidos de Fe do P3, pela comparação entre os tratamentos com K 25° C e K 25° C desferrificado com DCB, permitiu a identificação de hematita, goethita, ferrihidrita e magnetita-maghemita, apresentando os mesmos reflexos que o P1. A intensidade relativa dos reflexos da hematita a 0,269 e 0,252 nm sugerem menor quantidade desse mineral no P3, quando comparado ao P1. Os valores de Munsell para cor seca (5YR no P1 e 7,5YR no P3, ver Capítulo 4), e os valores de Fed mais elevados no P1 reforçam essa hipótese.

O P5 apresentou difração da argila diferente do P1 e do P3 (Figura 3.13). Foi, como esperado, verificada a presença de gibbsita, maior intensidade e cristalinidade da goethita e da caulinita e praticamente desaparecimento dos minerais primários, com exceção do quartzo, mesmo nos Hz mais profundos. Os principais reflexos que compõem os difratogramas do P5 são apresentados na Tabela 3.6. Os minerais mais freqüentes são: caulinita, quartzo, gibbsita, hematita, goethita, magnetita-maghemita, ferrihidrita e 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas (HE). A ausência de reflexos a 1,0 nm indica a alteração das micas existentes no saprolito e na fração silte para algo que não seja illita.



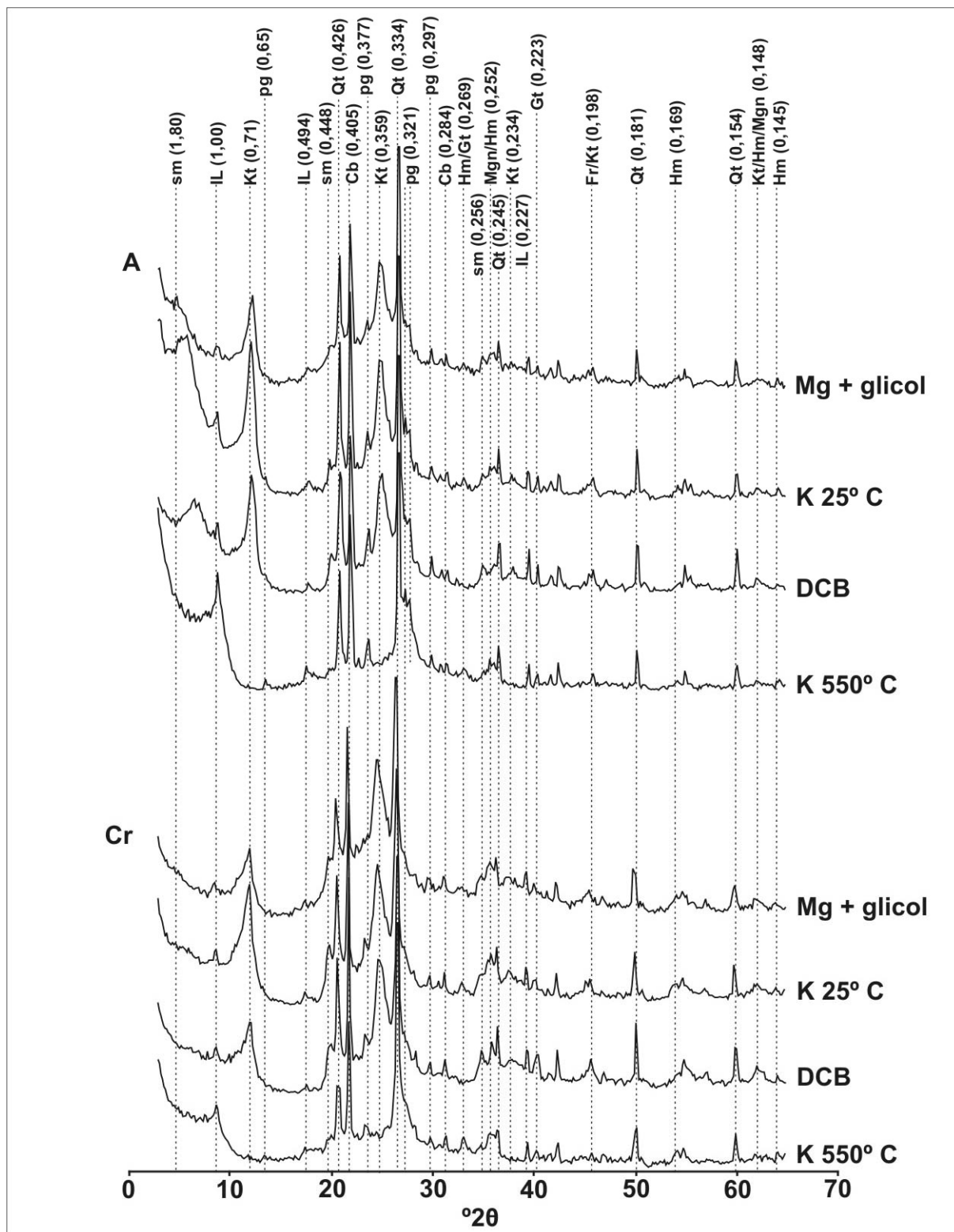


Figura 3.12. Difratomogramas de raios-x da fração argila do perfil 3 (horizontes e tratamentos identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, IL: ilita, pg: plagioclásio, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita e sm: esmectita.

Os reflexos 0,483 e 0,432 nm desaparecem na amostra tratada com K e aquecida a 350° (não mostrado), confirmando a presença da gibbsita. Em relação à

caulinita, seus reflexos principais (0,715 e 0,359 nm) aumentaram em direção a superfície do perfil, tornando-se mais intensos que o quartzo no Hz A.

O mesmo comportamento em relação à interestratificação C-E descrito para o P1 e P3 ocorreu no P5, onde o reflexo a 0,715 nm apresentou assimetria para ângulos mais baixos, sugerindo a interestratificação com mineral do tipo 2:1, possivelmente C-E. A intensidade e a LMH (dado não mostrado) dos reflexos indicam menor desordem e maior quantidade desse mineral no P5 quando comparado ao P1 e ao P2. Os valores de Alt e Sit superiores no P5 corroboram com essa hipótese. A intensidade e cristalinidade da caulinita no P5 aumentaram do Hz Cr1 para o Hz A.

Os reflexos referentes a minerais 2:1 em ângulos baixos ocorrem predominantemente a 1,40 nm, alterando-se somente na amostra tratada com K e aquecida a 550° C, onde não foi possível a visualização do colapso a 1,00 nm e nem da permanência em 1,40 nm, mas somente um ombro entre 1,40 e 1,00 nm. Esse comportamento destaca-se no Hz A e torna-se menos evidente nos Hz Cr/A e Cr1. As amostras tratadas com Mg+etileno-glicol, aparentemente, mantiveram o reflexo a 1,40 nm no Hz A e apresentaram pequena expansão no Hz Cr1 até 1,80 nm, sugerindo a presença de esmectita com alto grau de intercalação com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas. Embora os reflexos indiquem a ocorrência de esmectita, o descarte seguro da hipótese de vermiculita necessita de análises mais específicas como, por exemplo, tratamento da fração argila com citrato de sódio para retirada dos polímeros das entrecamadas e posterior análise da expansão do mineral por DRX (Wada & Kakuto, 1983).

A presença de minerais 2:1 HE ocorre mesmo em Latossolos Brunos da unidade Vacaria, encontrados nos Campos de Cima da Serra, no RS (Kämpf et al., 1995a; Azevedo et al., 1996). Pelos dados verificados no trabalho, a intercalação dos 2:1 com hidróxi-Al ocorre já nos primeiros estágios de intemperismo, mantendo-se estáveis até estágios mais avançados como nos Latossolos. A estabilidade dos 2:1 HE é explicada por Karathanasis (1988).

O bloqueio mais acentuado das entrecamadas da esmectita no P5 contribui para a sua menor CTC relativa da fração argila, sugerindo que parte significativa da CTC nesse perfil é oriunda dos elevados teores de matéria orgânica.

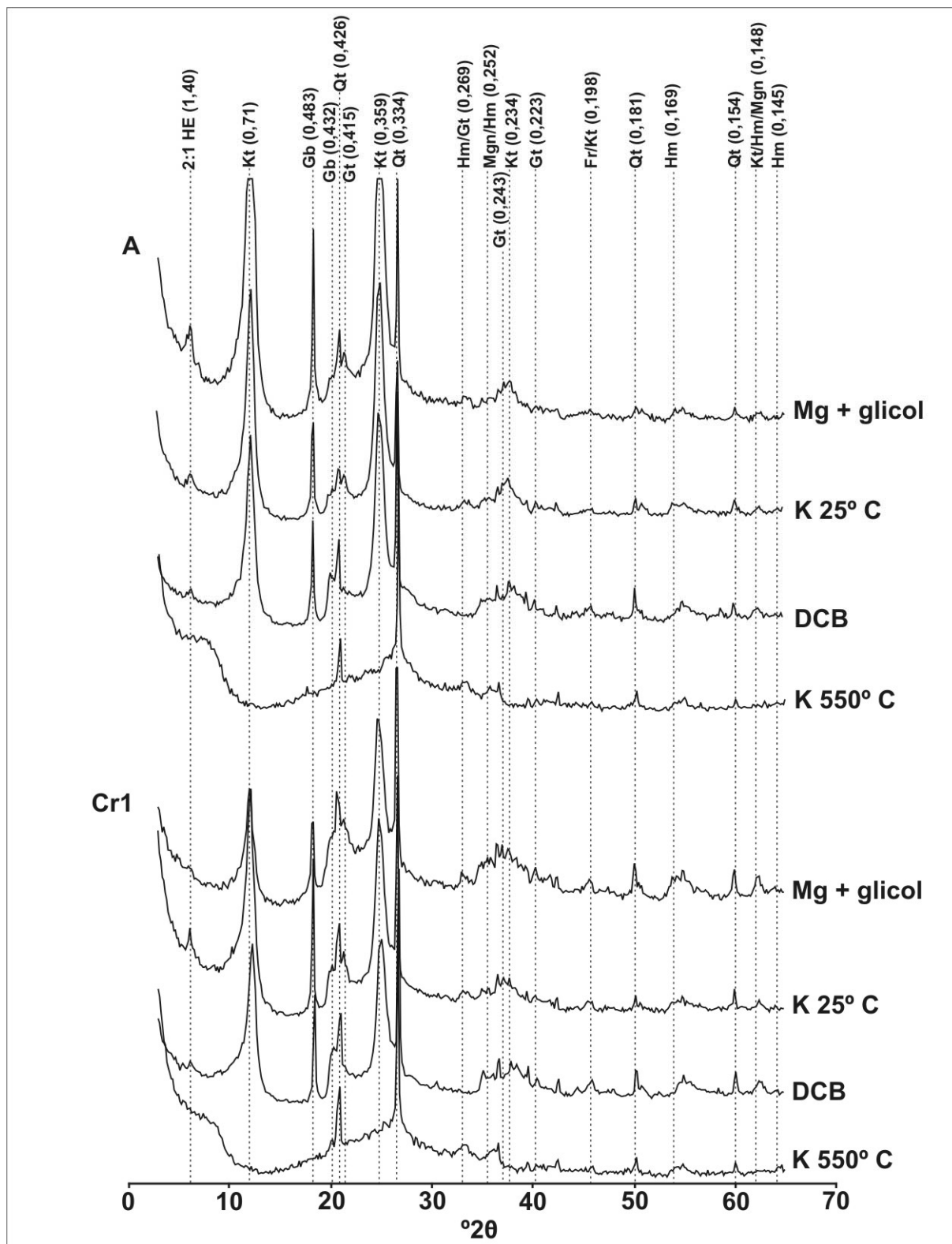


Figura 3.13. Difratogramas de raios-x da fração argila do perfil 5 (horizontes e tratamentos identificados na figura). Os valores entre parênteses correspondem às distâncias interplanares em nm. Qt: quartzo, Gb: gibbsita, IL: ilita, pg: plagioclásio, Mgn: magnetita-maghemita, Kt: caulinita, Gt: goethita, Fr: ferrihidrita, Hm: hematita e 2:1 HE: mineral do tipo 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas.

Quanto aos óxidos e oxihidróxidos de ferro, a análise das lâminas tratadas e não tratadas com DCB permitiu a identificação dos reflexos de goethita, hematita, ferrihidrita e magnetita-maghemita, assim como nos demais perfis. No P5, destaca-se a goethita em relação à hematita, o que pode ser comprovado facilmente pela cor brunada da fração terra fina do perfil.

Os resultados mineralógicos das frações avaliadas sugerem algumas rotas de alteração dos minerais primários. A clorita, especialmente no P2, P3 e no P4, altera-se para illita e esmectita, conforme sugestão de Righi et al. (1993). A olivina, o piroxênio e a magnetita, encontrados nas rochas dos cinco perfis, alteram-se fornecendo Fe para a formação de óxidos e oxihidróxidos de Fe, presente nas amostras de saprolitos e solos. Smith et al. (1987) citam que a olivina é o mineral mais reativo durante o intemperismo, fato confirmado pela sua decomposição nas amostras de saprolito do P4 e P5.

Os plagioclásios e feldspatos-K também apresentaram maior alteração nas amostras de saprolito do P4 e P5. Esses minerais alteram-se para caulinita e gibbsita em ambientes de alta lixiviação (Calvert et al., 1980b; Clemente, 1988; Truffi & Clemente, 2002; Clemente & Azevedo, 2007), e para illita, esmectita e caulinita em ambiente de intemperismo ameno (Banfield & Eggleton, 1990; Kawano & Tomita, 1996). Observou-se que os plagioclásios ocorrem na fração argila do P1, P2 e do P3, sugerindo ambiente de intemperismo menos intenso que no P4 e P5.

A muscovita pode ter sido decomposta nas amostras de saprolito do P4 e P5, sendo transformada em illita na fração argila das amostras do P1 e do P3. Conforme sugerido por Banfield & Eggleton (1990), muscovitas alteraram-se para illita-esmectita e caulinita. De acordo com Jiang & Peacor (1991) a muscovita apresenta a seguinte seqüência típica de alteração: muscovita – illita – illita/esmectita – esmectita – caulinita. Entretanto, a muscovita pode ainda alterar-se diretamente para caulinita como sugere Singh & Gilkes (1991).

A biotita apresentou alta resistência ao intemperismo, aparecendo nas amostras de rochas, saprolitos e da fração argila, nos cinco perfis. A biotita apresenta menor resistência à alteração que a muscovita devido a sua estrutura trioctaedral (Kämpf & Curi, 2003), entretanto, mostrou-se relativamente mais resistente neste trabalho. Conforme Banfield & Eggleton (1988), os produtos principais do intemperismo da biotita são a illita e a caulinita.

Em relação aos anfibólios, sua ocorrência limita-se as amostras de rochas dos cinco perfis e, as amostras de saprolitos e da fração silte do P1, P2 e P3, já que no P4 e P5 os anfibólios (hornblenda) alteram-se para caulinita, goethita e gibbsita (Velbel, 1989). Conforme este mesmo autor, minerais 2:1 não são formados a partir de anfibólios devido à lixiviação abundante nesses perfis.

Na fração argila, percebeu-se um aumento nos teores de caulinita em direção ao P5. Assim como a intensidade dos reflexos sugere que há uma redução da hematita e aumento da goethita em direção ao P5. O comportamento da caulinita e dos óxidos de Fe nos perfis estudados dá-se em função do clima e do material de origem. De acordo com Costa et al. (1999), materiais derivados de rochas ácidas apresentaram teores mais elevados de caulinita e menores teores de óxidos de Fe (Fed), devido às características químicas da rocha. Rochas ácidas promovem a formação de goethita em detrimento da hematita. O trabalho de Ker & Resende (1990) sugere que ambientes úmidos, com baixas temperaturas, baixa evapotranspiração e teores elevados de matéria orgânica, em meio ácido e com restrição de drenagem, favorecem a formação de goethita em detrimento da hematita e formação de caulinita em detrimento da gibbsita.

Os mecanismos que favorecem a formação da caulinita são os seguintes: o efeito antigibbsítico de argilo-minerais 2:1 com hidróxi-Al nas entrecamadas; condições de percolação lenta de água no perfil promove a elevação dos teores de sílica, favorecendo a sua combinação com o Al livre para formação de caulinita (Ker & Resende, 1990); e a presença abundante de matéria orgânica que promove a complexação do Al livre (Pötter & Kämpf, 1981). No entanto, a presença de gibbsita no P4 e P5 é explicada, segundo Ker & Resende (1990), pelos equilíbrios locais do sistema de intemperismo, onde houve maior remoção de Si, ou pela alteração direta de plagioclásios e feldspatos, como sugerem Calvert et al. (1980b), Clemente (1988), Truffi & Clemente (2002) e Clemente & Azevedo (2007).

Esses mecanismos foram verificados em solos desenvolvidos, como Cambissolos e Latossolos, mas o presente trabalho indica que ocorrem similarmente nos Neossolos estudados. Nesse caso, as rotas de evolução mineralógica imposta pelas condições ambientais atuantes e verificadas nos perfis analisados, assemelham-se com aquelas sugeridas em trabalhos como: Kämpf & Klamt (1978), Pötter & Kämpf (1981), Kämpf & Schwertmann (1983), Kämpf & Dick (1984), Ker & Resende (1990), Kämpf et al. (1995a; 1995b), Kämpf & Schwertmann (1995).

As interações entre matéria orgânica (MO) e minerais são importantes porque afetam a dinâmica do carbono no solo (Dalmolin et al., 2006; Dick et al., 2005), o comportamento dos minerais (Ramos & McBride, 1996; Ward & Brady, 1998; Tombácz et al., 2004; Borggaard et al., 2005) e a sua evolução mineralógica (Violante & Violante, 1980; Violante & Huang, 1985; Singer & Huang, 1990).

Dalmolin et al. (2006) observaram que a variação climática, imposta pela diferença de altitude no Estado do RS, afetou os teores de MO no solo. O aumento da MO é proporcional ao aumento da umidade e diminuição da temperatura. Nesse mesmo trabalho, verificaram que a textura também afeta a acumulação da MO, sugerindo que a interação organo-mineral contribui para a manutenção dos estoques de carbono orgânico no solo. Os efeitos climáticos nos teores de MO foram observados somente no Hz superficial. O acúmulo de MO em profundidade pode ser explicado pela ação das raízes (liberação de exsudatos e sua decomposição) nesses Hz (Dick et al., 2005).

