**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução
física-geoquímica-mineralógica**

Adriano Ribeiro Guerra

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

**Piracicaba
2015**

Adriano Ribeiro Guerra
Engenheiro Agrônomo

**Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução
física-geoquímica-mineralógica**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **ANTÔNIO CARLOS DE AZEVEDO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Guerra, Adriano Ribeiro

Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução física-geoquímica-mineralógica / Adriano Ribeiro Guerra. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

256 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Procedimentos de descrição 2. Terminologia 3. Mineralogia de alteração I. Título

CDD 631.411
G934s

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

Como poderia expressar esta tese em números?

2 anos de disciplinas; 40 dias de amostragem; 2 meses de preparo de amostras; 2 anos no Laboratório de Micromorfologia do Solo; 5 meses no Laboratório de Física do Solo; 2 meses no Laboratório de Química do Solo; 6 meses no Laboratório de Mineralogia do Solo; ??? horas de Microscopia Ótica e Difractometria de raios X; inúmeras horas de processamentos e análise de dados.

E como poderia expressar esta tese em termos de gratidão à família, aos mestres, aos colaboradores e aos amigos, sem os quais ela seria inviável?

Não saberia ao certo dizer, como agradecer e como contabilizar. Apenas agradeço de maneira sincera, em poucas palavras, a participação dos pares:

À família:

Aos queridos pais, por nunca desistirem e não deixarem que eu desistisse dos sonhos, por acreditarem na minha capacidade em vencer obstáculos. Também serei sempre grato pelo suporte financeiro, sem o qual não poderia me lançar a tantos ideais.

À minha esposa Daniela, que não desanimou durante a caminhada, permaneceu firme e alegre diante dos problemas. E ainda me trouxe dois presentes nestes anos de casamento, Sávio e Manuela, bálsamos da minha vida. Sem eles, talvez não teria nem a metade ou quem sabe nem sequer um terço da garra e da dedicação que levaram ao desfecho deste trabalho. O tempo dedicado aos cuidados com a família foram substituídos por inúmeras horas, muitas vezes noturnas, envolto por manuscritos e árduo trabalho nos laboratórios. Serei eternamente grato à família por me proporcionar uma força maior e desejo incansável de vencer.

Aos mestres:

Ao Professor Antônio Carlos de Azevedo (orientador), pessoa de notável educação e saber, pela paciência e dedicação incomuns.

Ao Professor Miguel Cooper, por sempre deixar as portas do seu Laboratório abertas e pelos bons conselhos.

Ao Professor Pablo Vidal Torrado, pelos apontamentos sinceros e incentivo à construção do projeto;

Ao Professor Francisco Tanaka (Microscopia Eletrônica), por me dizer “É claro que você vai conseguir, pois até eu fui capaz...”;

Ao Professor Richard Heck (UOGuelph), pelo treinamento em análise de imagens no Canadá;

Ao Professor Yuri Lopes Zinn, mente brilhante da pesquisa científica, por me iniciar no mundo da Micromorfologia e instigar o conhecimento crítico;

A alguns mestres das escolas anteriores:

Professores da Universidade Federal de Viçosa, João Luis Lani, Roberto Ferreira de Novais, Ivo Juksch, Moacil e José Maria.

Pela fraternidade, exemplo profissional e aulas inspiradoras que motivaram minha caminhada pessoal e científica.

Aos colaboradores do Departamento de Solos da ESALQ:

Célia; Sônia; Chico; Jair e Leandro

Pela transmissão dos conhecimentos práticos, auxílio na execução dos trabalhos e paciência com o “Mineiro”. Também pelas boas risadas e confiança.

Aos amigos de Piracicaba:

Solange e Gilciley; Dona Mara e Seu Jorge; Seu Alfredo e Dona Clarice;

Pela acolhida calorosa, sincera, sempre regada a boa comida e alegre convivência.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Importância técnica e ambiental de saprolitos e solos.....	14
1.2 Morfologia e descrição de solos e saprolitos.....	19
1.3 Terminologia utilizada para a descrição de saprolito.....	21
1.4 Taxonomia de saprolito.....	26
1.5 Evolução física-mineralógica em perfis de alteração.....	28
1.6 Geoquímica em perfis de alteração.....	30
Referências	31
2 MORFOLOGIA DE SAPROLITOS DERIVADOS DE ROCHAS METAMÓRFICAS E SEDIMENTARES NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL.....	37
Resumo	37
Abstract	37
2.1 Introdução	38
2.2 Materiais e Métodos	39
2.2.1 Terminologia adotada	39
2.2.2 Descrição do meio físico amostral	40
2.2.2.1 Localização, climatologia, geomorfologia e vegetação	40
2.2.2.2 Geologia.....	44
2.2.2.2.1 Grupo 1: Rochas metamórficas	44
2.2.2.2.1.1 Xistos dos Grupos Canastra e Araxá.....	44
2.2.2.2.1.2 Xistos do Grupo Fortaleza de Minas.....	46
2.2.2.2.1.3 Gnaisses do Complexo Campos Gerais.....	46
2.2.2.2.2 Grupo 2: Rochas sedimentares	46
2.2.3 Procedimentos gerais de descrição	48
2.3 Resultados e Discussão	50
2.4 Conclusões	57
Referências	57

3 EVOLUÇÃO FÍSICA, MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA EM PERFIS DE SOLO-SAPROLITO DERIVADOS DE ROCHAS METAMÓRFICAS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL	59
Resumo	59
Abstract	59
3.1 Introdução	60
3.2 Materiais e Métodos.....	61
3.2.1 Coleta dos materiais.....	61
3.2.2 Preparo das amostras.....	63
3.2.2.1 Peneiramento das amostras deformadas	63
3.2.2.2 Impregnação de amostras.....	66
3.2.3 Análises laboratoriais.....	66
3.2.3.1 Análises físicas.....	66
3.2.3.2 Análises mineralógicas.....	67
3.2.3.3 Análise química	68
3.3 Resultados e Discussão.....	69
3.3.1 Densidade e porosidade total.....	69
3.3.2 Evolução mineralógica nos perfis de alteração.....	71
3.3.2.1 Perfil 1-Biotita Xisto feldspático.....	72
3.3.2.2 Perfil 2- Clorita Xisto feldspático.....	82
3.3.2.3 Perfil 3- Quartzo muscovita Xisto.....	94
3.3.2.4 Perfil 4 – Talco-clorita-tremolita Xisto.....	104
3.3.2.5 Perfil 5 - Biotita Xisto Granatífero.....	111
3.3.2.6 Perfil 6 -Talco Xisto.....	123
3.3.2.7 Perfil 7 Gnaisse melanocrático.....	131
3.3.2.8 Perfil 8-Gnaisse leucocrático.....	138
3.3.2.9 Perfil 9 - Gnaisse mesocrático.....	144
3.3.3 Geoquímica dos perfis de alteração	153
3.4 Conclusões.....	161
4 CLASSIFICAÇÃO DE SAPROLITOS DERIVADOS DE ROCHAS METAMÓRFICAS E SEDIMENTARES E CONTRIBUIÇÃO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL.....	165
Resumo	165