A esse respeito, acredita-se que a fração orgânica é a maior fonte de cargas (CTC) nos Neossolos do P4 e P5, porém tal suposição não pode ser afirmada porque não foi objeto de estudo neste trabalho. Sendo assim, o estudo da fração orgânica e sua interação com a fase mineral dos Neossolos podem contribuir para o entendimento mais abrangente da sua dinâmica evolutiva.

Os dados obtidos neste trabalho sugerem dois grupos de solos com graus de intemperismo distintos, baseado nos processos de alteração hidrolíticos apresentados em Melfi & Pedro (1977) e Melfi et al. (1979). O primeiro é constituído pelo P1, P2 e o P3, e encontra-se no estágio entre a bissialitização e a monossialitização, caracterizando-se pela predominância de argilo-minerais 2:1 e 1:1, como a esmectita e a caulinita, respectivamente. Ocorrem óxidos de Fe e os minerais 2:1 são do tipo HE. O segundo, representado pelo P4 e o P5, encontra-se no estágio entre a monossialitização e a alitização, onde predomina a caulinita, com aparecimento da gibbsita. A hidrólise parcial sugerida pela presença de 2:1 HE em ambos os grupos indica o grau intermediário de alteração.

Baseado no comportamento do Si, Al e do Fe, Melfi et al. (1979) denominaram o processo do primeiro grupo de sialferrização e do segundo de ferralitização. Os valores de  $k_i$  acima de dois para a sialferrização e o  $k_i$  abaixo de dois para a ferralitização confirmam a distinção entre os perfis.

Foi possível verificar que mesmo com perfil pouco desenvolvido e a grande quantidade de minerais primários nos saprolitos e na fração silte e areia, os Neossolos do P4 e P5 apresentaram considerável intemperismo na fração terra fina. Melfi & Pedro (1977) fazem referência à relação “estado de saturação original-grau de alteração”, onde um dos casos possíveis é quando os minerais se alteram com taxas diferentes. Por exemplo, quando os minerais primários apresentam maior resistência e os secundários alteram-se mais rapidamente, ocorre uma sobreposição da desalcalinização secundária em relação à primária, promovendo uma dessaturação do meio, mesmo em presença de minerais não alterados. Esse fato ficou evidente com os valores de  $k_i$  para o P4 e o P5, os quais são similares aos encontrados em Latossolos da região.

Em relação aos mecanismos físico-químicos de alteração geoquímica descritos por Melfi & Pedro (1978), verificou-se que o P1, P2 e o P3 ocorrem em ambientes onde predomina o mecanismo de hidrólise, enquanto o P4 e o P5 encontram-se em ambientes caracterizados pelo mecanismo de acidólise. Ambos os mecanismos podem gerar solos ácidos, a hidrólise através da dessaturação progressiva do complexo de alteração, e a acidólise através de reações com ácidos orgânicos. Portanto, destaca-se a importância de futuros estudos referentes à contribuição da MO na alteração dos Neossolo Litólicos e Neossolos Regolíticos derivados de rochas vulcânicas no RS.

### **3.3. Considerações finais**

Os dados de granulometria, argila natural e cor da fração terra fina sugerem que o processo de transferência de argila para Hz subsuperficiais se sobrepôs à formação de argila pelo intemperismo nos Neossolos estudados.

As características químicas apresentadas pelos perfis de Neossolos, principalmente o complexo de troca, foram influenciados pelas condições climáticas e geológicas.

A mineralogia das rochas dos pontos de coletas foi semelhante, com destaque para plagioclásios, piroxênios, feldspatos-K, quartzo, muscovita, biotita, anfibólio, magnetita-maghemita, olivina e clorita. Os reflexos do quartzo foram mais intensos nas rochas ácidas, no P4 e P5, enquanto os reflexos do piroxênio, olivina,

magnetita-maghemita e plagioclásios foram mais intensos nas rochas básicas, nos demais perfis.

Nas amostras de saprolito foram identificados minerais primários e secundários. Verificaram-se teores mais elevados de caulinita no P1, P2 e P3, e de gibbsita no P4 e P5, sugerindo que no saprolito encontrado em ambiente de alteração intensa houve predomínio de alteração direta de minerais primários como plagioclásios e feldspatos para gibbsita.

Na fração argila, houve aumento da caulinita e goethita e redução da hematita em direção ao P5. Esse comportamento dos minerais foi relacionado com as condições climáticas e com o material de origem. No P1, P3 e P5 ocorreram minerais 2:1, provavelmente esmectita HE, com aumento da intercalação no P5. Nesses mesmos perfis foram verificados indícios de interestratificado esmectita-caulinita.

O índice ki foi eficiente em separar os perfis de Neossolos em diferentes grupos relativos ao grau de alteração, sendo indicada sua utilização na caracterização de Neossolos derivados de rochas vulcânicas no RS.

As características químicas e mineralógicas verificadas neste trabalho também sugerem dois grupos de solos com graus de intemperismo distintos. O primeiro é constituído pelo P1, P2 e o P3 e encontra-se no estágio entre a bissialitização e a monossialitização, onde predominam a esmectita e a caulinita. O segundo é representado pelo P4 e o P5, encontrando-se no estágio entre a monossialitização e a alitização, onde predominam a caulinita e a gibbsita. Os Neossolos do P4 e P5 apresentaram elevada dessaturação do meio, associada à presença de minerais primários não intemperizados, indicado pela configuração mineralógica e pelos dados químicos.



## **Capítulo 4**

# **CONTRIBUIÇÕES A ANÁLISE MORFOLÓGICA DE NEOSSOLOS E SAPROLITOS DERIVADOS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO RIO GRANDE DO SUL**

## **Contribuições à análise morfológica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas do Rio Grande no Sul**

### **4.1. Introdução**

Os solos são produtos da ação de fatores e processos de formação, os quais são regidos pelas condições do ambiente (Jenny, 1941). Os solos desempenham diversas funções, ambientais e tecnológicas, as quais são afetadas por suas características químicas, mineralógicas, físicas, biológicas e morfológicas (Azevedo et al., 2007). As características morfológicas são os reflexos visíveis da pedogênese apresentada pelos solos, podendo ser obtidas no campo pela análise do perfil de solo. Por isso, informações morfológicas são utilizadas no primeiro e segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006).

Dentre as características morfológicas que mais afetam o potencial de uso dos solos, destacam-se a seqüência de horizontes (Hz) e a profundidade efetiva. A classe dos Neossolos Litólicos e Regolíticos caracteriza-se por apresentar seqüência de Hz e camadas A-R ou A-C-R, com reduzida profundidade efetiva (Embrapa, 2006). Os Neossolos rasos apresentam contato lítico relativamente próximo à superfície. A presença de contato lítico ou saprolito afeta a profundidade efetiva, influenciando o seu potencial ecológico e tecnológico (Machado, 1997). Esses aspectos morfológicos estão relacionados com a situação de intemperismo dos Neossolos, e sua anotação é fundamental para a compreensão dos fluxos de água e solutos nesses solos.

Saprolito é a porção da rocha alterada isovolumetricamente e que ainda mantém a estrutura da rocha original (Buol, 1994; Stolt & Baker, 1994). O saprolito se diferencia do solo pelo predomínio de mecanismos de alteração geoquímicos sobre os pedogenéticos (Calvert et al., 1980a), fluxo através de macroporos ou fraturas (O'Brien & Buol, 1984; Driese et al., 2001) e ausência, ou quase, de atividade biológica, e formação de minerais secundários com preservação da estrutura da rocha (Graham et al., 1994). Os saprolitos diferenciam-se das rochas pela resistência à compressão não confinada menor que 100 MPa (Buol, 1994).

Existe uma dificuldade aparente entre os profissionais de separar as camadas de solo e saprolito e determinar o tipo de contato que ocorre no perfil (Schafer et al., 1979; Stolt & Baker, 1994). Testes mineralógicos, químicos e físicos são utilizados para a distinção entre os horizontes pedogenéticos e os materiais saprolíticos. Entretanto, no campo, os ensaios morfológicos ainda necessitam aprimoramentos, visto que os testes mais utilizados são considerados subjetivos e inconsistentes, dificultando a padronização dessa informação (Machado, 1997; Oliveira, 2001).

Além disso, a descrição morfológica padrão (Santos et al., 2005) efetuada no campo pelos técnicos, não tem sido eficiente em evidenciar características e propriedades importantes para o planejamento e manejo dos Neossolos rasos. Isso ocorre porque os estudos desses materiais ainda são incipientes, havendo uma lacuna quanto aos conhecimentos mais específicos dessa classe de solo (Oliveira, 2001). O estudo dos Neossolos do RS pode contribuir com a evolução de atributos diagnósticos morfológicos utilizados para a sua descrição e caracterização.

Nesse contexto, o trabalho analisou a morfologia de cinco perfis de Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no RS, com os seguintes objetivos: definir morfológicamente o contato solo – saprolito – rocha em Neossolos derivados de rochas vulcânicas do RS e desenvolver e propor um protocolo de análise morfológica para a descrição de Neossolos Litólicos e Regolíticos.

## **4.2. Resultados e discussão**

Os resultados de granulometria da fração fina dos perfis analisados já foram apresentados na Tabela 3.1 e discutidos no Capítulo 3. As informações ambientais são encontradas no Capítulo 2, referente à metodologia.

Na Tabela 4.1, podem ser observados os resultados da morfologia padrão. Os perfis apresentaram a seguinte seqüência de Hz e camada: A-Cr-R. No caso do P1, P3 e P5, ocorreram Hz intermediários entre A e Cr. Em termos de profundidade, o Hz A variou de 15 até 40 cm e, quando se considerou o Hz intermediário, a variação do Hz A se estabeleceu entre 30 e 110 cm. O Hz Cr, desconsiderando a sua transição para camada R, apresentou variação de 70 a 205+ cm.

Em relação à cor, observou-se que tanto a cor seca moída do solo quanto à do saprolito se mantêm, praticamente, a mesma, em profundidade, em todos os

perfis, sugerindo que essa característica do solo não se mostra um bom indicativo da mudança de resistência do material em profundidade. Entretanto, a análise do matiz evidenciou o amarelecimento da fração terra fina do P1 em direção ao P5. Essa modificação na cor ocorre devido aos efeitos climáticos que promovem alteração mineralógica dos perfis (ver Capítulo 3).

Tabela 4.1. Profundidade, cor e transição dos horizontes nos perfis analisados.

Perfil	Hz	Prof. <sup>1</sup>	Cor (Munsell) <sup>2</sup>		Transição entre horizontes
			Terra fina	Saprolito	
1	A	0-15	5YR 3/4	7,5YR 5/6	clara e ondulada
	Cr/A	15-30	5YR 3/4	5YR 5/7	clara e plana
	Cr	30-70	5YR 3/4	5YR 6/3	clara e plana
	RCr	70-180	5YR 3/4	5YR 6/3	clara e plana
2	A	0-21	5YR 3/4	7,5YR 6/7	clara e ondulada
	Cr1	21-90	5YR 3/4	7,5YR 6/7	clara e plana
	Cr2	90-182	5YR 3/4	7,5YR 6/7	clara e ondulada
3	A	0-30	7,5YR 5/2	10YR 7/3,5	clara a gradual e plana
	Cr/A	30-110	7,5YR 5/2	10YR 7/3,5	clara a gradual e plana
	Cr	110-170	7,5YR 6/3	7,5YR 4/6	gradual e plana a irregular
4	A	0-40	10YR 3/2,5	10YR 7/3,5	gradual e irregular
	RCr1	40-85	10YR 3/1,5	10YR 7/3,5	gradual e irregular
	RCr2	85-280+	10YR 3/2,5	10YR 7,5/3	-
5	A	0-20	10YR 3/2	10YR 7/3,5	abrupta a clara e irregular
	Cr/A	20-45	10YR 3/2	10YR 7/3,5	clara e irregular a ondulada
	Cr1	45-78	10YR 3/2	10YR 6,5/3	clara e plana a ondulada
	Cr2	78-205+	10YR 3/2	10YR 6,5/3	-

<sup>1</sup> Prof: profundidade em cm.

<sup>2</sup> Cor obtida em material seco ao ar e moído.

Os resultados de cor das amostras de terra fina associados aos resultados da distribuição da fração argila nos perfis (Tabela 3.1) sugerem iluviação de argilas do Hz superficial para as fraturas dos subsuperficiais. Segundo Graham et al. (1994), a iluviação e acumulação de argilas nas fraturas de rochas alteradas é fato comum.

A anotação da transição entre os Hz é importante por que contribui no entendimento da gênese do solo e de aspectos como desenvolvimento de raízes e suscetibilidade a erosão. A análise vertical da transição entre os Hz (grau ou nitidez de transição) mostrou que há um predomínio da transição clara e gradual, enquanto a análise horizontal mostrou predomínio de transição plana, mas com significativa ocorrência de transição ondulada e irregular. A variabilidade espacial da transição entre Hz em perfis pouco desenvolvidos é freqüente, sendo resultado da ação dos

diferentes microambientes na decomposição dos materiais. Santos et al. (2005) não apresentam detalhes sobre onde observar a transição entre Hz. Sendo assim, considerando a variabilidade dessa variável, sugere-se a anotação da transição no ponto do perfil, em face de 1 a 2 m horizontais e, quando possível, igual anotação em face de pelo menos 10 m para verificação da variabilidade em torno do perfil.

Conforme Santos et al. (2005), a determinação da percentagem de cada fração granulométrica é efetuada em relação à massa seca total da amostra coletada no campo. Quando os valores de granulometria foram obtidos dessa forma, considerou-se a hipótese de que a determinação em função do volume teria maior representatividade do campo. Para comparação, a granulometria total foi também estimada com base no volume das frações.

Os valores de granulometria total com base na massa seca e no volume são encontrados na Tabela 4.2. A granulometria baseada na massa seca apresentou valores mais elevados para a fração grosseira, quando comparada à granulometria por volume. Os valores em função da massa para fração grosseira variaram entre 24 % no Hz A (P5) e 98 % no Hz RCr (P1). Os valores da fração fina foram mais elevados, em todos os perfis, na determinação por volume. Contudo, os valores de terra fina foram próximos nos Hz Cr e RCr dos P1 e P4.

Tabela 4.2. Granulometria total das amostras em função da massa seca e do volume para os perfis analisados.

Perfil	Hz.	Fração grosseira			Fração fina	Fração grosseira		Fração fina
		Calhaus	Cascalho			Calhaus	Cascalho	
		% em relação à massa seca*			% em relação ao volume*			
1	A	28	36	36	27	34	39	
	Cr/A	29	54	17	34	64	2	
	Cr	43	44	14	41	42	17	
	RCr	92	6	2	91	6	3	
2	A	20	56	24	15	41	44	
	Cr1	53	35	13	45	29	26	
	Cr2	48	40	12	41	35	24	
3	A	37	22	41	23	14	63	
	Cr/A	43	34	22	26	20	54	
	Cr	33	44	23	24	33	43	
4	A	49	26	25	38	20	42	
	RCr1	70	15	15	70	15	15	
	RCr2	89	7	4	88	7	5	
5	A	1	23	77	1	19	80	
	Cr/A	18	41	41	17	30	53	
	Cr1	25	47	29	28	54	18	
	Cr2	82	14	4	65	11	24	

\* Valores médios de 3 repetições.

É importante ressaltar que a granulometria não significa a separação de solo e saprolito, visto que parte do saprolito, com alto grau de alteração passam pela peneira com malha de 2 mm, assim como porções de solo com alto grau de agregação contribuem para a elevação dos valores da fração cascalho (2 mm a 2 cm).

Considerando que ambos os métodos fazem uso da massa seca (ver Capítulo 2) e que parte da fração terra fina é constituída por saprolito facilmente moído, aumentando essa contribuição nos Hz intermediários Cr/A, onde o saprolito é mais alterado, não se descarta uma superestimação dos valores de terra fina e cascalhos em ambos os métodos. Indício de valor superestimado é encontrado no Hz Cr1 do P5, onde a fração fina é, em maior parte, constituída por saprolito moído e onde também são encontrados os valores mais elevados de dispersão do saprolito em água, sugerindo uma maior facilidade de fragmentação (ver Tabela 4.5).

Não foram encontradas evidências de maior eficiência entre as duas maneiras de determinação da percentagem das classes granulométricas, talvez um maior número de dados possa indicar as vantagens de um método sobre o outro. Contudo, considerando a sugestão encontrada em Buol (1989), onde o limite entre solo e saprolito seria a predominância de estrutura da rocha sobre a estrutura do solo, e tal critério está relacionado com a granulometria, verificou-se que a separação granulométrica total contribui na alocação do contato solo-saprolito.

Nos manuais brasileiro (Santos et al., 2005) e americano (Schoeneberger et al., 2002) de descrição e coleta de solo no campo, não foram encontradas menções sobre a metodologia de coleta do material no perfil. Então, assumiu-se a coleta efetuada com uma pá reta e uma faca na parede do perfil como sendo o método padrão. Nesse caso, os valores de granulometria total obtidos dessa forma foram comparados com o método da escavação, utilizado para determinar a densidade do sistema solo-saprolito. Os resultados dessa comparação são apresentados na Tabela 4.3.

A comparação entre os métodos de coleta mostrou, para ambos, a mesma tendência de redução da fração terra fina e aumento da fração grosseira em profundidade. Os resultados mostram que os valores de fração fina são inferiores, nos cinco perfis, quando coletados pelo método padrão. Esses valores confirmam a suspeita que esse método de coleta, na parede do perfil (padrão), promove a perda parcial de terra fina, favorecendo o acúmulo da fração grosseira.

Os valores da fração grosseira tendem a ser mais elevados nas amostras coletadas pelo método da escavação. Esse aumento da fração cascalho ocorreu porque parte do material retirado por escavação foi fragmentado pelo uso da talhadeira, quando fragmentos de calhaus foram transformados em cascalhos. Esse efeito é mais visível nos Hz com predominância de saprolitos, como por exemplo, nos Hz Cr do P3 e P5 e, RCr do P4.

Tabela 4.3. Comparação entre métodos de coleta de material para granulometria.

Perfil	Hz.	Método padrão			Método da escavação		
		Fração grosseira Calhaus	Fração Cascalho	Fração terra fina	Fração grosseira Calhaus	Fração Cascalho	Fração terra fina
					%*		
1	A	26	34	40	31	37	32
	Cr/A	26	61	13	32	48	20
	Cr	62	27	11	23	60	17
	RCr	92	6	2	85	12	3
2	A	28	54	18	11	58	30
	Cr1	60	30	11	46	40	15
	Cr2	54	36	10	43	43	14
3	A	51	24	25	22	20	58
	Cr/A	52	30	18	31	40	29
	Cr	33	44	23	24	49	27
4	A	49	28	22	48	24	28
	RCr1	70	15	15	75	8	17
	RCr2	89	7	4	79	16	5
5	A	1	29	70	0	17	83
	Cr/A	27	51	22	8	32	60
	Cr1	43	38	19	6	55	39
	Cr2	82	14	4	75	19	6

\* Valores médios de 3 repetições.

Os resultados da comparação entre os métodos de coleta de material para determinação granulométrica total sugerem que o método padrão é mais representativo, desde que empregado com critérios para evitar a perda de terra fina no momento da coleta. Sugere-se a utilização de um recipiente de coleta que possa cobrir toda a extensão horizontal da parede do perfil e capaz de não permitir perda de material no eventual espaço entre o recipiente e a parede do perfil. O método da escavação, embora minimize as perdas de material, promove a redução do tamanho dos fragmentos grosseiros devido ao uso de ferramentas como a talhadeira. Além disso, o método da escavação é mais trabalhoso.

O contato entre solo-saprolito-rocha é importante na condição de pequena profundidade efetiva, como no caso dos Neossolos Litólicos (Machado, 1997). Para análise do contato lítico e saprolítico (ver Capítulo 2 e 5) foi elaborado um quadro com classes de intemperismo do material rochoso (Quadro 4.1).

Quadro 4.1. Classes de intemperismo para rochas vulcânicas sob Neossolos do RS.

Classes	Palavra-chave	Descrição	Camada ou Hz
11	Rocha inalterada (Contato lítico)	Apresenta som metálico com pancada de martelo; coloração máfica; fraturas quando existentes apresentam junções angulares; o material não pode ser escavado manualmente; não há penetração de raízes, exceto pelas fraturas, que geralmente ocorrem com espaçamento superior a 10 cm.	R
12	Rocha pouco alterada (Contato lítico)	Apresenta som metálico com pancada de martelo; a coloração pode ser máfica ou parcialmente mais clara; apresenta fraturas com juntas distintas e angulares; a dificuldade de escavação manual inviabiliza a mesma, embora possa ser parcialmente escavada com picareta. A picareta não corta o material, mas o fragmenta em blocos.	RCr
13	Rocha moderadamente alterada (Contato lítico)	O material mantém a estrutura da rocha; pode ser escavado com picareta com moderada dificuldade, mas inviabiliza a escavação com a pá de corte, pancadas com martelo pedológico e picareta rompem em blocos grandes e pequenos; a pancada não consegue cortar o material, mas apenas fraturá-lo; raízes não penetram no material, somente nas fraturas; apresentam juntas angulares e distintas. A coloração é clara, podendo apresentar o interior máfico. Geralmente o interior dos blocos ainda mantém coloração escura, semelhante à cor da rocha sã.	RCr
14	Rocha moderadamente bem alterada (saprolito)	O material mantém a estrutura da rocha; não pode ser quebrado com as mãos, mas sim com a pá de corte, martelo ou picareta, rompendo-se em blocos grandes e pequenos; a pancada corta o material; raízes não penetram no material, somente nas fraturas; apresentam juntas angulares e distintas. A coloração é geralmente clara.	CrR Cr
15	Rocha severamente alterada (saprolito)	O material mantém a estrutura da rocha, podendo ser quebrada com as mãos sem dificuldade, dividindo-se em fragmentos grandes e pequenos; pode não ser friável e não é plástica; pode ser cortado com a faca sem dificuldade, ainda não permite a penetração de raízes. Pode apresentar canais biológicos e juntas angulares e subangulares.	Cr
16	Rocha completamente alterada (saprolito-solo)	Material friável quando úmido e plástico quando molhado; pode ser quebrado sem dificuldade com a mão, pulverizando-se ou dividindo-se em muitos fragmentos pequenos; pode ser cortado facilmente com a faca, não oferece resistência à penetração de raízes. Pode apresentar canais biológicos e juntas angulares e subangulares, mas geralmente apresenta estrutura maciça, dificultando a percepção das fraturas.	Cr C

As classes de intemperismo foram elaboradas com base nos trabalhos de ISRM (1978), Clayton et al. (1979) e, principalmente, nos perfis avaliados no campo.



As seis classes de intemperismo propostas consideram a variação de rocha sã, inalterada, até rocha completamente alterada e referem-se a materiais vulcânicos básicos e ácidos encontrados no Estado do RS. O contato lítico estabelece-se na classe W3 (rocha moderadamente alterada). Isso ocorre porque o critério utilizado na definição do contato lítico não é o grau de alteração mineralógica, mas sim a resistência mecânica (dureza) imposta às raízes e à escavação (Buol, 1990).

A partir do contato lítico, as camadas são simbolizadas pela letra "R" maiúscula, quando o material rochoso nessas camadas já apresentam sinais de alteração intempérica, inclusive com presença de terra fina, são indicados pela simbologia "RCr" e passam a ser considerados, neste trabalho, como Hz. Os Hz saprolíticos, caracterizados principalmente pela possibilidade de corte com a pá reta, são simbolizados pela letra "C" maiúscula, sendo aqueles que mantêm a estrutura da rocha designadas pela característica subordinada "r" e finalmente indicadas pela simbologia "Cr" (Embrapa, 1988b; Buol, 1990; Santos et al. 2005).

O emprego das classes de intemperismo propostas é apresentado, juntamente com os testes de resistência do material saprolítico e rochoso, na Tabela 4.4. Os testes de resistência apresentaram resultados diferentes para a mesma amostra, onde os testes da faca e do martelo pedológico resultaram em resistência inferior ao teste da pá reta. Por isso, as classes de intemperismo são aferidas com os resultados do teste da pá reta, conforme Soil Survey Staff (1993), independente do resultado dos demais testes.

A não equivalência dos resultados dos testes ocorre devido ao tamanho e forma da ferramenta usada no teste. O fato da faca e do martelo pedológico apresentarem uma menor lâmina de corte, capaz de penetrar nos fragmentos de saprolito com maior facilidade, possibilita uma sensação de maior friabilidade, ao passo que a pá, enfrenta maior resistência à sua penetração.

No teste da pá reta, predominou a resistência moderada a alta, com exceção do P4, onde se registrou resistência mais elevada. No teste da faca e do martelo pedológico, predominou a resistência fraca, variando para muito fraca ou para moderada. Os resultados, semelhantes aos obtidos por Machado (1997), indicaram que o uso desses testes deve ser criterioso, ancorado na experiência de campo, assim como sustentam a busca de novas ferramentas e métodos capazes de estimar esse comportamento do regolito.

Tabela 4.4. Resistência de rochas e saprolitos a escavação em diferentes testes e a sua classe de intemperismo.

Perfil	Horizonte	Teste da pá <sup>1</sup>	Teste da faca <sup>2</sup>	Teste do Martelo pedológico <sup>2</sup>	Classe de intemperismo <sup>3</sup>
1	A	Moderada	Muito fraca	Muito fraca	I4
	Cr/A	Moderada	Muito fraca	Muito fraca	I4
	Cr	Alta	Fraca	Fraca	I4
	RCr	Alta a muito alta	Resistente	Resistente	I3
	R	-	-	-	I1
2	A	Moderada a alta	Fraca	Muito fraca a fraca	I4/I3
	Cr1	Moderada a alta	Fraca	Fraca a moderada	I4
	Cr2	Moderada a alta	Fraca	Fraca a moderada	I4
	R	-	-	-	I1
3	A	Moderada a alta	Fraca	Muito fraca a fraca	I4/I3
	Cr/A	Moderada a alta	Fraca	Fraca a moderada	I4
	Cr	Moderada a alta	Fraca	Fraca a moderada	I4
	R	-	-	-	I1
4	A	Alta	Fraca	Fraca	I4
	RCr1	Muito alta	Moderado	Moderada a resistente	I3
	RCr2	Muito alta	Moderado	Moderada a resistente	I2
	R	-	-	-	I1
5	A	Baixa	Muito fraca a fraca	Moderada	I5
	Cr/A	Baixa a moderada	Muito fraca a fraca	Muito fraca a fraca	I5-I6
	Cr1	Moderada a alta	Muito fraca	Muito fraca a fraca	I4
	Cr2	Moderada a alta	Fraca a moderada	Moderada	I4
	R	-	-	-	I1

<sup>1</sup> Soil Survey Staff (1993);<sup>2</sup> Speight & Isbell (1979), citado por Buol (1989);<sup>3</sup> Proposta neste trabalho.

A análise de dispersão de fragmentos de saprolitos e rochas sugerida pelo Soil Survey Staff (1975), usada para determinar o tipo de contato, lítico ou litóide, quando presentes, é apresentada na Tabela 4.5.

A classificação do tipo de contato foi efetuada em função dos resultados da dispersão em água, assim como indica o método, sendo a dispersão com solução de NaOH realizada para comparação com a água. Verifica-se que o efeito dispersante

do NaOH foi inferior ao da água nos Hz superficiais do P1, P3 e P4. Também foi observado que os valores mais elevados de dispersão foram registrados no P4 e P5, caracterizando o contato litóide. Porém, no teste da pá, o Hz RCr1 e RCr2 do P4 apresentaram maior resistência à escavação, indicando contato lítico, contrariando o teste de dispersão. Resultados obtidos por Machado (1997) também mostram materiais com significativa dispersão em água e escavação impraticável com a pá reta.

Tabela 4.5. Dados de dispersão de fragmentos de saprolitos e rochas, em água e em solução de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> para os 5 perfis estudados.

Perfil	Hz	Prof. cm	Dispersão com H <sub>2</sub> O			Dispersão com NaOH			Tipo de contato
			média <sup>1</sup>	M-M <sup>2</sup> %	CV <sup>3</sup>	média <sup>1</sup>	M-M <sup>2</sup> %	CV <sup>3</sup>	
1	A	0 -15	6	11-4	3,32	2	6-1	2,09	litóide
	Cr/A	-30	4	4-4	0,0	2	3-1	0,74	litóide
	Cr	-70	6	9-4	1,92	5	8-3	2,19	litóide
	RCr	-180	3	4-1	1,28	3	3-2	0,32	litóide
	R	- 550	0	0-0	0	0	0-0	0	lítico
2	A	-21	2	3-1	0,70	2	2-0	0,84	lítico
	Cr1	-90	4	6-2	1,52	5	6-3	1,18	litóide
	Cr2	-182	4	6-2	1,46	7	13-3	4,16	litóide
	R	- 310	0	0-0	0	0	0-0	0	lítico
3	A	-30	1	1-0	0,18	0	0	0	lítico
	Cr/A	-110	2	3-0	1,18	1	3-0	1,48	lítico
	Cr	-170	3	6-1	2,29	3	7-0	2,81	litóide
	R	- 500	0	0-0	0	0	0-0	0	lítico
4	A	-40	7	8-5	1,51	4	5-4	0,63	litóide
	RCr1	-85	10	12-6	2,74	6	9-3	2,06	litóide
	RCr2	-280	4	5-3	0,89	11	22-8	6,13	litóide
	R	- 500	0	0-0	0	0	0-0	0	lítico
5	A	-20	0	1-0	0,38	0	1-0	0,34	lítico
	Cr/A	-45	4	6-1	1,74	8	12-3	3,39	litóide
	Cr1	-78	10	12-5	3,06	16	27-11	7,10	litóide
	Cr2	-205	7	15-4	4,66	3	5-1	1,21	litóide
	R	-	0	0-0	0	0	0-0	0	lítico

<sup>1</sup> Média de 5 amostras;

<sup>2</sup> M-M: valor máximo – valor mínimo;

<sup>3</sup> CV: coeficiente de variação.

No teste de dispersão foram identificados contatos líticos no Hz A do P2, P3 e P5, os quais apresentaram resistência, no teste da pá, compatível com o contato litóide. Isso pode ter ocorrido devido à presença de fragmentos grosseiros na massa do Hz A com feições que aparentavam menor grau de intemperismo. Sendo assim,

pode ter havido a seleção aleatória de material mais resistente utilizado no teste da dispersão.

Os valores de dispersão que indicaram contato litóide encontraram-se muito próximo do limite entre esse e o contato lítico, mesmo nos Hz onde a resistência à escavação foi baixa, como nos Hz A, Cr/A e Cr1 do P5. Esse fato sugere que o teste de dispersão, conforme metodologia adaptada neste trabalho (ver Capítulo 2), não foi eficiente na identificação dos contatos solo-saprolito-rocha.

O estudo das fraturas e suas características como ângulo, espaçamento e espessura tem importância ambiental e tecnológica, como, por exemplo, para as aplicações geotécnicas, pois contribui no entendimento da estabilidade de encostas e recargas de aquíferos. Talvez uma das funções mais importantes das fraturas é a promoção dos fluxos de água e raízes em camadas mais profundas, elevando a profundidade efetiva do perfil (Schafer et al., 1979; Graham et al., 1994; Machado, 1997; Oliveira, 2001).

Na Figura 4.1 são apresentados os resultados da análise das fraturas. Para tal, foi elaborada uma técnica chamada de diagrama de fraturas, a qual apresenta a configuração de fraturas dominantes no perfil, com ênfase nas camadas onde ocorrem os contatos solo-saprolito-rocha. A descrição em detalhes dessa técnica é apresentada no Capítulo 2.

Os dados referentes às fraturas mostraram que os cinco perfis apresentam elevado grau de fraturamento, com ampla variação angular e espaçamento menor que 10 cm entre fraturas. Essa configuração favorece a movimentação de água e materiais minerais e orgânicos no perfil, bem como a penetração de raízes nas fraturas, que variam no P1, P4 e P5, desde poucos milímetros até 1 cm de espessura.

Fratamentos com ângulos mais elevados em relação ao nível d'água podem contribuir para uma taxa de intemperismo mais acelerada, visto que favorece o movimento de água no perfil (Schoeneberger & Wysocki, 2005). Porém, esse fato não foi verificado no P4 que apresenta fraturamento dominante em ângulo mais elevado que o P5, mas o contato lítico ocorre mais superficialmente que aquele.

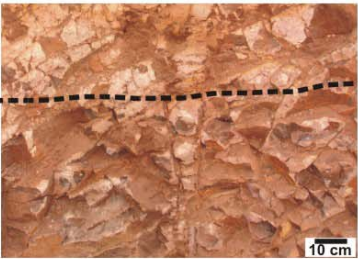
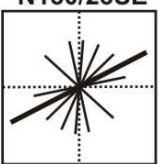
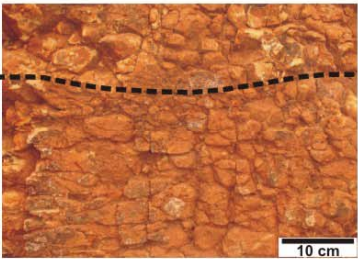


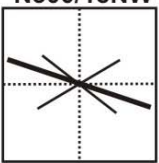
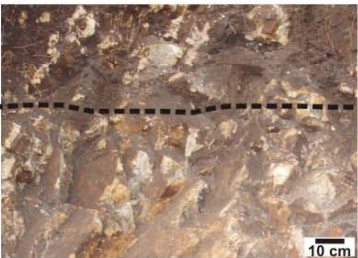



	Imagem do perfil		Diagrama	Descrição
P1		Cr RCr		Fraturas abundantes no Cr e RCr, dispostas, predominantemente, a 23° do eixo horizontal, com ampla variação angular. Apresentam espessura de até 1 cm, com espaçamento menor que 10 cm entre fraturas.
P2		Cr1 Cr2		Fraturas abundantes no Cr1 e Cr2, dispostas, predominantemente, no sentido horizontal e vertical, com menor variação angular. Apresentam espessura de até 2 cm, com espaçamento menor que 10 cm entre fraturas.
P3		Cr/A Cr		Material disperso, dificultando a visualização das fraturas, dispostas, predominantemente, a 18° do eixo horizontal, com pequena variação angular. Apresentam espessura de até 4 cm, com espaçamento menor que 10 cm entre fraturas.
P4		RCr1 RCr2		Fraturas abundantes no RCr1 e RCr2, dispostas, predominantemente, a 47° do eixo horizontal, com ampla variação angular. Apresentam espessura de até 1 cm, com espaçamento menor que 10 cm entre fraturas.
P5		Cr1 Cr2		Fraturas abundantes no Cr1 e Cr2, dispostas, predominantemente, a 11 e 5° do eixo horizontal, com ampla variação angular. Apresentam espessura de até 1 cm, com espaçamento menor que 10 cm entre fraturas.

Figura 4.1. Diagrama e descrição das fraturas da face frontal nos horizontes saprolíticos dos perfis analisados.

A análise das raízes é apresentada na Tabela 4.6. Não houve uma equivalência entre as observações de campo, conforme a metodologia proposta por Santos et al. (2005), que trata de uma estimativa visual, e a estimativa de raízes pelo método da escavação (ver Capítulo 2).

Tabela 4.6. Resultados do levantamento de raízes nos perfis do trabalho.