Abstract.....	165
4.1 Introdução.....	166
4.2 Materiais e métodos.....	167
4.2.1 Proposta para a classificação de saprolitos em 4 níveis hierárquicos.....	167
4.2.2 Inserção da informações sobre saprolitos na classificação de solos.....	169
4.3 Resultados e discussão.....	170
4.3.1 Classificação de saprolitos derivados de rochas sedimentares e metamórficas	170
4.3.2 Classificação de saprolito aplicada a classificação de solos.....	172
Referências.....	174
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	175
ANEXOS	177

RESUMO

Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução física-geoquímica-mineralógica

O saprolito é um corpo geológico constituído pela mistura de minerais primários e secundários resultantes do intemperismo físico e químico, o qual mantém vestígios da estrutura original da rocha. Difere do solo pela evidente filiação litogenética e insignificante atividade biológica. Apesar das definições, no entanto, o limite e a distinção entre solo e saprolito nem sempre são claros, devido a continuidade entre estes corpos em termos de processos hidrológicos e geoquímicos, bem como de suas composições físicas e mineralógicas, o que gera grande confusão nas descrições morfológicas e na organização de informações. Devido ao caráter multidisciplinar das ciências envolvidas no estudo do saprolito e a dedicação parcial de todas elas, há uma grande carência de padronização de termos e procedimentos para sua caracterização e análise. O objetivo geral desta tese é a caracterização de saprolitos desenvolvidos a partir de variadas litologias, no intuito da elaboração de procedimentos para a descrição, classificação e análise de saprolitos. Especificamente objetivou-se avaliar detalhadamente os padrões de alteração física, mineralógica e geoquímica em materiais, influenciados por atributos litológicos relativos a composição mineralo-química e estrutural do material parental. Para tanto foram descritos e amostrados 15 perfis de alteração; compostos por solo, saprolito e rocha, derivados de rochas sedimentares e metamórficas na região Sudeste do Brasil, nos estados de São Paulo e Minas Gerais. As descrições demonstraram que os corpos saprolíticos avaliados podem ser agrupados em quatro tipos morfológicos principais, sendo propostas as seguintes categorias estruturais: contínua, fraturada, fragmentada e terrosa. Dentre todos saprolitos avaliados, aqueles derivados de rochas metamórficas apresentaram maior complexidade morfológica. Deste modo, 9 perfis filiados a xistos e gnaisses foram submetidos a análises físicas, geoquímicas e mineralógicas para avaliação dos processos de alteração e desenvolvimento de sistema de classificação. A composição mineralógica de solos e saprolitos se mostrou semelhante, entretanto, ocorreram dissimilaridades geoquímicas entre estes corpos. Atributos físicos como densidade e porosidade total não demonstraram diferenças significativas entre solo e saprolito, entretanto, ao se considerar isoladamente amostras de saprolito, houve correlação positiva entre a perda de massa e a porosidade total, tornando este último atributo útil à proposta de classificação de saprolitos.

Palavras-chave: descrição de saprolitos, mineralogia de alteração, porosidade, índice de intemperismo

ABSTRACT

Saprolites in the southeast region of Brazil: morphology, classification and evolution physical-geochemistry-mineralogical

The saprolite is a geological body constituted by the mixture of primary and secondary minerals resulting of physical and chemical weathering, which retains traces of the original rock structure. It differs from the soil by the evident litogenetic affiliation and insignificant biological activity. Although the definitions, however, the limit and the distinction between soil and saprolite are not always clear, because the continuity between these bodies in terms of hydrological and geochemical processes, as well as their physical and mineralogical compositions, which creates great confusion in morphological descriptions and information network. Due to the multidisciplinary nature of the sciences involved and the partial dedication of all of them in the saprolite investigations, there is a great lack of standardization of terms and procedures for characterization and analysis. The overall objective of this thesis is the characterization of saprolite developed from various lithologies in order to draw up procedures for the description, classification and saprolite analysis. Specifically aimed to evaluate in detail the patterns of physical, mineralogical and geochemical changes in some materials influenced by lithological attributes how the mineralogical and chemical composition, as well as the structure of parental material. For this were described and sampled 15 weathering profiles, composed of soil, saprolite and rock derived from sedimentary and metamorphic rocks in southeastern Brazil, in the states of São Paulo and Minas Gerais. The descriptions shown that saprolite evaluated can be grouped into four main morphological types, proposed the following structural categories: continuous, fractured, fragmented and earthy. Among all evaluated saprolite, those derived from metamorphic rocks showed higher morphological complexity. Thus, 9 affiliated profiles schists and gneisses to have been subjected to physical, geochemical and mineralogical analyzes to evaluate the change processes and to developing the classification system of saprolites. The mineralogical composition of soils and saprolite was similar, however, there were dissimilarities regard geochemical attributes between this bodies. Physical properties such as density and porosity showed no significant differences between soil and saprolite, however, when considered in isolation saprolite samples, there was a positive correlation between weight loss and total porosity, making this last attribute able to integrate the proposed saprolite classification.

Keywords: saprolite description, mineralogy of alteration, porosity, weathering index

1 INTRODUÇÃO

O regolito, caracterizado como o manto de intemperismo situado entre a rocha inalterada e o contato da superfície com a atmosfera, é o palco fundamental para a realização da quase totalidade das atividades humanas, além de ser largamente responsável pelas características ambientais dos ecossistemas terrestres. Exerce funções hidrológicas fundamentais como fluxo e armazenamento de água (VEPRASKAS et al., 1991; MCKAY et al., 2005), promove o crescimento vegetal e regula grande parte da emissão de gases e movimentação de solutos no ambiente (BRIMHALL; DIETRICH, 1986; BUTT; LINTERN, ANAND, 2000; EHLEN, 2005; KEW; GILKES, 2006).

Tecnicamente, o regolito pode ser separado em duas zonas distintas, o solo e o saprolito. O solo é definido como um corpo natural composto por substâncias minerais e orgânicas, gases e água (BRADY; WEIL, 2008), influenciado sobremaneira pela atividade biológica e por processos de pedogênese. Já o saprolito é uma porção do regolito constituído pela mistura de minerais primários e secundários resultantes da ação do intemperismo químico-físico e que mantém vestígios da estrutura original da rocha (DELVIGNE, 1998; BUTT; LINTERN, ANAND, 2000). Geralmente esta porção é reconhecida como produto da alteração da rocha *in situ*, denominado comumente de horizonte ou camada C, CR, Cr, CrR e RCr (KRETZSCHMAR et al., 1997; SANTOS et al., 2005; MCKAY et al., 2005; VIDAL-TORRADO et al., 2006; DIAS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008; BÉTARD et al., 2009; PEDRON et al., 2009; PEDRON et al 2010; WALD; GRAHAM; SCHOENEBERGER, 2013), sendo pouco ou nada influenciado pela atividade biológica. Apesar das definições, no entanto, o limite e a distinção entre solo e saprolito nem sempre são claros, o que gera grande confusão nas descrições morfológicas e na organização de informações.

Em ambientes tropicais, o espessamento do regolito pode variar de poucos centímetros a dezenas de metros, sendo que a camada saprolítica comumente apresenta maior profundidade do que o próprio solo. Saprolitos derivados de gnaiss no Quadrilátero Ferrífero (MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA et al., 2004) e na Serra da Mantiqueira (MODENESI-GAUTIERI et al., 2011) podem apresentar espessuras de 50 metros, enquanto que no Planalto Central já foram relatadas espessuras de até 100 metros (CARDOSO; MARTINS; CARVALHO, 2002). A espessura do saprolito é função de vários fatores como idade da superfície geomórfica, atividade tectônica, clima atual e pretérito, bem como pela própria natureza da rocha parental (BUTT; LINTERN; ANAND, 2000).

Embora a ocorrência e a importância ambiental do saprolito sejam bastante amplas, poucos estudos têm focado na sua caracterização. Apesar dos grandes avanços no mapeamento de solos e rochas nos Estados Unidos, executado no último século, a interface entre rocha e solo foi largamente negligenciada, não havendo sistemático inventário ou avaliações ao longo das zonas de alteração (WALD; GRAHAM; SCHOENEGER, 2013). Estima-se, por exemplo, que a presença de saprolito a menos de 1 metro de profundidade, ocorra em extensas áreas no referido país, como 22% na Califórnia, 33% em Wyoming e 18% na Carolina do Norte (WALD; GRAHAM; SCHOENEGER, 2013). No Brasil, apenas no Rio Grande do Sul, a abrangência geográfica de Neossolos atinge cerca de 20% do território (apud Pedron et al., 2010), o que sugere a proximidade do saprolito à superfície a cerca de 1 metro.

O objetivo geral deste trabalho é a caracterização de sistemas solo-saprolito desenvolvidos a partir de litologias distintas, para elaboração de procedimentos para a coleta, descrição morfológica, análise laboratorial e sistematização de informações a respeito de saprolitos.

Os objetivos específicos são:

- propor critérios para distinção do limite solo-saprolito, por meio de atributos determinados a campo e/ou em laboratório, que permitam observar a variação das características entre estes corpos;
- identificar padrões de alteração física, mineralógica e geoquímica em solos e saprolitos, influenciados principalmente por características litológicas e secundariamente por fatores geomórficos e temporais.
- propor sistema de classificação para saprolitos que atenda a propósitos multidisciplinares (Pedologia, Geologia, Geotecnia, Hidrologia, Engenharia Civil);
- gerar informações sobre a importância de solos com presença de saprolito a 1 ou 2 metros de profundidade e contribuir para o refinamento da classificação destes, considerando os últimos níveis categóricos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013);

1.1 Importância técnica e ambiental de saprolitos e solos

Informações sobre o manto regolítico, particularmente sobre o saprolito, são cada vez mais necessárias para o gerenciamento de cenários complexos criados pelas atividades humanas. Hidrologistas, engenheiros ambientais e sanitários necessitam de informações acuradas sobre o comportamento da água, solutos e fluídos residuários nesta zona. Estudos de

Engenharia focam na estabilidade do saprolito para fundações ou construção de estradas e aptidão como filtro para disposição de resíduos (STOLT; BAKER, 1994). Conhece-se, por exemplo, que alguns saprolitos formados a partir de filitos, xistos, gnaisses e granitos com alto conteúdo de micas são inadequados como materiais de base, uma vez que estes minerais, apesar de altamente compressíveis, são elásticos e possuem baixa resistência mecânica (STOLT; BAKER, 1994), o que pode gerar problemas estruturais nas edificações como as deformações ou afundamentos observados em estradas. Entretanto, segundo Mafra e Mori (2003) materiais saprolíticos foram utilizados com sucesso para a construção do núcleos impermeáveis de grandes barragens brasileiras como Itaipu (saprolito de basalto), Corumbá I (saprolito de micaxisto) e Itaparica (saprolito de gnaissse).

Dentre as muitas funções ambientais do solo, a filtragem e retenção da água e a transformação de solutos é de especial interesse na manutenção da qualidade da água que atinge os reservatórios subterrâneos. A água subsuperficial, em sua quase totalidade, interage de alguma forma com a coluna de solo e com o saprolito (FREEZE; CHERRY, 1979), sendo que a constituição mineralógica desses materiais influencia a dinâmica e composição química da água, em razão da reatividade superficial de minerais (JOHNSTON; TOMBÁ CZ, 2002). O fluxo de matéria entre o solo e o saprolito se dá em condições de transferência entre fases (THIBODEAUX, 1996), nas quais discontinuidades nas características das duas camadas tais como porosidade, capacidade de troca catiônica (CTC) e capacidade de troca aniônica (CTA) afetam a mobilidade e estabilidade dos materiais em trânsito (solúveis e em suspensão). O predomínio de fluxos através de fraturas e macroporos, por exemplo, é típico de saprolitos (O'BRIEN; BUOL, 1984) e possui implicações na qualidade das águas subterrâneas (MCKAY; HARTON; WILSON, 2002; MCCARTHY; MCKAY; BRUNER, 2002; BUOL, 1994; MCCOY et al., 1994; JARDINE; JACOBS; WILSON, 1993).

Ainda pouco explorado em estudos pedológicos e geológicos é o potencial do saprolito em estocar carbono orgânico. As raízes comumente penetram na matriz do saprolito e nas fraturas de porções mais alteradas das rochas, havendo casos em que a densidade de raízes incrementa com a profundidade (GRAHAM; TICE; GUERTAL, 1994). As adições de matéria orgânica no saprolito podem ser dispersas ou concentradas, o que depende basicamente do grau de alteração do material. Quando a rocha está bastante alterada, como em saprolitos friáveis e soltos, é possível a colonização radicular pela matriz como um todo, sendo o conteúdo de carbono orgânico (CO) relativamente baixo; entretanto, quando a rocha está pouco alterada, as raízes estão confinadas apenas nas fraturas e o teor de CO poderá

apresentar valores semelhantes àqueles detectados em horizontes superficiais (GRAHAM; TICE; GUERTAL, 1994).

O espessamento do saprolito em regiões tropicais úmidas, favorecido pela ausência de glaciações no Pleistoceno, também possui especial interesse para investigações geomorfológicas (MODENESI-GAUTIERI et al., 2011). As relações entre o grau de intemperismo e a compartimentação geomórfica são mais evidentes no saprolito do que em solos, sendo que a análise da evolução intempérica em um perfil de alteração fornece informações relevantes para a reconstrução de paleoambientes, como demonstrado por Modenesi-Gauttieri et al. (2011) no planalto de Campos do Jordão, SP. Investigações sobre a gênese de saprolitos envolvem a análise das mudanças nos componentes físicos, químicos e mineralógicos durante o intemperismo geoquímico da rocha parental ao longo dos materiais regolíticos residuais (STOLT; BAKER, 1994). O esforço, no âmbito pedológico, para satisfazer estas demandas não é recente (ORVEDAL, 1963; SIMONSON, 1974; OLIVEIRA, 2003), mas ainda há uma grande demanda por informações locais, decorrentes dos processos de intemperismo e pedogênese dominantes em cada domínio geoclimático. Como o intemperismo da rocha é governado por reações com a água, feições litoestruturais que promovem a infiltração de água na rocha são extremamente importantes na determinação da taxa e padrão do intemperismo (GRAHAM; TICE; GUERTAL, 1994) e, por conseguinte, condiciona os padrões de evolução da paisagem.