Perfil	Horizonte	Raízes (%) <sup>1</sup>	Anotação de campo <sup>2</sup>	Descrição <sup>2</sup>
1	A	100 ( $\pm 5$ )	muitas	Perfil sob campo nativo, raízes fasciculadas e finas, predomínio de gramíneas.
	Cr/A	0 ( $\pm 5$ )	muitas	
	Cr	0 ( $\pm 5$ )	poucas	
	RCr	0 ( $\pm 5$ )	poucas	
	R	0 ( $\pm 5$ )	ausente	
2	A	86 ( $\pm 5$ )	muitas	Perfil sob campo nativo, raízes fasciculadas e finas, predomínio de gramíneas.
	Cr1	14 ( $\pm 5$ )	comuns	
	Cr2	0 ( $\pm 5$ )	poucas a raras	
	R	0 ( $\pm 5$ )	ausente	
3	A	72 ( $\pm 5$ )	muitas	Perfil sob floresta nativa, raízes fasciculadas e pivotantes, finas e grossas, herbáceas e arbóreas.
	Cr/A	28 ( $\pm 5$ )	comuns	
	Cr	0 ( $\pm 5$ )	poucas a raras	
	R	0 ( $\pm 5$ )	raras	
4	A	100 ( $\pm 5$ )	muitas	Perfil sob floresta nativa, raízes fasciculadas e pivotantes, finas e grossas, herbáceas e arbóreas.
	RCr1	0 ( $\pm 5$ )	muitas	
	RCr2	0 ( $\pm 5$ )	raras	
	R	0 ( $\pm 5$ )	ausentes	
5	A	88 ( $\pm 5$ )	muitas	Perfil sob campo nativo, raízes fasciculadas e finas, predomínio de gramíneas.
	Cr/A	12 ( $\pm 5$ )	comuns	
	Cr1	0 ( $\pm 5$ )	poucas	
	Cr2	0 ( $\pm 5$ )	raras	
	R	0 ( $\pm 5$ )	ausente	

<sup>1</sup>. Coleta de raízes pelo método da escavação;

<sup>2</sup>. Anotações de campo conforme sugestão de Santos et al. (2005).

Nos Hz mais profundos foram observadas a presença de raízes no campo; no entanto, essas raízes não foram percebidas na coleta por escavação. Na verdade, na coleta por escavação, houve uma fração de raízes mais finas que não foram contabilizadas, sendo, então, estimado para o valor final uma variação de  $\pm 5$  %.

Outro fato importante a ser considerado é que nos Hz Cr/A do P1 e RC1 do P4 foram percebidas no campo muitas raízes, semelhante ao Hz A desses perfis. Porém, pelo método da escavação, a contabilização de raízes nesses Hz foi de 0 %. Tal fato pode ser explicado pela variabilidade das raízes no campo, principalmente em solos rasos, como os Neossolos, onde as raízes desenvolvem-se, nos Hz mais profundos, entre as fraturas da rocha ou saprolito. Sendo assim, a presença ou não de raízes está condicionada à configuração do fraturamento do material de origem do solo. Como na observação de campo o técnico trabalha com uma face de perfil de aproximadamente um metro, pode ter uma impressão de maior ocorrência de

raízes, a qual, por sua vez, pode não estar de acordo com o encontrado pelo método da escavação, que considera uma área menor.

Todos os perfis apresentam desenvolvimento de raízes sem limitações aparentes. Talvez um dos desafios seja a aplicação de uma técnica capaz de perceber as eventuais limitações com mais detalhes. Ressalta-se que o P1, P2 e P5 apresentam como cobertura, pastagem nativa, com predomínio de gramíneas, sendo então natural a concentração de raízes no Hz A. O P3, sob floresta, apresenta desenvolvimento considerável de raízes até a profundidade de 110 cm, devido ao tipo de vegetação. O P4, embora sob floresta, foi coletado em ponto onde predominava vegetação do tipo taquara do mato, espécie de gramínea que também apresenta sistema radicular fasciculado, fino e superficial. Além disso, o contato lítico mais próximo da superfície também aumenta as limitações à penetração de raízes, embora o fraturamento do contato sugira um ambiente favorável às raízes.

O método da escavação não foi eficiente em acusar a presença de raízes em Hz e camadas mais profundas. Além disso, esse método é mais trabalhoso, dificultando sua adoção pelos técnicos de campo. Na ausência de uma metodologia mais adequada, sugere-se, a utilizada atualmente, descrita em Santos et al. (2005), pois segundo Schafer et al. (1979), as raízes são úteis na indicação de contatos entre diferentes materiais no perfil.

Para as condições dos perfis analisados, as raízes não foram eficientes na indicação dos contatos solo-saprolito-rocha. Um dos motivos é o elevado grau de fraturamento dos saprolitos que permitem a penetração das raízes. O outro motivo é a profundidade onde se encontra o contato lítico, geralmente, abaixo do sistema radicular, principalmente de gramíneas, como no P1, P2 e P5. Quando o contato lítico ocorre próximo à superfície, como no P4, encontra-se também fraturado, permitindo a passagem de raízes.

Os resultados dos testes de resistência à escavação, análise granulométrica total e análise de fraturas foram importantes na identificação dos contatos solo-saprolito-rocha nos cinco perfis estudados. No P1, os resultados indicaram contato solo-saprolito (SS) a 15 cm abaixo da superfície e contato lítico a 90 cm. No P2, o contato SS ocorre a 90 cm de profundidade e o contato lítico a 310 cm. No P3, o contato SS foi encontrado a 30 cm da superfície, enquanto o contato lítico situou-se a 170 cm. No P4, não foi encontrado contato SS e o contato lítico foi identificado a

40 cm de profundidade. No P5, os contatos SS e lítico situaram-se a 20 e 205 cm da superfície, respectivamente.

Considerando as informações dos contatos acima, ficou claro que a profundidade efetiva no P1, P2, P3 e P5 contabiliza as camadas de saprolitos (Cr). A profundidade efetiva, segundo Machado (1997), tem sido erroneamente inferida em solos rasos como os Neossolos, afetando os resultados da interpretação da capacidade de uso desses solos. A presença de material alterado, classificado como “W 4 ou W5”, conforme seu grau de intemperismo, não limita o desenvolvimento de raízes e pode inclusive fornecer nutriente às mesmas.

Ainda em relação aos contatos, os perfis analisados apresentaram constituição e organização dos materiais que não são contempladas pela segunda edição do SiBCS (Embrapa, 2006), como por exemplo a presença do contato entre solo e saprolito com fraturas com espaçamentos inferiores a 10 cm e material friável, facilmente escavável com a pá reta.

Os testes de resistência à escavação têm sido utilizados no campo para compreensão do comportamento dos materiais saprolíticos. Autores como Machado (1997) e Oliveira (2001) têm questionado a validade destes testes e apontado suas limitações, principalmente no que se refere à subjetividade da anotação pelo técnico de campo. Machado (1997) sugeriu a utilização de um penetrômetro de impacto, modelo Stolf (Stolf, 1991), para padronizar as leituras de resistência do material a escavação. Porém, tal medida ainda carece de maiores testes e impõe a necessidade de equipamento especial, nesse caso o penetrômetro.

Com as informações obtidas nas análises morfológicas foi possível perceber a importância da descrição detalhada de Hz e camadas mais profundas. Essa descrição é fundamental para a compreensão das limitações eventualmente oferecidas pela constituição e organização dos materiais no perfil dos Neossolos rasos. Nesse sentido, foi organizado um quadro com características ambientais e morfológicas chamado de protocolo de avaliação do contato solo-saprolito-rocha (Tabela 4.7), o qual visa subsidiar a análise morfológica em solos rasos. Numa primeira parte aparecem as características ambientais, já sugeridas por Santos et al. (2005), na segunda parte vêm as características morfológicas do perfil, as quais estão relacionadas diretamente com os contatos.



Tabela 4.7. Protocolo de descrição do contato solo-saprolito-rocha em solos rasos.

<b>A. Aspectos ambientais</b>
1. Projeto
2. Localização (coordenadas)
3. Data
4. Relevo local e regional
5. Litologia
6. Rochosidade e pedregosidade
7. Erosão aparente
8. Uso atual e vegetação natural
9. Clima
10. Responsável técnico
<b>B. Aspectos Morfológicos</b>
1. Seqüência de horizontes e camadas
2. Profundidades dos horizontes e camadas
3. Granulometria total
4. Transição entre horizontes e camadas
5. Estrutura e textura da terra fina e materiais grosseiros
6. Cor (caderneta de Munsell) terra fina e materiais grosseiros
7. Resistência do material grosseiro à escavação (teste da pá reta)
8. Análise das fraturas através do diagrama de fraturas proposto neste trabalho
9. Aplicação das classes de intemperismo proposta neste trabalho
10. Análise de raízes

### 4.3. Considerações finais

Os perfis estudados apresentaram contatos líticos e saprolíticos. Foram identificados contatos líticos, líticos fragmentários e saprolíticos fragmentários, sendo que este último não é contemplado no SiBCS, sugerindo a necessidade de aprimoramento do sistema, particularmente em relação à classe dos Neossolos Litólicos e Regolíticos.

Em solos rasos, onde a limitação ao desenvolvimento de raízes é dada pela presença abundante de fragmentos rochosos, é fundamental uma descrição detalhada da configuração das fraturas, raízes e da resistência à escavação dos materiais grosseiros. Essas características associadas auxiliam no entendimento e na percepção dos contatos líticos e saprolíticos.

As classes de intemperismo propostas neste trabalho associada aos testes de resistência foram úteis na organização das informações e identificação dos contatos existentes nos perfis. Da mesma forma, o diagrama de fraturas, também proposto neste trabalho, apresentou rendimento positivo, permitindo um melhor entendimento da configuração das fraturas no perfil.

O teste de dispersão de fragmentos grosseiros em água, utilizado no Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) e, adaptado neste trabalho, não foi eficiente em indicar os contatos existentes em perfis derivados de rochas vulcânicas básicas e ácidas da Formação Serra Geral, no RS, necessitando aprimoramentos.

## Capítulo 5

# **CONTRIBUIÇÕES À CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DE SAPROLITOS E NEOSSOLOS LITÓLICOS E REGOLÍTICOS DERIVADOS DE ROCHAS VULCÂNICAS NO RIO GRANDE DO SUL**

## **Contribuições à classificação taxonômica de saprolitos e Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul.**

### **5.1. Introdução**

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006) é um trabalho resultante dos esforços de diversos grupos de pesquisadores brasileiros. Esse sistema visa ordenar solos com características semelhantes em classes hierárquicas que partem de informações gerais, no nível mais alto, até informações mais específicas, em níveis categóricos mais baixos. O SiBCS, está estruturado até o momento em seis níveis categóricos, onde o 5º e o 6º nível encontram-se em fase de elaboração.

O SiBCS é um sistema taxonômico, aberto e que se encontra em construção permanente, conforme novos conhecimentos sobre solos brasileiros são obtidos (Embrapa, 2006). Neste caso, os diversos pesquisadores colaboradores, de diferentes instituições de pesquisa e ensino do Brasil, são responsáveis pela alimentação do sistema através de contribuições que fomentam a sua evolução. Muitos técnicos apontam dificuldades freqüentes na utilização do SiBCS para classificação dos Neossolos rasos no campo (Machado, 1997; Oliveira, 2001) e mesmo após a segunda edição do SiBCS, em vigor atualmente, percebe-se a necessidade de aprimoramento da Ordem dos Neossolos, principalmente, das subordens Litólico e Regolítico (Vidal-Torrado, 2007).

Os Neossolos Litólicos e Regolíticos são solos relativamente pouco estudados devido ao seu baixo potencial de uso agrícola e, conseqüentemente, menor interesse dos pesquisadores. Atualmente, com o aumento da pressão antrópica sobre essas áreas, resultado da expansão dos centros urbanos e áreas agrícolas, os Neossolos têm sido utilizados mais intensivamente, gerando uma demanda por informações que permitam a sua exploração racional (Machado, 1997; Oliveira, 2001). Vidal-Torrado (2007), pesquisando a opinião de usuários do SiBCS de diversos Estados brasileiros, verificou que a classe dos Neossolos foi considerada a mais problemática, devido à falta de clareza dos seus atributos diagnósticos.

Dentre as dificuldades de trabalho com a classe dos Neossolos Litólicos e Regolíticos, a maior delas, talvez seja a identificação correta dos contatos entre solo-saprolito-rocha existentes no perfil. Em solos rasos como os Neossolos, o tipo de contato e, sua posição no perfil, afeta diretamente a distribuição de água e raízes e, conseqüentemente, seu potencial de uso (Schafer et al. 1979; Lietzke & Weber, 1981; Machado, 1997; Oliveira, 2001). Alguns casos de interpretação incorreta dos contatos levam à classificação de solos rasos com camada saprolítica dentro de 50 cm da superfície como Neossolos Litólicos, afetando a interpretação do seu potencial de uso (Oliveira, 2001).

Os termos saprolítico e saprolito, neste trabalho, referem-se à definição utilizada até a 1ª edição do SiBCS (Embrapa, 1999), onde saprolito é o resultado do intemperismo da rocha, com variado grau de intensidade, mantendo a sua estrutura de origem e dureza compatível com qualquer condição de rocha semi-alterada. Assim, o saprolito apresenta diferentes graus de limitações ao desenvolvimento de raízes, a circulação de água e a escavação.

O saprolito é parte ativa do regolito que desempenha funções ambientais importantes como filtragem da água de percolação e retenção de substâncias poluentes. No Brasil, essa camada é muito pouco estudada, pois, para a maioria dos solos desenvolvidos o saprolito não apresenta interesse agrônômico. Porém, no caso dos Neossolos, muitas vezes é nesse material saprolítico que as plantas se desenvolvem. Além disso, a camada saprolítica apresenta interesse geotécnico e ambiental. Nesse sentido, Lietzke & Weber (1981) sugerem a inclusão do saprolito como parte integrante do solo.

Cline (1963) cita que um sistema de classificação não é uma verdade absoluta a ser descoberta, mas uma ferramenta a ser usada na organização de idéias de forma a torná-las úteis a uma ou mais finalidades. Sendo assim, esforços para melhorar a estrutura taxonômica dos Neossolos quanto aos atributos diagnósticos permitirão uma classificação com caráter universal, no sentido de apresentar propriedades importantes ao uso dos solos para as mais diversas atividades.

Os objetivos deste trabalho foram: avaliar os atributos diagnósticos encontrados no SiBCS (Embrapa, 2006), para classificação dos Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no RS; baseado nos resultados da morfologia do capítulo 4, determinar as características do

perfil mais adequadas para a sua classificação até o quarto nível categórico; e gerar dados da camada saprolítica e testar a sua inclusão na Ordem dos Neossolos.

## 5.2. Resultados e discussão

Todas as descrições ou comparações com o SiBCS, referem-se à sua segunda edição (Embrapa, 2006), salvo citação no texto. A estrutura do SiBCS em relação as subordens Litólico e Regolítico é apresentada na Tabela 5.1, juntamente com a descrição das informações utilizadas para a definição dos atributos nos diferentes níveis categóricos. Verifica-se que, no 2º nível categórico, são elencadas informações referentes a processos secundários de formação dos solos. Nesse caso, Litólico e Regolítico, correspondem à configuração dos materiais no perfil, em relação ao seu grau de alteração. Mais especificamente, em relação à dureza ou dificuldade de escavação manual, sendo Litólico solos que apresentam contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo.

Tabela 5.1. Classes do 3º e 4º nível categórico dos Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, conforme Embrapa (2006) e, informações utilizadas na definição dos atributos diagnósticos no 2º, 3º e 4º nível categórico.

<b>2º nível (subordem)</b>	<b>3º nível (grande grupo)</b>	<b>4º nível (subgrupo)</b>
Características que refletem processos secundários na pedogênese	Características químicas e outras que afetam o movimento de água e raízes no solo	Características intermediárias, centrais ou extraordinárias
Litólico	hístico	típico.
	húmico	espódico ou típico.
	carbonático	fragmentário ou típico.
	chernossólico	fragmentário ou típico.
	distro-úmbrico	fragmentário ou típico.
	distrófico	fragmentário ou típico.
Regolítico	eutro-úmbrico	fragmentário ou típico.
	eutrófico	fragmentário ou típico.
	húmico	léptico ou típico.
	distro-úmbrico	léptico ou típico.
	distrófico	léptico fragipânico, léptico, fragipânico ou típico.
	eutro-úmbrico	léptico ou típico.
	eutrófico	léptico fragipânico, léptico solódico, léptico, fragipânico, solódico ou típico.

O termo regolítico, oriundo dos antigos Regossolos, é derivado de regolito - do grego: rego (manto de alteração) lito (rocha). O termo regolito tem sido usado, principalmente pelos australianos, para caracterizar toda a camada superficial da Terra que não é rocha sã, incluindo os solos e os saprolitos (Eggleton, 2001; Butt et al., 2000; Clarke, 2003; Gee & Anand, 2004). O mesmo sentido também é verificado nos trabalhos americanos (Stolt & Baker, 1994). No Brasil, o termo regolito tem sido, da mesma forma utilizado, por exemplo, em Oliveira (2001). O uso desse termo no SiBCS denota a presença de material mais intemperizado com contato lítico abaixo de 50 cm de profundidade. Considerando a etimologia do termo regolítico e seu emprego, percebe-se que, no âmbito da pedologia, todos os solos são regolíticos, sendo então inapropriado para definição em segundo nível categórico de uma classe específica. Nesse caso, dizer Neossolo Regolítico é redundante, sendo adequada a substituição desse termo, sugerindo-se o termo Saprolítico, o qual, de fato denota essa camada alterada ente o solo e a rocha.

O 3º nível categórico trabalha com informações referentes a características químicas e outras que afetam o movimento de água e raízes no solo. Observa-se na Tabela 5.1, que as informações utilizadas para ambas as subordens são, em sua maioria, de cunho químico, observadas nos horizontes (Hz) A, que em um primeiro momento remetem à fertilidade do solo. No 4º nível categórico, características intermediárias, centrais ou extraordinárias são consideradas. No caso dos Neossolos Litólicos, para a maioria das classes são usados atributos referentes ao fraturamento do contato lítico. Para os Neossolos Regolíticos, também são consideradas características referentes à profundidade e situação do contato com materiais mais resistentes.

Ora, em Ordens como a dos Neossolos, onde a profundidade é, em muitos casos, rasa, talvez a maior limitação ao desenvolvimento de raízes e infiltração de água seja a presença de contato lítico muito próximo à superfície, ou a presença de saprolito pouco fraturado e com densidade limitante às raízes. Por isso, os Neossolos são considerados solos com baixo potencial relativo de uso, mesmo aqueles com alta fertilidade natural. Essas condições são atendidas somente, e ainda de forma precária, no 4º nível categórico. Considerando que o tipo e posição do contato solo-saprolito-rocha é mais limitante ao uso agrícola e não agrícola dos Neossolos que a fertilidade, entende-se que estas informações devem ser expressas em nível categórico mais alto, ou seja, no terceiro nível categórico.

Na Tabela 5.2, são apresentados os dados morfológicos relativos aos contatos dos cinco perfis estudados neste trabalho. Verificou-se que, conforme sugestão apresentada em Buol (1989), todos os perfis, com exceção do P5, apresentaram contato solo-saprolito no Hz A, visto que a fração grosseira nesses Hz é superior a 50 %. Nesse caso, o contato solo-saprolito não corresponde aos existentes no SiBCS, devido à configuração fragmentada do material grosseiro e a baixa resistência à escavação. Contudo, não se encontram, nos quatro níveis categóricos do SiBCS, classes que possam indicar tal fato.

Tabela 5.2. Dados morfológicos relativos aos contatos dos perfis analisados.

Perfil	Hz	Prof. (cm)	Fração grosseira (%)	Resistência escavação <sup>1</sup>	Fraturas <sup>2</sup>	Raízes <sup>3</sup>	Contato <sup>4</sup>
1	A	0-15	64	Moderada	<10cm	muitas	NC
	Cr/A	-30	83	Moderada	<10cm	muitas	NC
	Cr	-70	87	Alta	<10cm	poucas	NC
	RCr	-180	98	Alta a muito alta	<10cm	poucas	CLF
2	A	0-21	76	Moderada a alta	<10cm	muitas	NC
	Cr1	-90	87	Moderada a alta	<10cm	comuns	NC
	Cr2	-182	88	Moderada a alta	<10cm	poucas a raras	NC
3	A	0-30	59	Moderada a alta	<10cm	muitas	NC
	Cr/A	-110	78	Moderada a alta	<10cm	comuns	NC
	Cr	-170	77	Moderada a alta	<10cm	poucas a raras	NC
4	A	0-40	75	Alta	<10cm	muitas	NC
	RCr1	-85	85	Muito alta	<10cm	muitas	CLF
	RCr2	-280	96	Muito alta	<10cm	raras	CLF
5	A	0-20	23	Baixa	<10cm	muitas	NC
	Cr/A	-45	59	Baixa a moderada	<10cm	comuns	NC
	Cr1	-78	71	Moderada a alta	<10cm	poucas	NC
	Cr2	-205	96	Moderada a alta	<10cm	raras	NC

<sup>1</sup>. Teste da pá reta (Soil Survey Staff, 1993);

<sup>2</sup>. Espaçamento entre fraturas, considerando o ângulo de inclinação predominante;

<sup>3</sup>. Estimativa conforme sugestão de Santos et al. (2005);

<sup>4</sup>. Correspondência dos contatos conforme Embrapa (2006); NC: não corresponde, CLF: contato lítico fragmentário.



No SiBCS, o contato lítico refere-se a material não escavável com pá reta e resistente à penetração de raízes, salvo pelas eventuais fraturas. O contato lítico fragmentário sugere material consolidado também resistente à penetração de raízes, mas que se encontra altamente fraturado, permitindo o desenvolvimento das mesmas e livre circulação de água. Porém, ambas as definições não especificam o espaçamento entre fraturas. Nesse caso, o contato lítico, segundo definição encontrada nas quatro aproximações do SiBCS (Embrapa, 1980, 1981, 1988a e 1997), apresenta espaçamento entre fraturas igual ou superior a 10 cm. Para o contato lítico fragmentário, o fraturamento abundante sugerido no SiBCS leva a suposição de espaçamentos entre fraturas inferiores a 10 cm.

O contato litóide, inicialmente chamado de contato paralítico, contribuiu desde a 1ª até a 3ª aproximação (Embrapa, 1980, 1981 e 1988a), sendo excluído a partir da 4ª aproximação do SiBCS (Embrapa, 1997). O contato litóide diferenciava-se do contato lítico pela sua dispersão parcial, após agitação por 15 horas em água, podendo ser escavado manualmente com uma pá reta. O contato litóide também não apresenta permeabilidade de raízes, exceto entre as fraturas.

Observa-se que a maioria dos Hz apresenta tipos de contatos que não correspondem com a descrição do SiBCS. No P1, o Hz RCr apresenta resistência à escavação compatível com contato lítico e fraturamento abundante com espaçamento inferior a 10 cm, sugerindo contato lítico fragmentário. O mesmo ocorre no Hz RCr1 e RCr2 do P4. Os demais contatos que não apresentam correspondência com o SiBCS, encontram-se dentro de 70 cm (P1), 182 cm (P2), 170 cm (P3) e 205 cm (P4) da superfície, sugerindo que o SiBCS não foi eficiente em indicar o tipo de material existente nessas profundidades, o que é importante pelas seguintes razões: essas camadas apresentam elevada porcentagem de materiais grosseiros, sempre acima de 50 %, porém devido ao alto fraturamento, permitem a penetração de raízes e infiltração de água.

No P1, os Hz A, Cr/A e Cr apresentaram resistência à escavação e à penetração de raízes compatível com o contato litóide, divergindo deste pelo espaçamento entre fraturas inferior a 10 cm. Além disso, o contato litóide foi extinto do SiBCS a partir da sua 4ª aproximação. Sendo assim, o contato existente nesses Hz não encontra correspondência na última edição do SiBCS. O mesmo comportamento ocorre com o P2 e o P3. É importante ressaltar que os testes de dispersão em água (Tabela 4.5 – Capítulo 4) não foram eficientes na distinção dos

contatos líticos e litóides conforme sugestão do Soil Survey Staff (1975). Os resultados obtidos por Machado (1997) no mesmo teste também não justificaram o seu emprego como critério de definição entre os contatos supracitados.

Entretanto, no P5, especialmente nos Hz A e Cr/A, o material grosseiro, além de ser facilmente escavado com a pá reta e abundantemente fraturado, permite a penetração de raízes, também divergindo dos contatos existentes no SiBCS. A permeabilidade a raízes é uma característica importante, pois, além de afetar a fixação dos vegetais, afeta a disponibilidade de água e nutrientes e o intemperismo. Perfis com camadas saprolíticas severamente alteradas, podem ter suas restrições reduzidas para usos com agricultura, atividades florestais, aterros sanitários, cemitérios e fossas sépticas (Lietzke & Weber, 1981; Oliveira, 2001).

Contato, de acordo com Lietzke & Weber (1981), é definido como a superfície onde dois materiais se encontram. Considera-se que o contato seja essencialmente plano, com pequena espessura. A ocorrência de Hz Cr, indicando contato litóide, freqüentemente apresenta uma espessura considerável; por isso, o autor sugeriu o uso do termo zona litóide (tradução livre) para substituição do anterior. Lietzke & Weber (1981) sugeriram ainda a alteração do conceito de solo no “soil taxonomy”, visando a inclusão de camadas saprolíticas (Hz Cr), referente à “zona litóide” como parte do solo. Tais camadas podem não apresentar interesse para os profissionais das áreas agrárias, mas são importantes para outras áreas profissionais.

De acordo com Kellogg (1963), é natural que o conceito de solo seja modificado com o aumento do conhecimento nessa área, com o desenvolvimento de idéias e com o surgimento de novos problemas a serem resolvidos, visando a manutenção do solo e de todo o sistema, seja ele natural ou modificado pelo homem. Além disso, a inclusão do saprolito no conceito de solo estimularia o seu estudo e levantamento.

A proposta de inclusão do saprolito no SiBCS deve ser bem vista pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, em termos de carência de informações sobre esses materiais no Brasil. Porém, tal proposta esbarra na dificuldade de acesso a camadas mais profundas do regolito e a possível dificuldade inicial referente à metodologia de avaliação desses materiais. Entretanto, os dados obtidos para os Neossolos Litólicos e Regolíticos derivados de rochas vulcânicas no RS sugerem que esforços sejam dirigidos para essa meta, e que o saprolito, com toda sua variação de dureza e limitações oferecidas à circulação de água e raízes, seja

considerado na classificação de Neossolos Litólicos e Regolíticos. Para tanto, a Tabela 5.3. mostra propostas de atributos diagnósticos relacionados aos contatos, utilizados como critérios na classificação dos Neossolos.

De acordo com Cline (1949), o propósito da classificação é a organização do conhecimento, visando a lembrança de propriedades do objeto e ao entendimento fácil de suas relações para um objetivo específico. Sendo assim, considerando-se a equivalência dos contatos lítóide e saprolítico, sugere-se a utilização do termo saprolítico e a sua manutenção no SiBCS. Além disso, os contatos líticos separam Neossolos Litólicos, enquanto os contatos saprolíticos separam os sugeridos Neossolos Saprolíticos. Essa relação entre os termos facilita o entendimento e a lembrança dos mesmos.

Tabela 5.3. Propostas de atributos diagnósticos relacionados aos contatos, para as classes dos Neossolos Litólicos e Regolíticos do SiBCS.

<b>Contato<sup>1</sup></b>	<b>Resistência a escavação<sup>2</sup></b>	<b>Penetração de raízes</b>	<b>Fraturas</b>	<b>Profundidade (cm)</b>
Lítico <sup>3</sup>	resistente	nas fraturas	poucas, >10cm	dentro de 50
Lítico fragmentário <sup>3</sup>	resistente	nas fraturas	muitas, <10cm	dentro de 50
Saprolítico	fraca a moderada	nas fraturas	poucas, >10cm	dentro de 200
Saprolítico fragmentário	fraca a moderada	nas fraturas	muitas, <10cm	dentro de 200
Sáprico	fraca	nas fraturas e no saprolito	poucas ou muitas, </>10cm	dentro de 200

<sup>1</sup>. Lítico: Contato entre materiais como solo ou saprolito com rocha consolidada, com dureza que inviabiliza a escavação manual com a pá reta; Saprolítico: contato entre solo (Hz A, B, C) e saprolito (Hz CR, CrR, Cr), onde a dureza do material permite a escavação manual com pá reta;

<sup>2</sup>. Classes de resistência à escavação do teste da pá reta (Soil Survey Staff, 1993);

<sup>3</sup>. Existente no SiBCS (Embrapa, 2006).

Os contatos saprolítico fragmentário e sáprico são importantes porque distinguem materiais quanto à resistência imposta pelo saprolito à penetração de raízes, além de separar materiais com densidade de fraturas distintas, as quais afetam a penetração de raízes quando a dureza do saprolito for restritiva. Em perfis mais desenvolvidos, onde o saprolito encontra-se mais alterado, como o P5, os atributos referentes aos contatos saprolíticos propostos indicam e fornecem informações valiosas para o cultivo de vegetais, potencialidades de corte para construções e para usos com empreendimentos sanitários.

As classes de intemperismo, propostas no Capítulo 4 (Quadro 4.1), foram úteis na determinação dos contatos e suas posições nos perfis. Sugere-se a

utilização dessas classes como subsídio para identificação e classificação dos contatos em Neossolos derivados de rochas vulcânicas.

Em relação à definição e notação de horizontes e camadas, segue-se a sugestão da Embrapa (1997a), que denomina saprolito, aquele material escavável com a pá reta com dificuldade até moderada, como Hz Cr, considerando-se as classes de resistência à escavação contidas no Soil Survey Staff (1993). Embrapa (1988b) e Santos et al. (2005) sugerem a mesma notação, definindo Hz “C” como material de rocha não consolidado, que permite a escavação com pá reta, e característica subordinada “r” como material com variada intensidade de alteração que mantém as características morfológicas macroscópicas da rocha de origem e permite o corte com a pá reta. A proposta de notação dos Hz e camadas saprolíticas são apresentadas na Tabela 5.4.

A notação C seria designada para Hz onde os processos pedogenéticos são mais intensos e o material apresenta predomínio de estrutura do solo em relação à estrutura da rocha de origem. Da mesma forma, a notação CrR seria destinada para camadas onde o saprolito não pode ser cortado com a pá reta, mas sim, com a picareta, com dificuldade moderada a forte. A notação RCr é utilizada para camadas onde o material é muito pouco alterado, não podendo ser escavado com a pá reta e a dificuldade de escavação com a picareta inviabiliza a sua execução.

Tabela 5.4. Propostas de notação de horizontes e camadas relacionada com os contatos (zona de contato) e as classes de intemperismo associadas.

<b>Contato</b>	<b>Notação da zona de contato</b>	<b>Classes de intemperismo<sup>2</sup></b>
Lítico	R, RCr	I1, I2, I3
Lítico fragmentário	R, RCr	I1, I2, I3
Saprolítico	CrR, Cr	I4, I5
Saprolítico fragmentário	Cr	I4, I5
Sáprico	Cr, C	I6

<sup>1</sup>. Classes de resistência à escavação do Soil Survey Staff (1993);

<sup>2</sup>. Classes de intemperismo propostas no Capítulo 4, Quadro 4.1.

O problema dessas definições é que elas são baseadas nos testes de escavação, os quais apresentam dificuldades de interpretação no campo (Machado, 1997; Oliveira, 2001). Nesse sentido, ressalta-se o uso das classes de intemperismo propostas para auxiliar nessa interpretação, minimizando tais dificuldades. Além

disso, sugere-se a padronização do teste de escavação com a utilização do penetrômetro de impacto, conforme as tentativas de Machado (1997).

Verificou-se que para a subordem Litólico, os contatos lítico e lítico fragmentário são suficientes para a separação dos materiais mais resistentes à escavação. Porém, uma definição mais clara desses contatos é necessária para sua melhor compreensão por parte dos usuários, por exemplo, no que se refere ao espaçamento entre fraturas no contato lítico fragmentário.

A proposta de alteração de classe no 2º nível categórico e inclusão de classes no 3º e 4º nível categórico dos Neossolos Regolíticos é apresentada na Tabela 5.5. Tais proposições foram baseadas nas características dos perfis analisados e nos contatos encontrados e sugeridos. O objetivo é permitir a separação, em classes diferentes, de perfis com materiais saprolíticos distintos em termos de dureza e fraturamento dos materiais.

Tabela 5.5. Proposta de alteração de classe no 2º nível categórico e inclusão de classes no 3º nível categórico dos Neossolos Regolíticos.

<b>2º nível (subordem)</b>	<b>3º nível (subgrupo)</b>	<b>Definição das classes propostas ao 4º nível categórico</b>
Saprolítico	saproléptico	solo com contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície do solo, com contato sáprico dentro de 100 cm da superfície.
	fragléptico	solo com contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície do solo, com contato saprolítico fragmentário acima deste.
	léptico*	solo com contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície do solo, com contato saprolítico acima deste.
	saprosubléptico	solo com contato lítico entre 100 e 200 cm da superfície do solo, com contato sáprico dentro de 100 cm da superfície.
	fragsubléptico	solo com contato lítico entre 100 e 200 cm da superfície do solo, com contato saprolítico fragmentário acima deste.
	subléptico	solo com contato lítico entre 100 e 200 cm da superfície do solo, com contato saprolítico acima deste.

\* Classe já existente no SiBCS (Embrapa, 2006), mas modificada nesta proposta.

Para tanto, as classes encontradas no 3º nível categórico, do sistema atual (Embrapa, 2006), foram alocadas no 4º nível, para que as informações sobre dureza, fraturamento e posição do contato no perfil fossem dispostas no 3º nível categórico. No 4º nível categórico, a inclusão da classe distro-húmico foi sugerida para especificar a natureza ácida e dessaturada por bases dos solos (saturação por

bases inferior a 50%) que apresentam Hz diagnóstico húmico. Essa sugestão é espelhada na classe já utilizada para diversas Ordens do SiBCS, a distro-úmbrica (Embrapa, 2006).

A classificação dos cinco perfis, conforme o SiBCS e conforme as sugestões para os Neossolos derivados de rochas vulcânicas do RS, é encontrada na Tabela 5.6. Não houve no 4º nível categórico diferenciação em termos de dureza do material entre o P5 e os demais perfis. Isso ocorreu porque as classes do 4º nível separam os materiais em função da configuração de fraturas, no caso dos Litólicos, e da posição do material mais alterado no perfil, no caso dos Regolíticos. A utilização dos contatos propostos (saprolítico, saprolítico fragmentário e sáprico) e a sua inclusão no 3º nível categórico da subordem Regolítico permite uma melhor distinção entre os perfis, pois informações mais detalhadas são consideradas.

Tabela 5.6. Classificação dos perfis analisados conforme o SiBCS e conforme a proposta de novas classes para os Neossolos Regolíticos.

P*	SiBCS	Proposta
1	Neossolo Regolítico eutrófico léptico	Neossolo Saprolítico fragléptico eutrófico
2	Neossolo Regolítico eutrófico típico	Neossolo Saprolítico fragsubléptico eutrófico
3	Neossolo Regolítico eutrófico típico	Neossolo Saprolítico fragsubléptico eutrófico
4	Neossolo Litólico distro-úmbrico típico	Neossolo Litólico distro-úmbrico típico
5	Neossolo Regolítico húmico típico	Neossolo Saprolítico saposubléptico distro-húmico

\* Perfil

A aplicação da proposta das classes para o 4º nível categórico, na Tabela 5.5, nos perfis estudados, permitiu a distinção entre os materiais quanto ao fraturamento, dureza e posição no perfil. Essas informações associadas permitem um maior entendimento do comportamento do regolito, contribuindo com diversas áreas profissionais. Os termos utilizados são apenas sugestões, podendo ser adequados à linha etimológica utilizada pelo SiBCS.

### 5.3. Considerações finais

A definição de saprolito do SiBCS (Embrapa, 1997, 1999), excluída na 2ª edição (Embrapa, 2006), deve voltar para o SiBCS, orientando a sua compreensão por parte dos usuários. Da mesma forma, as classes de intemperismo de rochas vulcânicas do RS, propostas neste trabalho, juntamente com as classes de

resistência à escavação do Soil Survey Staff (1993), devem ser reproduzidas nos apêndices do SiBCS, também para auxiliar os usuários a interpretar os contatos entre solo-saprolito-rocha.