A variabilidade nas características e propriedades dos saprolitos é consideravelmente influenciada por diferenças na estrutura, fábrica, composição, tamanho dos grãos da rocha de origem, zonas de cisalhamento e intrusões (STOLT; BAKER, 1994). O conhecimento aprofundado sobre a morfologia dos saprolitos, como profundidade, textura, fraturamento e contato com a rocha, também é essencial para a previsão de desastres. A susceptibilidade à erosão dos saprolitos derivados de algumas rochas pode ser maior do que aquela observada em horizontes superficiais do solo, o que leva a formação das voçorocas quando o processo erosivo atinge esta camada (MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA et al., 2004). A ocorrência de grandes movimentos de massa no saprolito está relacionada à sua textura siltosa (MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA et al., 2004), bem como sua constituição mineralógica, sendo que a orientação comum de partículas micáceas se constitui em fator de predisposição a deslizamentos (FANNING; KERAMIDAS, 1989), conforme demonstrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Variação à susceptibilidade a movimentos de massa em saprolito (Itabira MG)

Apesar de muitos solos tropicais apresentarem notável profundidade efetiva e consequentemente camada saprolítica a dezenas de metros de profundidade como em Latossolos; outros tantos, como Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Luvisolos e Neossolos frequentemente se apresentam rasos, com o saprolito situado a profundidades inferiores que 1 ou 2 metros. Fortemente influenciados pela proximidade com a camada saprolítica destacam-se os Neossolos e Cambissolos (EMBRAPA, 2013) ou *Entisols* (USDA, 1999), cujas características principais residem no seu estado embrionário e ausência de processos pedogenéticos dominantes, condicionados tanto por condições climáticas, resistência do material parental, alta declividade, como por superfícies geomórficas jovens. Estima-se que estes solos, oriundos de fenômenos naturais, ocupem cerca de 20% da área terrestre mundial (BUOL et al., 1997).

A abrangência geográfica de solos rasos no Brasil é considerável, e sobre os mesmos são desenvolvidas atividades pecuárias e silvícolas de potencial pouco conhecido em virtude do pequeno nível de conhecimento sobre estes ambientes. A camada saprolítica nestes solos, frequentemente se constitui em zona de exploração radicular e pode representar um importante recurso de água e nutrientes para inúmeras atividades agrossilvipastoris. O número de relatos sobre espécies que enraízam em profundidades abaixo do *solum* (horizontes A + B) cresceu bastante no último século (STONE; COMEFORD, 1994). Há relatos, por exemplo, de espécies frutíferas que podem estender suas raízes a profundidades que

ultrapassam 3 a 10 metros, enquanto algumas espécies florestais podem alcançar valores de 30 a 60 metros, sendo comum encontrar raízes em florestas tropicais nas camadas situadas de 3 a 12 metros (STONE; COMEFORD, 1994).

São cada vez mais freqüentes as constatações de pedólogos que verificaram boa produtividade agrícola e florestal em Neossolos e Cambissolos, sem evidências de degradação (OLIVEIRA, 2003). Nem sempre o saprolito representa impedimento ao livre desenvolvimento do sistema radicular e boas produções de culturas anuais, e mesmo perenes, são obtidas. O desenvolvimento de microporosidade no saprolito aumenta sua capacidade de retenção de água em comparação à rocha sã, principalmente no caso das rochas ígneas (GRAHAM; TICE; GUERTAL, 1994). Há evidências, inclusive, de que a vegetação nativa utiliza água armazenada no saprolito para suplementar suas necessidades (ARKLEY, 1981), o que explica a estabilidade da produção agrícola em alguns solos rasos, mesmo em períodos de escassez de água (STERNBERG et al., 1996). Observações realizadas em pedreiras, minas, cavas e cortes de estradas revelaram que algumas espécies estendem suas raízes através de fendas e pontos de fraqueza do saprolito e rocha, sendo que a atividade da vegetação após a exaustão da água disponível no solo sobrejacente, provê fortes indícios do uso de água retida no saprolito (STONE; COMEFORD, 1994).

A utilização destes solos para realização de atividades silvipastoris no Brasil está relacionada a dois fatores principais: possibilidade em alguns casos de fertilidade natural mais elevada e pressão demográfica. É comum há várias décadas no Brasil, o estabelecimento de pequenos agropecuaristas em regiões mais montanhosas, motivados pela maior facilidade de acesso aos recursos hídricos, bem como ao cultivo dos solos com menor necessidade de utilização de insumos. É o caso típico das ocupações realizadas em regiões cafeeiras no Sul de Minas Gerais (Figura 1.2). Além do suprimento de água às plantas, a camada saprolítica pode se constituir em importante reserva mineral para a nutrição de plantas, em razão de esta apresentar maiores teores de minerais primários alteráveis do que os horizontes mais superficiais (MELO et al., 1995; PEDRON, 2007). A pressão demográfica, por outro lado, é um forte ingrediente para a ocupação de solos rasos devido ao elevado preço da terra e proximidade de algumas dessas áreas a centros urbanos. Cada vez mais, estes ambientes, alguns de baixa fertilidade e com alto teor de fragmentos de maior granulometria, são procurados para reflorestamentos por investidores. Como exemplos, destacam-se as ocupações silvícolas em regiões próximas às serras da Canastra, Cipó, Carrancas e Mantiqueira (Figura 1.3) em Minas Gerais, havendo consideráveis extensões de solos rasos cultivados com *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp. Aparentemente tais ocupações agrosilvipastoris

são sustentadas não apenas pelo próprio solo, mas provavelmente utilizam recursos provenientes do saprolito também. Igualmente a utilização de solos rasos em áreas de videira e pecuária bovina nos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina é marcante e provê o sustento de parte da agricultura familiar destes estados.

Figura 1.2 - Cafezais e pastagens no Sul de MG

Figura 1.3 - Reflorestamentos no Sul de MG

1.2 Morfologia e descrição de solos e saprolitos

O objetivo fundamental das descrições morfológicas, adotadas tanto pela Geologia quanto pela Pedologia, consiste na estratificação de perfis intempéricos em horizontes ou camadas relativamente homogêneas para a orientação de técnicas de amostragem, planejamento de uso e fins de classificação.

A caracterização do saprolito em levantamentos pedológicos carece de informações e procedimentos padronizados. Deve-se considerar também que a caracterização do solo, na atualidade, tem sua demanda ampliada muito além daquela até então requerida pela área agrônômica, como por exemplo, na área ambiental. Deste modo, a formulação de procedimentos adequados para coleta, descrição e análise que contemplem zonas saprolíticas, é essencial para a maior comunicação entre pedólogos, geotécnicos, engenheiros e geólogos, bem como para atingir as novas demandas de mapeamento de mantos regolíticos.

Estudos anteriores no Brasil mostraram considerável variabilidade dos saprolitos (Figuras 2.1a e 2.1b) quanto a sua morfologia e constituição (MACHADO, 1997; MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA, 2004; PEDRON et al, 2009; PEDRON et al., 2010). A

variabilidade vertical é comum em muitos saprolitos formados a partir de rochas metamórficas e metaígneas, sendo principalmente associada ao grau de foliação, composição mineralógica e zonas de intrusão e cisalhamento (STOLT; BAKER, 1994). Como a água de percolação se move ao longo da rede de fraturas, a rocha é alterada de fora para dentro ao longo das fendas, produzindo um corpo heterogêneo de rocha onde se alternam camadas inalteradas e alteradas (GRAHAM; TICE; GUERTAL, 1994), gerando feições morfológicas diferenciadas. Mantos regolíticos derivados de rochas quartzo-feldspática, xistos e gnaisses comumente apresentam espessas zonas de transição entre o solo e o saprolito propriamente dito, enquanto que naqueles derivados de rochas máficas e ultramáficas a mudança pode ser abrupta e a zona de transição fina ou ausente (STOLT; BAKER, 1994).

Para a descrição no campo de saprolito derivado de rocha sedimentar, McKay et al (2005) adotaram uma combinação de técnicas padrão utilizadas tanto para descrição de solos quanto para a descrição de rochas sedimentares. Foram incluídos os seguintes descritores para a caracterização física dos horizontes pedogenéticos e das zonas saprolíticas: textura do solo, presença de raízes, feições biológicas causadas por bioturbação, presença de óxidos de Fe e Mn, coloração, estruturas sedimentares, espessura das camadas de saprolito, densidade de fraturas, litologia e outras feições macroscópicas observadas no campo. Este método utilizou descritores tanto para solos quanto para rochas, o que parece ser muito útil para a descrição de saprolitos, uma vez que estes corpos representam um estágio intermediário entre a rocha inalterada e o solo propriamente dito, apresentando propriedades mistas a solos e rochas. No entanto, por motivos de ordem operacional e difusão do conhecimento necessita-se um protocolo básico para a descrição para saprolitos com origem variada, considerando os três grupos de rochas (sedimentar, metamórfica e ígnea).

Figura 2.1 - Saprolitos derivados de (a) rocha metamórfica quartzosa, município de Santa Maria de Itabira MG e de (b) rocha sedimentar folhelho, município de Piracicaba SP (Fonte: arquivo pessoal)

1.3 Terminologia utilizada para a descrição de saprolito

Investigações pedológicas apresentam razoável volume de informações sobre saprolito. Outros ramos do conhecimento também se dedicam parcialmente ao seu estudo como a Geologia, Geotecnia, Hidrologia e Engenharia Civil. Seja devido ao caráter multidisciplinar das ciências envolvidas no estudo deste corpo ou à dedicação parcial de todas elas, o tema carece de padronização de termos e procedimentos para caracterização e análise, que viabilizem maior comunicação entre os interessados.

O problema básico na identificação e classificação de materiais saprolíticos é que cada grupo de especialistas utiliza sua própria terminologia, o que torna a comunicação entre as diferentes disciplinas (STOLT; BAKER, 1994) e profissões praticamente inviável. As informações sobre a ocorrência de saprolitos nas descrições de mapeamento de solos nos EUA são imprecisas, conforme ressaltaram Wald, Graham e Schoeneberger (2013). Este fato é provocado pela descrição, algumas vezes errônea de rocha alterada (saprolito) como rocha inalterada, o que também ocorre no Brasil e em outros países, dada a inexistência de padronização. A terminologia usada por pedólogos, geólogos e engenheiros para descrever solo, saprolito e rocha alterada é confusa; como se pode observar na compilação de termos apresentada por Wald, Graham e Schoeneberger (2013), traduzida na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Termos utilizados para solos, saprolitos e rochas e suas definições

Termo	Definição
Rocha inalterada	Rocha sólida, inalterada por intemperismo físico ou químico, exposta na superfície ou sobrejacente a regolito. Contínua lateralmente e horizontalmente.
Rocha alterada	Rocha que é alterada do seu estágio original por intemperismo químico (p.e. hidrólise, oxidação). Várias classes têm sido reconhecidas, variando desde duras, com mínima alteração, até solta. Rocha alterada solta, como <i>saprock</i> ou saprolito, pode ser desagregada pelas mãos (equivalente ao horizonte Cr)
<i>Grus</i>	Acumulação de fragmentos soltos, angulares e grosseiros resultante da desagregação granular de rochas cristalinas, especialmente rochas graníticas
<i>Saprock</i>	Rocha alterada que retém a trama (<i>fabric</i>) original, mas que se desagrega com as mãos em grãos individuais (isto é, que se desagrega em <i>grus</i>). Grãos minerais não são muito alterados quimicamente e o conteúdo de minerais de argila é mínimo.
Saprolito	Rocha altamente alterada que retém a trama original, mas a maioria dos minerais alteráveis são transformados para minerais de argila. É facilmente desagregado pelas mãos (é friável) e torna-se plástico quando úmido.
Solo	Corpo natural constituído por sólidos, gases e líquidos que ocorre na superfície e que têm horizontes distintos do material de origem, resultado dos processos de adição, perda, translocação e transformação. Tem a habilidade de suportar o crescimento de plantas em ambientes naturais.
Regolito	Todo material terroso incoerente acima da rocha dura, incluindo solo, saprolito, <i>saprock</i> , <i>loess</i> , colúvio, alúvio e outros sedimentos.
Horizonte R	Horizonte morfológico de solo caracterizado por rocha que é suficientemente coerente quando úmida, tornando a escavação impraticável manualmente. Não pode ser quebrado com as mãos.
Horizonte Cr	Horizonte morfológico do solo indicando rocha suficientemente alterada ou solta e que requer apenas pressão moderada para ser desagregada com as mãos
Material paralítico	Rocha parcialmente alterada ou fracamente consolidada que requer apenas força moderada para ser desagregada com as mãos. Raízes podem penetrar apenas nas fendas do material.
Contato lítico	Limite entre solo e rocha subjacente que é suficientemente coerente quando úmida para ser escavada manualmente. Fendas que são penetradas por raízes devem ser distantes a mais do que 10 centímetros

Fonte: traduzido a partir de Wald, Graham e Schoeneberger (2013)

Nota-se que estas definições apresentadas por Wald, Graham e Schoeneberger (2013) são por vezes confusas e se sobrepõem. A distinção apresentada entre rocha inalterada e rocha alterada é clara e não carece de discussões. Quanto às definições clássicas de solos e regolito também não há dúvidas. Mas quando se trata da zona de alteração saprolítica surgem algumas confusões e sobreposições que dificultam o uso sistemático e universal da informação a respeito desta porção regolítica. As definições dos termos “horizonte R” para designar

presença de rocha e “horizonte Cr” para designar saprolito apresentam problemas conceituais. Apesar destes corpos apresentarem disposição horizontal em inúmeras situações, não é razoável nominá-los de “horizonte morfológico do solo”, uma vez que os mesmos não foram submetidos a processos de pedogênese.

A definição de saprolito adotada por Wald, Graham e Schoeneberger (2013) utiliza critérios de resistência e plasticidade que excluem diversos estágios de intemperismo observados em mantos de alteração, tornando-a específica para apenas algumas situações, como aquelas que ocorrem em rochas graníticas e gnáissicas imediatamente abaixo do *solum*. Da mesma maneira a definição de saprolito apresentada por Canarache, Vintila e Munte Anu (2006), no *Elsevier's Dictionary of Soil Science*, apresenta critério de exceção relacionado a secagem do material que a torna confusa e excludente conforme segue:

“*Saprolite, alterite, saprolith* (english); *saprolithe* (francês); *saprolit* (alemão); *saprolito* (espanhol): é um material mineral solto, menos alterado do que o material considerado como solo, resultante do intemperismo (principalmente pela hidrólise *in situ*) de uma rocha sã e com perda de minerais, sem qualquer mudança em volume ou da estrutura original da rocha. O material alterado não se torna compacto com a secagem. O termo é frequentemente aplicado a rochas alteradas encontradas na porção inferior de perfis intempéricos, evidentes em climas quentes e úmidos, em que a hidrólise é intensa. (Canarache, Vintila e Munte Anu, 2006 –traduzido para o português)”.