Os contatos propostos, saprolítico, saprolítico fragmentário e sáprico, permitiram uma melhor distinção entre os perfis de Neossolos derivados de rochas vulcânicas no RS.

As classes propostas para o 2º, 3º e 4º nível categórico dos atuais Neossolos Regolíticos tornam o sistema mais eficiente quanto à diferenciação de materiais que apresentam comportamento distinto, contribuindo para que o SiBCS disponha de informações de interesse de diversas áreas profissionais que trabalham com o recurso solo.

## 6. Bibliografia citada

ALMEIDA, J. A.; KÄMPF, N.; ALMEIDA, R. Caracterização mineralógica de Cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do Alto Rio Itajaí e no Planalto de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 181-190, 1997.

AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 191-198, 1996.

AZEVEDO, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Uso do termo saprolito na Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Boletim Informativo SBCS**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 18-23. 2006.

AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. de 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: SBCS, 2007. v. 5, p. 1-48.

BANFIELD, J. F.; EGGLETON, R. A. A transmission electron microscope study of biotite weathering. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 36, p. 47-60, 1988.

BANFIELD, J. F.; EGGLETON, R. A. Analytical transmission electron microscope studies of plagioclase, muscovite, and K-feldspar weathering. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 38, n. 1, p. 77-89, 1990.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis - Part 1: Physical and mineralogical methods**. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375.

BORGGGAARD, O. K. et al. Influence of humic substances on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides. **Geoderma**, Amsterdam, v. 127, p. 270-279, 2005.

BORNYASZ, M. A.; GRAHAM, R. C.; ALLEN, M. F. Ectomycorrhizae in a soil-weathered granitic bedrock regolith: Linking matrix resources to plants. **Geoderma**, Amsterdam, v. 126, p. 141-160, 2005.



BRASIL, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife: DNPEA-MA, 1973. 431p. (Boletim Técnico N° 30)

BREEMEN, N. V.; BUURMAN, P. **Soil formation**. 2. ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404 p.

BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. **Cristal structures of clay minerals and their X ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.

BÜHMANN, C.; GRUBB, P.L.C. A kaolin-smectite interstratification sequence from a red and black complex. **Clays and clay minerals**, Clarkson, v. 26, p. 343-358, 1991.

BUOL, S. W. **Saprolite taxonomy network**. Raleigh: O autor, 1989. 10 p. (Circular Letter n. 2)

\_\_\_\_\_. **Saprolite taxonomy network**. Raleigh: O autor, 1990. 11 p. (Circular Letter n. 4)

\_\_\_\_\_. Saprolite - regolith taxonomy: an approximation. In: CREMEENS, D. L. et al. (ed.). **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, p. 119-132, 1994. (Special Publication, n.34).

BUOL, S. W. et al. **Soil genesis and classification**. 4<sup>th</sup> ed., Ames: Iowa State University Press, 1997. 527 p.

BUTT, C. R. M.; LINTERN, M. J.; ANAND, R. R. Evolution of regoliths and landscapes in deeply weathered terrain - implications for geochemical exploration. **Ore Geology Reviews**, v. 16, p. 167-183, 2000.

CALVERT, C. S.; BUOL, S. W.; WEED, S. B. Mineralogical characteristics and transformation of a vertical rock-saprolite-soil sequence in the North Caroline Piedmont: I. Profile morphology, chemical composition and mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 1096-1103, 1980a.

\_\_\_\_\_. Mineralogical characteristics and transformation of a vertical rock-saprolite-soil sequence in the North Caroline Piedmont: II. Feldspar alteration products-their

transformations through the profile. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 1104-1112, 1980b.

CARVALHO, G. B. C. T. **Método rápido de determinação das relações ki e kr em solos**. Rio de Janeiro: IQA, 1956. 20 p. (Boletim do Instituto de Química Agrícola n. 48).

CLARKE, J. D. A. The limits of a regolith: a planetary scale perspective. In: ROACH, I. C. (ed.). **Advances in regolith: proceedings of the CRC LEME Regional Regolith Symposia**. Canberra: CRC LEME, 2003. p. 74-77.

CLAYTON, J. L.; MEGAHAN, W. F.; HAMPTON, D. **Soil and bedrock properties: weathering and alteration products and processes in the Idaho Batholith**. Odgen: USDA, 1979. (Forest Service Research Paper Int. 237)

CLEMENTE, C. A. **Alterações e solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral nos Planaltos de Guarapuava e Palmas, região centro-sul do Estado do Paraná**. 1988. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 1988.

CLEMENTE, C. A. **Intemperismo de riólitos e riodacitos da Formação Serra Geral (Jurássico-Cretáceo), das regiões sul e sudeste do Brasil**. 2001. 216 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2001.

CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, A. C. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, Southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 6, p. 601-607, 2007.

CLINE, M. G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, v. 67, p. 81-91, 1949.

\_\_\_\_\_. Logic of the new system of soil classification. **Soil Science**, v. 96, p. 17-22. 1963.

COGO, N. P. **Morfologia e gênese de solos escuros formados sobre basalto na Campanha-oeste do Rio Grande do Sul**. 1972, 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1972.

CORRÊA, J. **Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina**. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2003.

CORTI, G.; SANJURIO, M. J. F.; UGOLINI, F. C. Randomly interstratified kaolinite-smectite from Galicia (NW Spain): a new procedure for determination. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 46, n. 6, p. 705-711, 1998.

COSTA, A. C. S. da et al. Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 47, n. 4, p. 466-473, 1999.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. 90 p.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. Distribuição dos solos no ambiente. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. (Ed.) **I Fórum Solos & Ambiente**. Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 23-39.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of a climosequence in southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 644-654, 2006.

DICK, D. P. et al. Characterization of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 319-333, 2005.

DRIESE, S. G. et al. Lithologic and pedogenic influences on porosity distribution and groundwater flow in fractured sedimentary saprolite: a new application of environmental sedimentology. **Journal of Sedimentary Research**, v. 71, p. 843-857, 2001.

EGGLETON, R. A. (ed.). **The regolith glossary: surficial geology, soils and landscapes**. Canberra: CRC LEME, 2001. 152 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos: 1ª aproximação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980. 73 p.

\_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos: 2ª aproximação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1981. 107p.

\_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos: 3ª aproximação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1988a. 105 p.

\_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo**. 2. ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1988b. 54 p.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos: 4ª aproximação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997a. 169 p.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997b. 221 p.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1ª ed., Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 395 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Reference Base for Soil Resources 2006: a framework for international classification, correlation and communication**. Rome: FAO, 2006. 145p. (World Soil Resources Reports 103)

GEE, R. D.; ANAND, R. R. Advances in regolith research: a CRC LEME perspective. In: PACRIM 2004 CONFERENCE, 2004, Adelaide, **Proceedings...**, Adelaide: AIMM, 2004. p. 29-44.

GRAHAM, R. C.; TICE, K. R.; GUERTAL, W. R. The pedologic nature of weathered rock. In: CREMEENS, D. L. et al. (eds.). **Whole redolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, p. 21-40, 1994. (Special Publication, n.34)

HOLZ, M. **Do mar ao deserto: a evolução do Rio Grande do Sul no tempo geológico**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 142 p.

HUGHES, R. E.; MOORE, D. M.; GLASS, H. D. Qualitative and quantitative analysis of clay minerals in soils. In: AMONETTE, J. N.; ZELAZNY, L. W. **Quantitative methods in soil mineralogy**. Madison: SSSA, 1994. p. 330-359.

IBGE. **Levantamento de recursos naturais do projeto Radam-Brasil**. Folha SH.22. Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e Si. 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro : IBGE, 1986. 796 p.

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

ISRM. International Society of Rock Mechanics. Methods for the quantitative description of rock masses and discontinuities. **Int. J. Rock Mech. Miner. Sci. Geomech. Abstr.** v. 15, p. 319-368, 1978.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

JIANG, W-T.; PEACOR, D. R. Transmission electron microscopic study of the kaolinitization of muscovite. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 39, n. 1, p. 1-13, 1991.

KÄMPF, N.; KLAMT, E. Mineralogia e Gênese de Latossolos (Oxisols) e Solos Podzólicos da Região Nordeste do Planalto Sul-Riograndense. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 2, p.68-73, 1978.

KÄMPF, N.; DICK, D. P. Óxidos de ferro em cambissolos brunos do Rio Grande do Sul e sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 183-188, 1984.

KÄMPF, N. Halositas em saprolitos de rochas vulcânicas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 179-184, 1995.

KÄMPF, N.; AZEVEDO, A. C.; COSTA JR., M. I. Estrutura básica de argilominerais 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolos Bruno do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p.185-190, 1995a.

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; MELLO, P. F. Alteração mineralógica em seqüência Vertissolo-Litossolo na Região da Campanha no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 349-357, 1995b.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p. 27-39, 1983.

\_\_\_\_\_. Goethitas na interface solo-rocha em amostras do Rio Grande do Sul e Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p. 359-366, 1995.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2003. v. 3, p.1-54.

KARATHANASIS, A. D. Compositional and solubility relationships between aluminum-hydroxylinterlayered soil-smectites and vermiculites. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1500-1508, 1988.

KAWANO, M.; TOMITA, K. Amorphous aluminum hydroxide formed at the earliest weathering stages of K-feldspar. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 44, n. 5, p. 672-676, 1996.

KELLOGG, C. E. Why a new system of soil classification? **Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 1 - 5. 1963.

KEHRIG, A. G. **As relações ki e kr no solo**. Rio de Janeiro: IQA, 1949. 67 p. (Boletim do Instituto de Química Agrícola n. 13).

KER, J. C.; RESENDE, M. Caracterização química e mineralógica de solos brunos subtropicais do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p. 215-225, 1990.

KRUMM, S. **WinFit!. Beta release 1.2.1**, Erlangen: Institut für Geologie, 1997.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. **Geologia geral**. 7. ed. São Paulo: Nacional, 1978, 397 p.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.

LIETZKE, D. A.; WEBER, R. S. The importance of Cr horizons in soil classification and interpretations. **Soil Science Society of America Journal**, 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. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP, Campinas, 1997.

MARSHAK, S. **Basic methods of structural geology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1998. 446 p.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 13-22. 1966.

McKEAGUE, J. A.; BRYDON, J. E.; MILES, N. M. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v. 35, p. 33-38, 1971.

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

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 7, p. 271-286, 1977.

\_\_\_\_\_. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 8, p. 11-22, 1978.

MELFI, A. J.; PEDRO, G.; VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p. 47-54, 1979.

MELO, V. F. et al. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p. 159-164, 1995.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L.; MACIEL FILHO, C. L. **Nova seqüência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 1968. 19 p. (Publicação especial n. 1)

MENEGOTTO, E.; GASPARETTO, N.V.L. Intemperização de rochas vulcânicas básica e ácidas na região de Santa Maria-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., 1987, **Anais...** 1987. v.2, p. 69-83.

O'BRIEN, E. L.; BUOL, S. W. Physical transformations in a vertical soil-saprolite sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 354-357, 1984.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 414 p.

OLIVEIRA, J. B. **Classificação de solos e seu emprego agrícola e não agrícola**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, Ribeirão Preto, SP, Anais... Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 17p. CD-ROM.

PADMANABHAN, E.; MERMUT, A. R. Submicroscopic structure of Fe-coatings on quartz grains in tropical environments. **Clays and clay minerals**, Clarkson, v. 44, n. 6, p. 801-810, 1996.

PEDRON, F. de A. et al. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 02, p. 468-477, 2006.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. 2002. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

POPP, J. H. **Geologia geral**. São Paulo: LTC, 2002. 376 p.

POTTER, R. O.; KÄMPF, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em Cambissolos e Latossolos sob regime climático térmico údico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p. 153-159, 1981.



RAGAN, D. M. **Structural geology: an introduction to geometrical techniques**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 207 p.

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

RAMALHO FILHO, A; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 36 p. (Embrapa Solos. Documentos; 1).

RAMOS, A. C. H.; McBRIDE, M. B. Goethite dispersibility in solutions of variable ionic strength and soluble organic matter content. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 44, n. 2, p. 286-296, 1996.

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

REYNOLDS, R. C. Interstratified clay minerals. In: BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. (Eds.). **Cristal structures of clay minerals and their X ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. p. 249-303.

RIGHI, D.; TERRIBILE, F.; PETIT, S. Pedogenic formation of kaolin-smectite mixed layers in soil toposequence developed from basaltic parent material in Sardinia (Italy). **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 47, n. 4, p. 505-514, 1999.

ROISENBERG, A. & VIERO, A.P. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. UFRGS-CIGO, 2000. p. 355-374.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100 p.

SARTORI, P. L.; MACIEL FILHO, C.; MENEGOTTO, E. Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, p. 141-159, 1975.

SARTORI, P. L.; GOMES, C. B. Composição química-mineralógica das últimas manifestações vulcânicas na região de Santa Maria, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, n. 1, p. 125-133, 1980.

SBCS – Comissão de Química e Fertilidade. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed., Porto Alegre: SBCS, 2004. 400 p.

SCHAFER, W. M.; NIELSEN, G. A.; NETTLETON, W. D. Morphology of a paralithic contact in a soil over soft sandstone. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 383-386. 1979.

SCHULTZ, L.G. et al. Mixed-layer kaolinite-montmorillonite from the Yucatán peninsula, México. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 9, p. 137-150, 1971.

SCHOENEBERGER, P.J. et al. (eds.). **Field book for describing and sampling soils**. Version 2.0. Lincoln: Natural Resources Conservation Service - National Soil Survey Center, 2002. 228 p.

SCHOENEBERGER, P. J.; WYSOCKI, D. A. Hydrology of soils and deep regolith: a nexus between soil geography, ecosystems and land management. **Geoderma**, Amsterdam, v. 126, p. 117-128, 2005.

SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxide. **Nature**, v. 212, p. 645-646, 1966.

SINGER, A.; HUANG, P. M. Effects of humic acid on the crystallization of aluminum hydroxides. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 38, n. 1, p. 47-52, 1990.

SINGH, B.; GILKES, R. J. Weathering of a chromian muscovite to kaolinite. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 39, n. 6, p. 571-579, 1991.

SMITH, K. L.; MILNES, A. R.; EGGLETON, R. A. Weathering of basalt: formation of iddingsite. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 35, n. 6, p. 418-428, 1987.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1975. (Agriculture Handbook n. 436)

\_\_\_\_\_. **Soil survey manual**. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1993. (Department of Agriculture Handbook n.18)

\_\_\_\_\_. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2. ed. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1999. 871 p. (Agriculture Handbook n. 436)

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 215 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed., New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

STOLT, M. H.; BAKER, J. C. Strategies for studying saprolite and saprolite genesis. In: CREMEENS, D. L. et al. (eds.). **Whole redolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, p. 1-20, 1994. (Special Publication, n.34)

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS – UFRGS, 2002. 126 p.

TANNER, G. B.; JACKSON, M. L. Normographs of sedimentation times for soil particles under gravity or centrifugal acceleration. **Soil Science Society of America Proceedings**, Morgantown, v. 12, p. 60-65, 1947.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 568 p.

THEISEN, A. A.; HARWARD, M. E. A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by x-ray diffraction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 26, p. 90-91, 1962.

TOMBÁ CZ, E. et al. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**, v. 35, p. 257-267, 2004.

TRUFFI, S. A.; CLEMENTE, C. A. Alteração de plagioclásios dos riodacitos da Formação Serra Geral (JKsg) da região de Piraju – SP. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 383-388, 2002.

VELBEL, M. A. Weathering of hornblende to ferruginous products by a dissolution-reprecipitation mechanism: petrography and stoichiometry. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 37, n. 6, p. 515-524, 1989.

VEPRASKAS, M. J. Predicting contaminant transport along quartz veins above the water table in a mica-schist saprolite. **Geoderma**, Amsterdam, v. 126, p. 47–57, 2005.

VIDAL-TORRADO, P. O SiBCS sobre a ótica dos usuários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado, **Anais...** Gramado: SBCS/UFRGS, 2007, CD-ROM.

VIOLANTE, A.; VIOLANTE, P. M. Influence of pH, concentration, and chelating power of organic anions on the synthesis of aluminum hydroxides and oxyhydroxides. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 28, n. 6, p. 425-434, 1980.

VIOLANTE, A.; HUANG, P. M. Influence of inorganic and organic ligands on the formation of aluminum hydroxides and oxyhydroxides. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 33, n. 3, p. 181-192, 1985.

WADA, K.; KAKUTO, Y. Intergradient vermiculite-kaolin mineral in a korean Ultisol. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 31, n. 3, p. 183-190, 1983.

WARD, D. B.; BRADY, P. V. Effect of Al and organic acids on the surface chemistry of kaolinite. **Clays and clay minerals**, Clarkson, v. 46, n. 4, p. 453-465, 1998.

WHITTING, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis - Part 1: Physical and mineralogical methods**. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, 1986. p. 331-362

WILSON, M.J.; CRADWICK, P. D. Occurrence of interstratified kaolinite-montmorillonite in some Scottish soils. **Clay Minerals**. v. 9, p. 435-437, 1972.

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.

## **APÊNDICES**

## Apêndice 1

### Descrição morfológica dos perfis

#### Perfil 1

##### Descrição geral

PERFIL: nº 01 – Perfil Itaquí.

DATA: 13/01/2007.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Regolítico eutrófico léptico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Pedregal.

LOCALIZAÇÃO: BR 472, entre São Borja e Itaquí, a 64 km de São Borja (S 29° 9,093' e W 56° 22,161').

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco escavado em trecho médio da coxilha, com declividade de 6 %, sob campo nativo.

ALTITUDE: 82 m.

LITOLOGIA: Rochas ígneas extrusivas básicas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.

CRONOLOGIA: Cretáceo inferior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Basalto.

PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE: Moderadamente rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Savana com espinilho.

USO ATUAL: Pastagem (campo nativo).

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron e Sidinei Leandro Stürmer.

##### Descrição Morfológica

- A 0-15 cm; 5YR 3/3 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (7,5YR 5/6, seca moída); franca; muito poroso; blocos angulares e subangulares, muito pequena a grande; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Cr/A 15-30 cm; 5YR 3/3 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (5YR 5/7, seca moída); franca; muito poroso; blocos angulares e subangulares, muito pequena a grande; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Cr 30-70 cm; 5YR 3/3 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (5YR 6/3, seca moída); franco argilosa; muito poroso; granular, muito pequena a grande; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.