O uso de mecanismos de resistência como rompimento com a mão ou dedo para a definição entre R e Cr é impreciso e inadequado para uma definição clara do que é um corpo saprolítico. Embora, o teste da pá de corte, preconizado por Soil Survey Staff (1993) e adotado por Pedron et al. (2009) para distinguir entre contato saprolítico e lítico, é considerado uma ferramenta muito prática e auxiliar para a descrição de saprolito, o seu uso deve ser adotado com cautela pois também utiliza puramente mecanismo de resistência para definição entre saprolito e rocha. Do ponto de vista da separação entre saprolitos de distintos graus de resistência à escavação, o teste da pá demonstrou-se adequado (Pedron et al, 2009; Pedron et al, 2010) para a distinção entre as camadas Cr e RCr. Assim, Pedron et al (2009) adotaram a notação camada “Cr” para designar saprolito que pode ser escavado com a pá reta, enquanto a notação “RCr ou CrR” foi utilizada para designar saprolito que não pode ser escavado com a pá, mas difere da rocha não intemperizada.

Provavelmente ao longo do tempo o termo saprolito, o qual possuía uma definição clara no passado, foi gradualmente substituído e adaptado a algumas situações particulares, na tentativa de classificar alguns materiais com maior significado para a Pedologia. No entanto, não há necessidade de modificação do conceito original, sendo que o uso de definição mais geral sobre saprolito é essencial para o desenvolvimento de um sistema de classificação que possa subdividir os variados tipos morfológicos. Este é um ponto crucial tanto para a

categorização independente do saprolito quanto para inserí-la na classificação de solos, particularmente daqueles mais rasos.

O nome saprolito foi proposto por (Becker em 1895 *apud* FINKL, 2008), em referência a rocha que foi decomposta *in situ*, ou seja, rocha que foi quimicamente alterada, mas permanece coerente e não alterada texturalmente.

Em termos gerais os horizontes encontrados em perfis regolíticos (solo+saprolito) podem ser divididos em macro porções morfológicas (Figura 2.2), conforme modelo adotado por Butt, Lintern e Anand (2000). O solo é caracterizado pela formação de minerais secundários e pela destruição da estrutura (*fabric*) original, sendo subdividido em horizontes de acordo com seu estágio de evolução pedogenética, designados pelas letras A, B e C. Já o saprolito, segundo Butt, Lintern e Anand (2000), é uma porção de rocha alterada na qual a estrutura original ainda se encontra preservada e apresenta proporção variável de minerais originais da rocha parental e minerais alterados,

Há também outras terminologias adotadas em estudos geológicos que contemplam a análise de perfis regolíticos como aquela utilizada por Modenesi-Gauttieri et al. (2011), muito semelhantes à conceituação preconizada por Butt, Lintern e Anand (2000). As subdivisões são realizadas levando-se em conta principalmente o estado de desagregação da rocha, a frequência de minerais alterados e a coloração em nível macroscópico (AZZONE; RUBERTI, 2010).

Figura 2.2 - Modelo geral de subdivisão para regolitos (BUTT; LINTERN; ANAND, 2000)

Geralmente esta camada (saprolito) é reconhecida como produto da alteração da rocha *in situ*, denominado comumente em descrições morfológicas pelas letras Cr ou CR, sendo pouco ou nada influenciado pela atividade biológica. Outras propostas designam o saprolito pela letra D (THOMAS, 1994), o que a princípio pode gerar maior clareza de comunicação e padronização para trabalhos de descrição. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), recomenda-se que o saprolito seja identificado mediante a seguinte definição:

“O termo saprólito refere-se a material resultante do intemperismo, mais ou menos intenso da rocha e que ainda mantém a estratificação original da mesma e pode apresentar qualquer dureza compatível com esta condição de rocha semi-alterada e consequentemente variados graus de limitação ao livre desenvolvimento do sistema radicular. O símbolo CR deverá ser usado no saprolito escavável com pá reta com dificuldade moderada....”(p.16)

Delvigne (1998) utilizou os termos alterita, aloterita e isoalterita para designar níveis de alteração localizados entre a rocha inalterada (R) e os horizontes de solo, conforme ilustrado na Figura 2.3. Alterita é um nome geral a respeito de materiais alterados, designado indistintamente pelas letras C, Cr, CR e RC, usado apenas para descrições de reduzido detalhe. Pode ser subdividido em aloterita ou isalterita. O termo aloterita, proveniente do vocábulo grego *alos* que significa diferente, é atribuído às zonas cuja microestrutura original, inerente ao material parental, não é facilmente perceptível a vista desarmada (DELVIGNE, 1998). Já o termo isalterita, derivado do vocábulo grego *isos*, significa igual ou similar, sendo usado para designar os níveis de alteração nos quais a trama (*fabric*) original e as relações espaciais entre minerais estão bem preservadas (DELVIGNE, 1998) em relação à rocha de origem. Neste último caso deve ser designado pelas letras CR e RC e obviamente pode ser tratado como sinônimo de saprolito, considerando sua definição clássica (BECKER em 1895 *apud* FINKL, 2008; DELVIGNE, 1998; EMBRAPA, 1999; BUTT; LINTERN; ANAND, 2000).

Deste modo, tanto as definições adotadas por Becker em 1895 (*apud* FINKL, 2008); Delvigne (1998); EMBRAPA (1999); Butt, Lintern e Anand (2000) e Modenesi-Gauttieri et al. (2011) convergem para um ponto comum e serão adotadas para a padronização do conceito de saprolito.

Figura 2.3 - Modelo geral de subdivisão para perfis de alteração (DELVIGNE, 1998)

1.4 Taxonomia de saprolito

As propriedades do saprolito são consideravelmente diferentes daquelas do solo, o que sugere, principalmente para propósitos de Engenharia, que solo e saprolito deveriam ser tratados como objetos distintos (STOLT; BAKER, 1994). Em alguns países, como nos Estados Unidos, já existe considerável volume de dados para a elaboração de uma classificação taxonômica do saprolito (BUOL, 1994), apesar de muitas dificuldades encontradas na compilação de dados (WALD; GRAHAM; SCHOENEGER, 2013). No Brasil as informações são escassas, encontram-se ainda mais dispersas e foram obtidas com metodologia e linguagem heterogêneas. Isto inviabiliza a aplicação de uma tentativa de classificação a partir de dados já coletados em levantamentos pedológicos e geológicos anteriores, como aqueles encontrados em levantamentos do Projeto RADAM (BRASIL, 1983). Mesmo em levantamentos de solos mais detalhados e recentes, na maioria das vezes, não se encontram informações mínimas a respeito dos saprolitos.

Algumas proposições para a classificação de saprolitos baseadas em graus de intemperismo (RUXTON; BERRY, 1957; GEOLOGICAL SOCIETY, 1990; PAIN et al., 1991) são apenas qualitativas e dão pouca indicação sobre mudanças mineralo-químicas que ocorrem ao longo do perfil, o que torna imprescindível a utilização de medidas mais rigorosas (EGGLETON; TAYLOR, 2001) para uma classificação detalhada. Sistema complexo para a classificação de saprolito independente da classificação de solos foi proposto por Buol (1994), utilizando a mesma lógica do *Soil Taxonomy*, inclusive na elaboração dos nomes das classes. No entanto, a definição de saprolito adotada por Buol (1994), utilizada exclusivamente para fins de classificação conforme destaca o próprio autor, contraria conceitos anteriores e dificulta a sua aplicabilidade para a ampla gama de materiais normalmente encontrada em perfis de alteração. Para Buol (1994) saprolito é: “material que possui resistência à compressão confinada menor do que 100 MPa e não é penetrado por raízes, exceto a intervalos maiores do que 10 cm, ou ocorre a profundidades maiores do que 200 cm abaixo da superfície do solo”.

Kew e Gilkes (2006) desenvolveram sistema de classificação para regolitos derivados da extração de bauxita baseados em aspectos como cor, textura, estrutura e conteúdo de fragmentos grossos. O sistema de classificação proposto por Buol (1994) para materiais regolíticos e saprolíticos mostrou-se inadequado segundo Kew & Gilkes (2006) porque na definição adotada por Buol (1994) promove-se a exclusão de materiais que apresentem resistência à compressão confinada maior do que 100 MPa. Segundo os autores, estes materiais regolíticos ocorrem no substrato após a extração de bauxita e exercem uma considerável influência no desenvolvimento de plantas e processos de recuperação. Deste modo, o critério de resistência utilizado por Buol (1994) parece não ser adequado a um sistema de classificação abrangente para saprolitos. Além disso, segundo Kew e Gilkes (2006), o sistema de Buol (1994) permite que os materiais sejam classificados em mais de um táxon e não gera informações diretamente relacionadas com práticas de reabilitação, como textura, estrutura e conteúdo de fragmentos grosseiros.

Portanto, para que se atinjam os preceitos para uma classificação funcional de saprolitos é necessário que se adotem definições básicas, bem como procedimentos mínimos para a sua descrição e que posteriormente possam ser utilizados para a sua categorização. Procedimentos analíticos específicos também devem ser desenvolvidos com o avanço dos estudos sobre saprolito para maior refinamento.

1.5 Evolução física-mineralógica em perfis de alteração

Como os saprolitos não são significativamente modificados pela pedogênese, eles oferecem condições ideais para se estudar o intemperismo dos minerais primários e a formação de minerais secundários usando-se combinações de técnicas mineralógicas e micromorfológicas (KRETZCHMAR et al., 1997).

Grande parte dos perfis de solo estudados por pedólogos geralmente não excede a poucos metros de profundidade, de modo que estes se constituem de apenas uma parte superficial de espessos mantos de intemperismo (DELVIGNE, 1998). As porções inferiores de perfis desenvolvidos em condições tropicais úmidas são descritas com pouco detalhe, no entanto, observações mais pormenorizadas mostram que os níveis mais profundos não são homogêneos e podem ser divididos em horizontes, camadas ou zonas. Estes por sua vez são caracterizados por importantes diferenças na trama, textura e composição mineralógica (DELVIGNE, 1998), as quais são provavelmente afetadas pelo ambiente de formação, particularmente condicionado pela profundidade e tempo de alteração.

A variabilidade dos saprolitos também é consideravelmente influenciada pelas condições climáticas dominantes. Não por acaso, o conjunto de processos de alteração das rochas é chamado de intemperismo, devido à grande influência que as intempéries exercem sobre este processo. Técnicas microscópicas têm sido usadas em estudos de saprolitos desenvolvidos a partir de vários tipos de rochas, tanto em regiões tropicais quanto subtropicais. Entretanto, grande parte destes estudos é direcionada à análise de alterações mineralógicas do que nas mudanças na disposição dos constituintes (ZAUZYAH; SCHAEFER; SIMAS, 2010). As feições micromorfológicas em perfis de saprolito são predominantemente resultado do intemperismo de minerais primários, e de processos como iluviação e neoformação, incluindo a acumulação de óxidos de Fe e filossilicatos em poros. Entretanto, também pode ocorrer pequena atividade de organismos geófagos em camadas mais superficiais, formando-se cavidades preenchidas com material desagregado. A formação de vazios (porosidade) é comum em saprolitos e pode ser inerente à estrutura das rochas, a qual é controlada tanto pela ação de forças mecânicas ou termais, quanto pelo acamamento ou xistosidade (ZAUZYAH; SCHAEFER; SIMAS, 2010). Estes poros podem aumentar em número e tamanho com o incremento do grau de intemperismo e podem ser preenchidos por produtos secundários, promovendo modificações expressivas no fluxo de soluções.

Através de estudos micromorfológicos e micromorfométricos é possível a identificação dos processos de alteração desenvolvidos a partir de minerais primários; bem como se podem

gerar dados concisos da sobre a natureza mineralógica e microtextural a respeito da rocha parental e dos materiais dela derivados como o solo e o saprolito. Estes estudos também permitem a análise do desenvolvimento de feições peculiares como porosidade, preenchimentos e estimativas sobre a extensão do intemperismo, evolução dos solos e do seu conteúdo de nutrientes presentes em minerais primários não alterados e em litorrelíquias (DELVIGNE, 1998). Estudos micromorfométricos da porosidade de saprolitos poderiam contribuir para o melhor entendimento do movimento da água e do estoque de nutrientes, no entanto, são praticamente inexistentes (ZAUZYAH; SCHAEFER; SIMAS, 2010). Destaca-se também que o melhor entendimento da trama dos saprolitos pode ser importante na predição dos deslizamentos de terra.

O entendimento dos processos de alteração envolvidos na transformação do saprolito em solo é importante para a compreensão da dinâmica de elementos (nutrientes ou não) e fluidos nesta zona de transição. Segundo Zauyah, Schaefer e Simas (2010) do ponto de vista micromorfológico e mineralógico, dois principais estágios de desenvolvimento do saprolito podem ser reconhecidos. No primeiro estágio, correspondente ao saprolito inferior (*lower saprolite* ou *saprock*), as feições morfológicas da rocha original são preservadas e a alteração física é o principal processo, resultando no desenvolvimento de microfraturas. Já o segundo estágio envolve ainda o desenvolvimento de microfraturas e progressivo ataque químico dos minerais ao longo das discontinuidades composicionais e microestruturais.