RCr 70-180 cm; 5YR 3/3 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (5YR 6/3, seca moída); franco argilosa; transição clara e plana.

R 180-550 cm+.

RAÍZES: Muitas, fasciculadas e finas no Hz A e Cr/A; poucas, fasciculadas e finas no Cr e RCr e ausentes no R.

#### OBSERVAÇÕES:

- Presença de rochas alteradas arredondadas de até 10 cm na massa do Hz A;
- O fraturamento é tão intenso que dificulta a visualização do ângulo de inclinação das fraturas no Hz Cr/A;
- Fraturamento inclinado em aproximadamente 23°, com ângulo de mergulho em direção ao sul, para a parte baixa da coxilha (no Hz Cr);
- Atividade Biológica: presença de formigas, cupins, escorpiões nos Hz A, Cr/A, Cr e RCr;
- Presença de massa de solo entre as fraturas de todos os horizontes, diminuindo com a profundidade.
- Presença de canais (poros) biológicos no Hz A de até 2 cm de diâmetro.

## Perfil 2

### Descrição geral

PERFIL: nº 02 – Perfil Unistalda.

DATA: 13/01/2007.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Regolítico eutrófico típico

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Pedregal.

LOCALIZAÇÃO: 10 km de Unistalda em direção a Santiago, em estrada vicinal (S 29° 4,106' e W 55° 5,828').

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco escavado em trecho médio da coxilha, com declividade de 18 %, sob campo nativo.

ALTITUDE: 150 m.

LITOLOGIA: Rochas ígneas extrusivas básicas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.

CRONOLOGIA: Cretáceo inferior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Basalto.

PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE: Moderadamente rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Laminar e em pequenos sulcos.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Savana com espinilho e floresta.

USO ATUAL: Pastagem (campo nativo).

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron e Sidinei Leandro Stürmer.



## Descrição Morfológica

- A 0-21 cm; 5YR 3/4 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (7,5YR 6/7, seca moída); franca; granular, muito pequena a média, blocos subangulares, pequena a média; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Cr<sub>1</sub> 21-90 cm; 5YR 3/4 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (7,5YR 6/7, seca moída); franco argilosa; granular, muito pequena a média, blocos subangulares, pequena a média; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Cr<sub>2</sub> 90-182 cm; 5YR 3/4 (úmida), 5YR 3/4 (seca); saprolito (7,5YR 6/7, seca moída); franco argilosa; transição clara e ondulada.
- R 182-310 cm+.

RAÍZES: Muitas a abundantes, fasciculadas, gramíneas finas, no Hz A; um pouco menos que no Hz A, fasciculadas, gramíneas finas, no Hz Cr<sub>1</sub>; poucas a raras, fasciculadas, gramíneas finas no Cr<sub>2</sub> e inexistente no R.

### OBSERVAÇÕES:

- No Hz A ocorre massa de solo e rochas alteradas e arredondadas. No Hz Cr<sub>1</sub> aparecem rochas arredondadas e ovaladas de 1 até 10 cm, alteradas, com solo nas fraturas. No Cr<sub>2</sub> observaram-se rochas fraturadas, alteradas, de forma irregular e tamanho maior que o Cr<sub>1</sub>;
- Atividade Biológica: presença de formigas, cupins e canais biológicos de 2 a 10 mm nos Hz A, Cr<sub>1</sub> e Cr<sub>2</sub> (esse último em menor quantidade);
- Na superfície ocorrem grandes áreas com afloramento rochoso;
- Nas áreas de maior declividade no entorno, ocorre floresta nativa com Pau Ferro, bastante vistosa;
- Perfil coletado em corte efetuado em campo de pecuária com vegetação nativa. Apresenta variabilidade na seqüência de horizontes/camadas (parece que o material de origem possui diferença na resistência ao intemperismo).

## Perfil 3

### Descrição geral

PERFIL: nº 03 – Perfil Ibarama.

DATA: 01/02/2007.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Regolítico eutrófico

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Charrua.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia que liga Ibarama a Sobradinho, a 4 km de Ibarama (S 29° 25,327' e W 53° 6,474').

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco escavado em trecho médio da coxilha, com declividade de 27 %, sob floresta nativa.

ALTITUDE: 380 m.

LITOLOGIA: Rochas ígneas extrusivas básicas.  
 FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.  
 CRONOLOGIA: Cretáceo inferior.  
 MATERIAL ORIGINÁRIO: Basalto.  
 PEDREGOSIDADE: Muito pedregosa.  
 ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.  
 RELEVO LOCAL: Ondulado a forte ondulado.  
 RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado.  
 EROSÃO: Não aparente.  
 DRENAGEM: Bem drenado.  
 VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual.  
 USO ATUAL: Floresta natural.  
 CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.  
 DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron e Sidinei Leandro Stürmer.

### Descrição Morfológica

- A 0-30 cm; 7,5YR 3/3 (úmida), 7,5YR 5/2 (seca moída); franco-siltosa; blocos angulares e subangulares, pequena a muito pequena, granular, pequena a muito pequena; solta a ligeiramente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara a gradual e plana.
- Cr/A 30-110 cm; solo: 7,5YR 4/2 (úmida), 7,5YR 5/2 (seca moída), saprolito: 10YR 7/3 (úmido), 10YR 7/3,5 (seca moída); franco-siltosa; blocos angulares e subangulares, pequena a muito pequena, granular, pequena a muito pequena; ligeiramente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara a gradual e plana.
- Cr 110-170 cm; solo: 7,5YR 6/8 (úmida), 7,5YR 6/3 (seca moída), saprolito: 7,5YR 3/4 (úmido), 7,5YR 4/6 (seca moída); franco-siltosa; blocos angulares e subangulares, pequena a muito pequena, granular, pequena a muito pequena; dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana a irregular.
- R<sub>1</sub> 170-230 cm; transição gradual e irregular.
- R<sub>2</sub> 230-550 cm+.

RAÍZES: Muitas, finas e grossas, fasciculadas e pivotantes, de herbáceas e arbóreas nativas no Hz A; um pouco menos que no Hz A, finas e grossas, fasciculadas e pivotantes, de herbáceas e árvores nativas no Cr/A; comuns a raras, finas (menor que 0,5 cm) no Cr e raras entre as fraturas das rochas no R<sub>1</sub>.

### OBSERVAÇÕES:

- Hz A com saprolito arredondado (aparentemente coluvial), Hz Cr/A com rochas alteradas de 1 a 30 cm, com terra fina entre o material grosseiro (matacões).
- Hz Cr com rochas mais alteradas que no Hz Cr/A, facilmente cortadas com a pá de corte.
- O Hz R<sub>1</sub> é rocha menos alterada, porém já em início de saprolitização, a camada R<sub>2</sub> é mais sã. Presença de formigas nos Hz A, Cr/A e Cr.

## Perfil 4

### Descrição geral

PERFIL: nº 04 – Perfil Caxias do Sul.

DATA: 27/01/2007.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Litólico distro-úmbrico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Caxias.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia RS 453 próxima ao shopping Iguatemi em Caxias do Sul (S 29° 10,406' e W 51° 13,675').

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco escavado em trecho médio superior da coxilha, com declividade de 12 %, sob floresta nativa.

ALTITUDE: 770 m.

LITOLOGIA: Rochas ígneas extrusivas ácidas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.

CRONOLOGIA: Cretáceo inferior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Riólito-riodacito.

PEDREGOSIDADE: Moderadamente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta ombrófila mista.

USO ATUAL: Floresta natural.

CLIMA: Cfb, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron e Sidinei Leandro Stürmer.

### Descrição Morfológica

A 0-30/40 cm; solo: 10YR 2/2 (úmida), 10YR 3/2,5 (seca moída), saprolito: 10YR 7/3,5 (seca moída); franco argilosa; granular, média a pequena; saprolito: extremamente firme, solo: friável; ligeiramente pegajosa e não plástica; transição gradual e irregular.

RCr<sub>1</sub> 30/40-85 cm; solo: 10YR 2/2 (úmida), 10YR 3/1,5 (seca moída), saprolito: 10YR 7/3,5 (seca moída); franco argilosa; sem estrutura, granular, média a pequena, blocos angulares, média a pequena (em menor quantidade); saprolito: extremamente firme, solo: friável; ligeiramente pegajosa e não plástica; transição gradual e irregular.

RCr<sub>2</sub> 85-280 cm; saprolito: 10YR 7/3 (úmida), 10YR 7,5/3 (seca moída); saprolito extremamente firme.

R 280-500+ cm.

RAÍZES: Muitas, finas e fasciculadas, de espécies herbáceas e grossas de espécies florestais no Hz A e no RCr<sub>1</sub>; e raras, finas e fasciculadas, de espécies herbáceas e grossas de espécies florestais no Hz RCr<sub>2</sub>.

**OBSERVAÇÕES:**

- O Hz A é constituído por material de origem alterado e terra fina (solo);
- No Hz RC<sub>1</sub> predomina saprolito e um pouco de terra fina entre as fraturas;
- No Hz RC<sub>2</sub> ocorre somente saprolito fraturado, sem a presença significativa de terra fina;
- Barranco de solo exposto parece um saprolito podre semelhante a um arenito de cor creme clara. Contudo, após limpeza percebe-se que o saprolito é fraturado semelhante ao P2.
- Perfil coletado na borda de floresta nativa;
- O perfil apresenta aproximadamente exposição de 3 m. A 10 m do local de descrição ocorre um terreno cortado com exposição de aproximadamente 6 m de perfil, sendo grande parte rocha inalterada.

**Perfil 5****Descrição geral**

PERFIL: n° 05 – Perfil Casa Branca.

DATA: 28/01/2007.

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Regolítico húmico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Silveiras.

LOCALIZAÇÃO: Estrada RS 430, a aproximadamente 500 m da comunidade de Casa Branca (S 28° 32,172' W 50° 20,314').

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em barranco escavado em trecho médio da coxilha, com declividade de 7 %, sob campo nativo.

ALTITUDE: 1055 m.

LITOLOGIA: Rochas ígneas extrusivas ácidas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Serra Geral.

CRONOLOGIA: Cretáceo inferior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Riólito.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa.

ROCHOSIDADE: Moderadamente rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado com áreas onduladas.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta ombrófila densa com campos altimontanos.

USO ATUAL: Pastagem (campo nativo).

CLIMA: Cfb, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Fabrício de A. Pedron e Sidinei Leandro Stürmer.

**Descrição Morfológica**

- A 0-20 cm; solo: 10YR 3/2 (úmida), 10YR 3/2 (seca moída), saprolito: 10YR 7/3,5 (seca moída); argila; friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta a clara e irregular.

- Cr/A 20-45 cm; solo: 10YR 3/2 (úmida), 10YR 3/2 (seca moída), saprolito: 10YR 4/4 (úmida), 10YR 7/3,5 (seca moída); argila; ligeiramente firme (solo) e firme (saprolito), ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa (solo e saprolito); transição clara e irregular a ondulada.
- Cr<sub>1</sub> 45-78 cm; solo: 10YR 3/2 (úmida), 10YR 3/2 (seca moída), saprolito: 10YR 4/4 (úmida), 10YR 6,5/3 (seca moída); franco argilosa; transição clara e plana a ondulada.
- Cr<sub>2</sub> 78-205 cm+; solo: 10YR 3/2 (úmida), 10YR 3/2 (seca moída), saprolito: 10YR 6/6 (úmida), 10YR 6,5/3 (seca moída).
- R -

RAÍZES: Muitas, fasciculadas e finas, com predomínio de gramíneas no Hz A; comuns, fasciculadas e finas, com predomínio de gramíneas no Hz Cr/A; poucas, fasciculadas e finas, com predomínio de gramíneas no Hz Cr<sub>1</sub> e raras, fasciculadas e finas, com predomínio de gramíneas no Hz Cr<sub>2</sub>.

#### OBSERVAÇÕES:

- O Hz Cr/A apresenta solo com ocorrência de saprolito friável com aparência de firme;
- O Hz Cr<sub>1</sub> apresenta veios quase horizontais com preenchimentos de material silicoso, aparentemente quartzo. Os veios chegam até 3 cm de espessura. O material saprolítico em contato com o veio é aparentemente mais intemperizado que o restante;
- O Hz Cr<sub>1</sub> apresenta saprolito fortemente alterado, facilmente cortado com a faca;
- O Hz Cr<sub>2</sub> apresenta saprolito mais consistente que o Cr<sub>1</sub>, podendo ser quebrado com o martelo pedológico.

## Apêndice 2

### Classes de Intemperismo (ISRM, 1978).

Classe	Descrição
W1	Rocha sã (inalterada).
W2	Levemente alterada, com descoloração em superfícies descontínuas.
W3	Moderadamente alterada, com menos da metade do material decomposto.
W4	Severamente alterada, com mais da metade do material decomposto.
W5	Completamente alterada, todo material transformado em solo, porém com a manutenção da estrutura da rocha.

### Classes de intemperismo de rochas graníticas (Clayton et al., 1979).

Classe	Descrição
1	Rocha sã. Tilinta (som metálico) com pancada de martelo; não pode ser escavada com a ponta do martelo; junções são as únicas feições visíveis e são angulares; biotitas são pretas e compactas e não soltam pigmentos; feldspatos de aparência brilhantes.
2	Rocha muito fracamente alterada. Similar a anterior, exceto pela biotita que solta pigmento e que sob lente de mão parece estar "expandida" e pelo feldspato que apresenta alguma opacidade.
3	Rocha fracamente alterada. Som surdo com pancada de martelo; pode ser quebrada em blocos com moderada dificuldade com martelo; feldspatos são opacos e leitosos; não há penetração de raízes; juntas são distintas e subangulares.
4	Rocha moderadamente alterada. Rocha não pode ser quebrada com a mão; não há som metálico; feldspatos são opacos e leitosos, biotitas tem usualmente brilho amarelo ouro; juntas indistintas e arredondadas/subangulares.
5	Rocha moderadamente bem alterada. Quebra com as mãos em fragmentos pequenos com moderado esforço; usualmente lascam; a penetração de raízes se restringe as juntas as quais são arredondadas e fracamente visíveis; feldspatos são pulverulentos; biotitas apresentam brilho ouro pálido.
6	Rocha alterada. Pode ser quebrada na mão em partículas pequenas (tamanho de areia); esta tão alterada que é difícil determinar se a rocha esta lascada ou não; raízes podem penetrar.
7	Rocha muito bem alterada. Feldspatos estão alterados em argila; "rocha" é plástica quando úmida; não há resistência ao enraizamento.

### Apêndice 3

#### Classes de resistência à escavação

Classes de resistência à escavação do Soil Survey Staff (1993).

<b>Classes</b>	<b>Descrição do teste</b>
Baixa	A escavação pode ser executada com uma pá usando a energia do braço. Não é necessária aplicação de energia de impacto (golpes) nem aplicação de pressão do pé na pá.
Moderada	O uso da pá apenas com a pressão do pé é insuficiente. A escavação pode ser feita facilmente com a pá com aplicação de energia de impacto (golpes) ou com a pressão do pé sobre a pá.
Alta	A escavação com a pá (golpes ou com pressão do pé) ainda pode ser efetuada, porém com dificuldade. A escavação é facilmente efetuada com golpe de picareta, movimentando-a por cima da cabeça.
Muito alta	A escavação com golpes de picareta é moderada para marcadamente difícil. A escavação pode ser executada num período razoável de tempo usando retroescavadeira montada em trator de 50-80 hp.
Extremamente alta	A escavação é quase impossível com uma picareta. A escavação não pode ser executada num período razoável de tempo usando retroescavadeira montada em trator de 50-80 hp.

Classes de resistência à escavação de Speight & Isbell apud Buol (1989).

<b>Resistência</b>	<b>Faca</b>	<b>Ponta do martelo</b>	<b>Martelo</b>
Muito fraca (1-25 MPa)	corte profundo	pedaços	achata ou pulveriza
Fraca (25-50 MPa)	raso ou arranha	incisão profunda	desmancha em muitos fragmentos pequenos
Moderadamente resistente (50-100 MPa)	nada ou marca fracamente	incisão rasa	quebra em poucos fragmentos, grandes e alguns pequenos
Resistente (100-200 MPa)	nada	nada	quebra em 1 ou 2 fragmentos grandes
Muito resistente (> 200 MPa)	nada	nada	nada

## Apêndice 4.

### Imagens dos perfis e paisagens

#### a. Perfil 1 – Itaqui

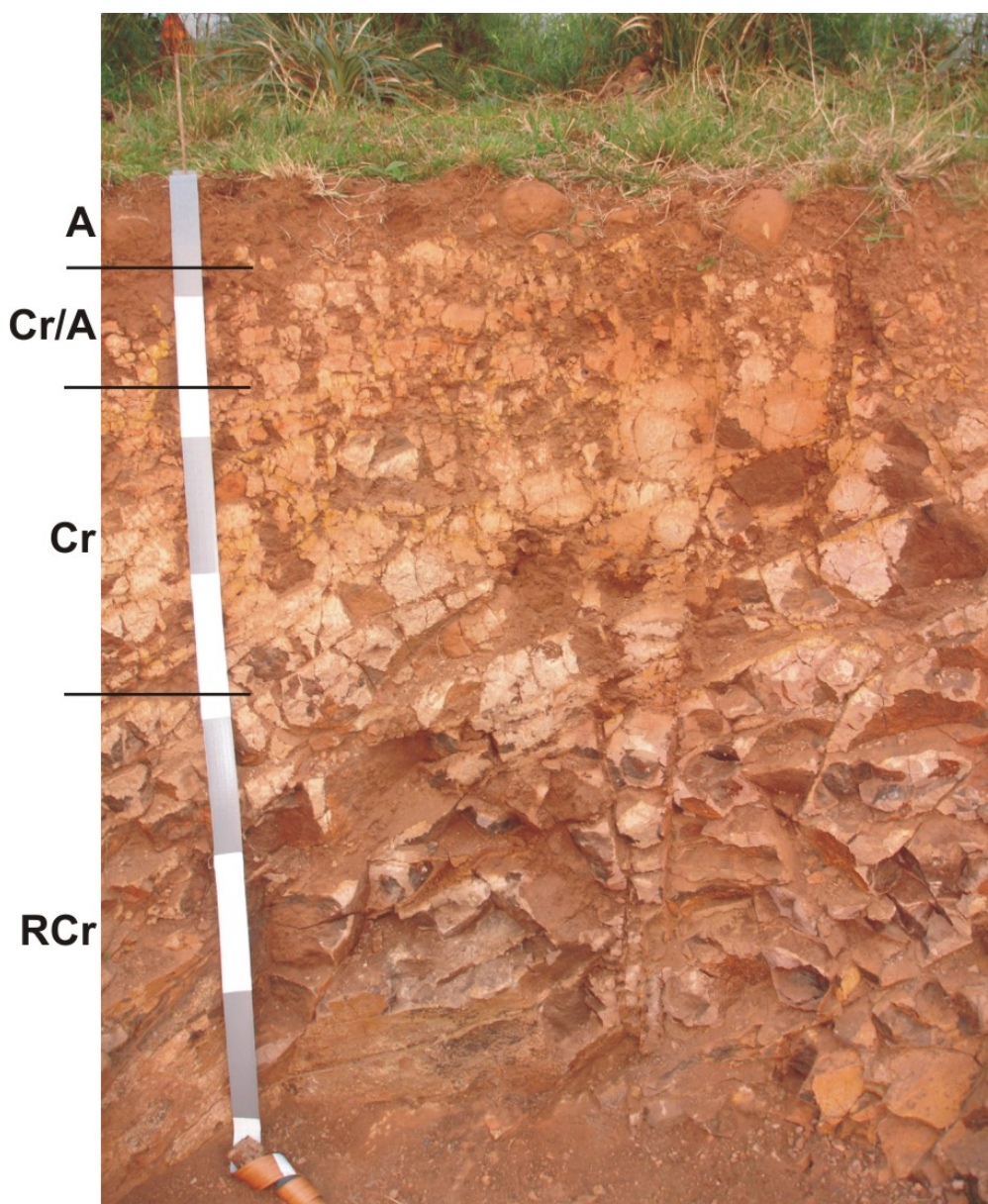


Figura a1. Imagem do perfil 1 (secções na fita equivalem a 20 cm).





Figura a2. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 1.



Figura a3. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 1.

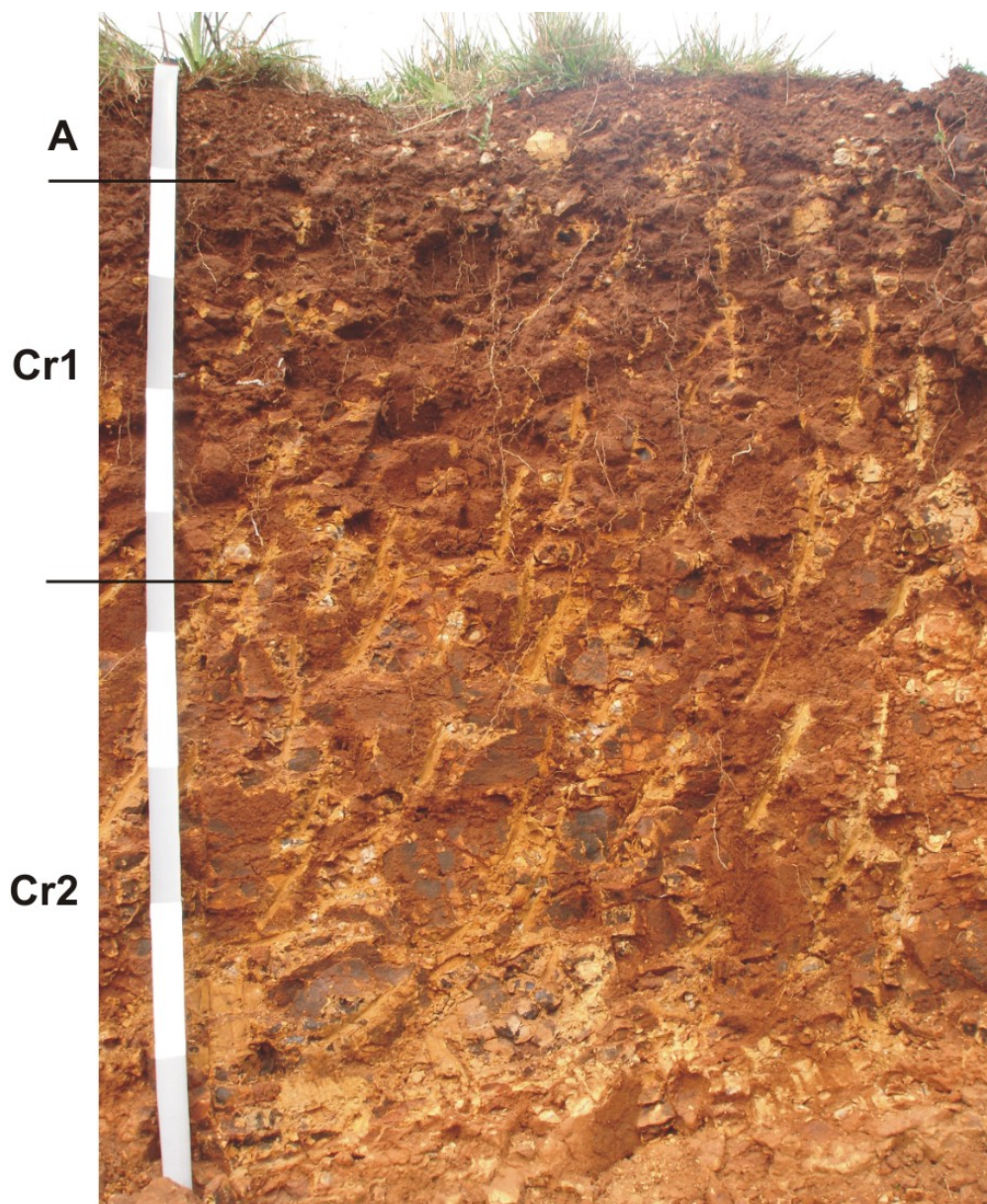
**b. Perfil 2 – Unistalda**

Figura b1. Imagem do perfil 2.



Figura b2. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 2.



Figura b3. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 2.

## c. Perfil 3 – Ibarama

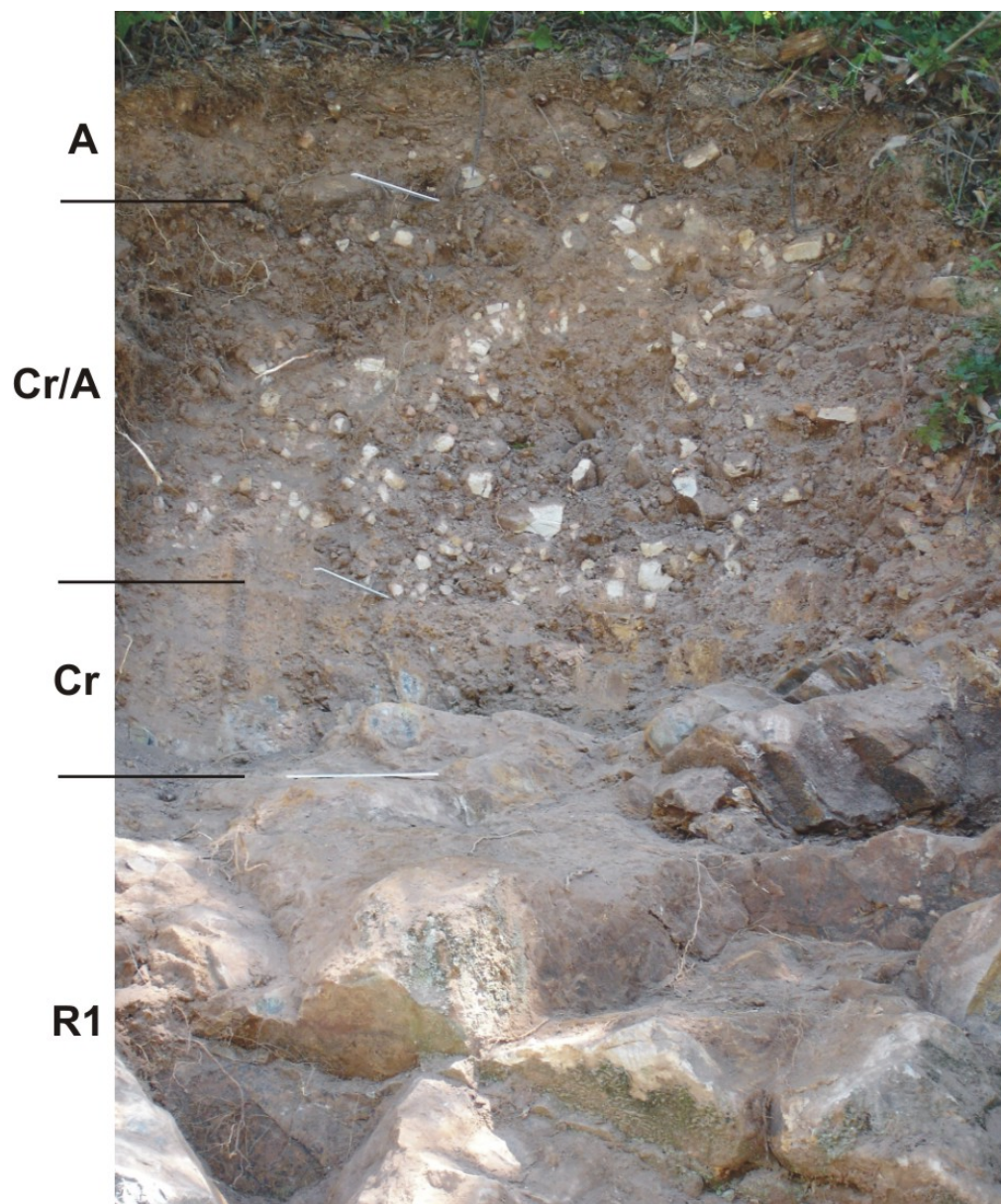


Figura c1. Imagem do perfil 3.



Figura c2. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 3.



Figura c3. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 3.

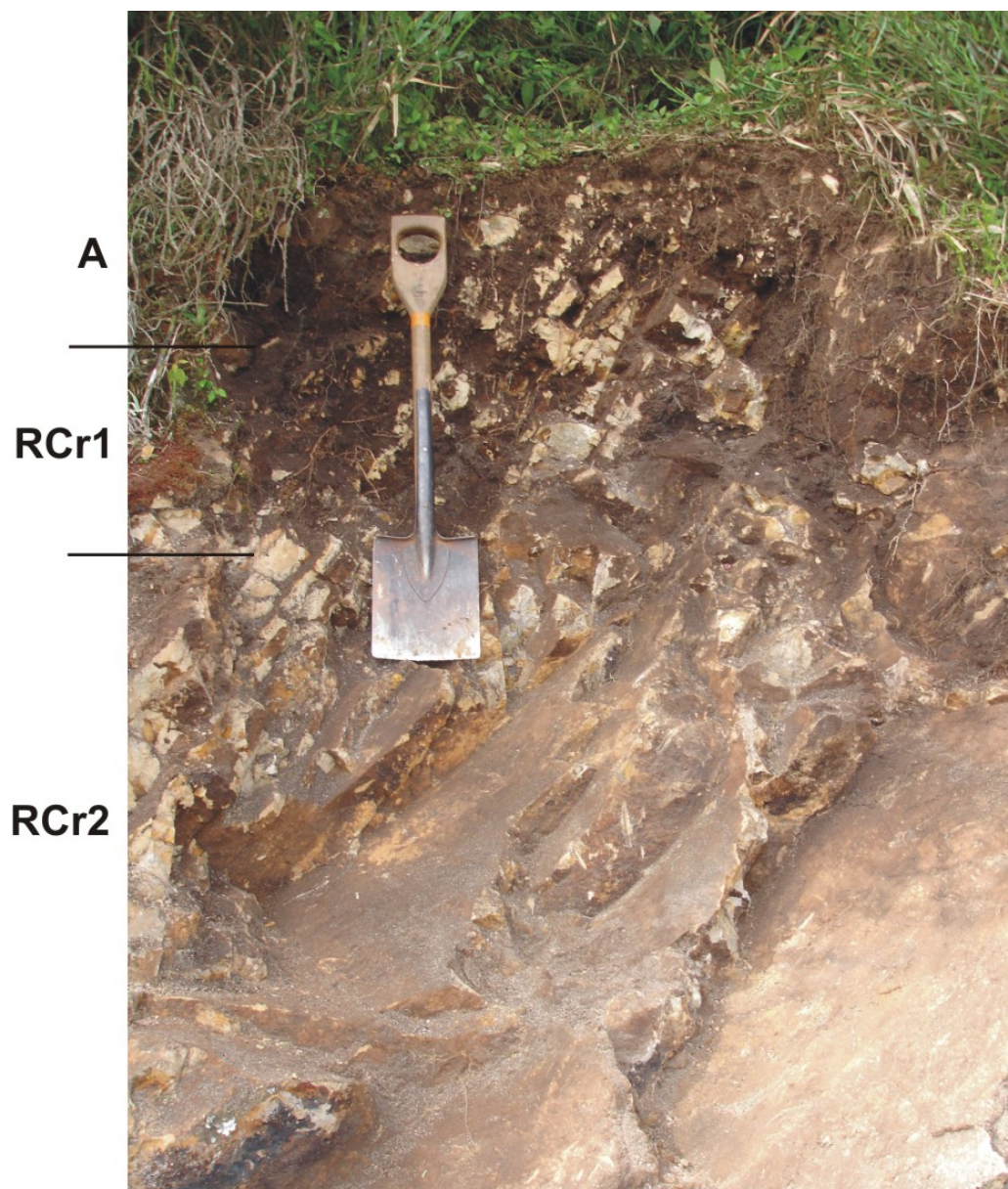
**d. Perfil 4 – Caxias do Sul**

Figura d1. Imagem do perfil 4 (altura da lâmina da pá apresenta aproximadamente 20 cm).



Figura d2. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 4.



Figura d3. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 4.

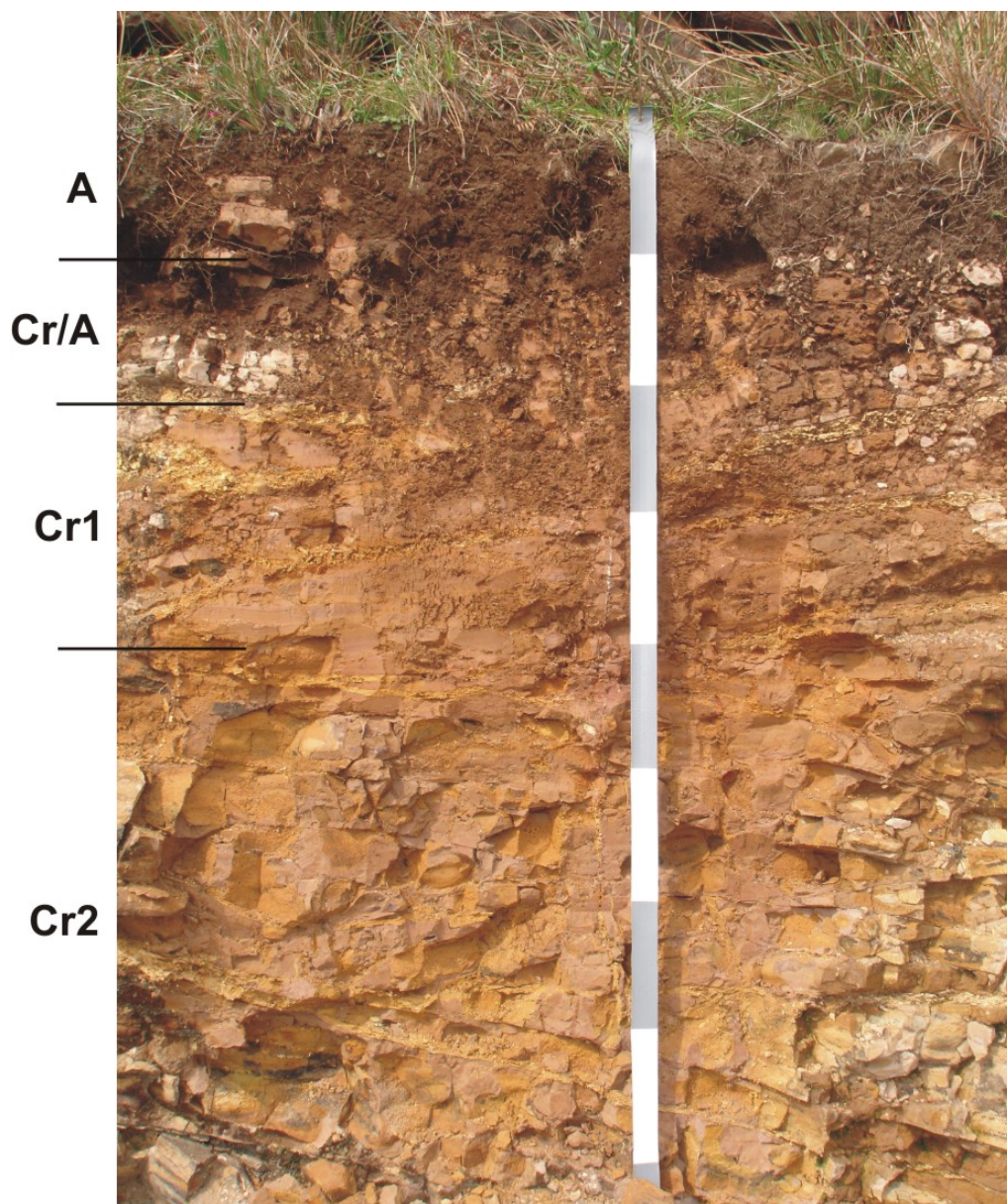
**e. Perfil 5 – Bom Jesus**

Figura e1. Imagem do perfil 5 (secções na fita equivalem a 20 cm).





Figura e2. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 5.



Figura e3. Imagem da paisagem de ocorrência do Perfil 5.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)