Nos processos gerais de formação do solo a transformação da rocha em material parental de solos é seguida pela diferenciação vertical dos materiais alterados em horizontes, processo chamado de pedogênese. No primeiro estágio, ocorre o intemperismo *in situ* da rocha, dando origem ao saprolito. Em uma segunda etapa ocorre a homogeneização ou destruição da trama do material parental através da transformação do saprolito em solo, num processo denominado de pedoplasmação ou pedogeneização (STOOPS; SCHAEFER, 2010). Apesar do termo “plasma” ter sido abandonado em micromorfologia, o termo pedoplasmação é ainda utilizado, denotando o desenvolvimento *in situ* de estrutura de solo em materiais inconsolidados, nos quais a trama original do saprolito ou sedimento não é mais reconhecível (STOOPS; SCHAEFER, 2010). O limite entre o saprolito e o material totalmente pedoplasmado (*pedoplasmated*) pode ser nítido ou gradual, sendo que a zona de pedoplasmação pode alcançar dezenas de centímetros ou metros em rochas faneríticas nos trópicos ou ser quase ausente em materiais afaníticos livres da presença de quartzo (STOOPS; SCHAEFER, 2010). Este processo é melhor avaliado através da comparação de sequências de seção fina, que vão do saprolito até os horizontes superiores, sendo que o mesmo ocorre não

apenas no limite superior do saprolito mas também ao longo de diáclases, sendo reconhecido por mudanças em várias feições micromorfológicas.

1.6 Geoquímica em perfis de alteração

Uma importante função atribuída ao saprolito é a liberação de nutrientes às plantas. O intemperismo de minerais micáceos, por exemplo, os quais estão presentes em grandes quantidades em rochas xistosas, pode liberar nutrientes como K, Mg, Zn e Mn (KRETZSCHMAR et al., 1997). Sob condições naturais em solos e saprolitos, a alteração desses minerais resulta em diferentes produtos, dependendo do ambiente geoquímico particular.

Índices de intemperismo, conforme apontado por Price e Velbel (2003), são aplicados para variadas finalidades de análise tais como: avaliação da fertilidade e desenvolvimento do solo, impacto do clima no processo de alteração, quantificação de propriedades mecânicas de materiais regolíticos e estudos de mobilidade química de elementos de interesse. Segundo Price e Velbel (2003), índices de intemperismo que utilizam elementos com maior mobilidade durante os processos de alteração, tais como elementos álcali e alcalinos, são eficientes para quantificar os efeitos do intemperismo químico em relação à rocha inalterada e mais apropriados para serem aplicados em materiais residuais heterogêneos. O WIP (*weathering index of Parker*) foi preconizado por Price e Velbel (2003) como o índice de intemperismo mais adequado para a análise de regolitos de alta heterogeneidade e foi aplicado com êxito por Schucknecht et al (2012) para análise do grau de intemperismo em solos do Nordeste no Brasil.

Brimhall e Dietrich (1987) dividem o comportamento de elementos químicos em três categorias básicas: residuais, supérgeos e móveis. Elementos residuais são aqueles que não são mobilizados durante processos de intemperismo, acumulando-se residualmente em virtude da remoção de outras espécies químicas. Em contrapartida, elementos supérgeos são aqueles removidos localmente da região de depleção ou lixiviação, mas que se acumulam abaixo por precipitação em zonas de enriquecimento. Já elementos móveis são aqueles lixiviados do sistema químico de interesse, sem que haja reprecipitação no perfil de intemperismo. Entretanto, Brimhall e Dietrich (1987) demonstraram que a identificação do comportamento padrão dos elementos nessas três categorias é função não apenas das suas respectivas concentrações químicas ao longo de uma frente de intemperismo, mas de outras variáveis geofísicas tais como profundidade, densidade e porosidade. Demonstraram também que a

deformação (*strain*), uma propriedade mecânica indicativa do colapso ou expansão do material alterado, pode ser inferida a partir de dados geoquímicos (concentração de elementos imóveis) e geofísicos (densidade).

Perfis de intemperismo desenvolvidos a partir de rochas metamórficas heterogêneas também são heterogêneos, o que leva a maior complexidade para a interpretação dos padrões a respeito da movimentação dos elementos principais ao longo de uma frente intempérica vertical (PRICE; VELBEL, 2003). Sob estas circunstâncias as diferenças geoquímicas em amostras do regolito podem simplesmente refletir a variação na composição química e mineralógica da rocha parental do que propriamente no grau de alteração intempérica.

Referências

- ARKLEY, R.J. Soil moisture use by mixed conifer forest in a summer-dry climate. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 45, p. 423-427, 1981.
- AZZONE, R.G.; RUBERTI, E. Evolução composicional dos filossilicatos no perfil intempérico do complexo ultramáfico alcalino-carbonatítico de Catalão I (GO). **Revista Instituto de Geociências USP**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 23-43, 2010.
- BÉTARD, F.; CANER, L.; GUNNELL, Y.; BOURGEON, G. Illite neoformation in plagioclase during weathering: evidence from semi-arid Northeast Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, p. 53-62, 2009.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 975 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Folhas SF23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983. 780 p.
- BRIMHALL, G.H.; DIETRICH, W.E. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. **Geochemica et Cosmochimica Acta**, Saint Louis, v. 51, p. 567-587, 1987.
- BUOL, S.W. Saprolite – regolith taxonomy: an approximation. In: CREMEENS, D.L.; BROWN, R.B.; HUDDLESTON, J.H. **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 119-132.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J.; Southard, R.J. **Soil genesis and classification**. 4th ed. Ames: Iowa State University, 1997. 527 p.
- BUTT, C.R.M.; LINTERN, M.J.; ANAND, R.R. Evolution of regoliths and landscape in deeply weathered terrain-implications for geochemical exploration. **Ore Geology Reviews**, Amsterdam, v. 16, p. 167-183, 2000.

CANARACHE, A.; VINTILA, I.; MUNTE ANU, I. **Elsevier's dictionary of soil science**: in English (with definition), French, German and Spanish. Amsterdam: Elsevier, 2006. 1339 p.

CARDOSO, F.B.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, J.C. **A influência da mineralogia na evolução micromorfológica do colapso em saprólito e Latossolo**. Planaltina: EMBRAPA, 2002. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 67).

DIAS, H.C.T.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; OLIVEIRA, A.P.; MICHEL, R.F.M.; LEMOS JÚNIOR, J. B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 469-481, 2003.

DELVIGNE, J.E. **Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering**. Ottawa: Mineralogical Association of Canada. 1998. 494 p.

EGGLETON, R.A.; TAYLOR, G. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester: Wiley, 2001. 392 p.

EHLEN, J. Above the weathering front: contrasting approaches to the study and classification of weathered mantle. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 67, p. 7-21, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3^a ed., Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 396 p.

FANNING, D.S.; KERAMIDAS, V.Z. Micas. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: SSA, 1989. p. 551-634.

FINKL, C.H. Saprolite, regolith and soil. In: CHESWORTH, W. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. Amsterdam: Springer, 2008. p. 614-621.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1979. 604 p.

GEOLOGICAL SOCIETY. Tropical residual soils. **Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrology**, London, v. 23, p. 1-101, 1990.

GRAHAM, R.C.; TICE, K.R.; GUERTAL, W.R. The pedologic nature of weathered rock. In: CREMEENS, D.L.; BROWN, R.B.; HUDDLESTON, H. (Ed.). **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 22-40.

JARDINE, P.M.; JACOBS, G.K.; WILSON, G.V. Unsaturated transport processes in undisturbed heterogeneous porous media: I. Inorganic contaminants. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 57, p. 945-953, 1993.

JOHNSTON, C.; TOMBÁČZ, E. Surface chemistry of soil minerals. In: DIXON, J.B.; SCHULZE, D.G. (Ed.). **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 37-67.

KEW, G.; GILKES, R. Classification, strength and water retention characteristics of lateritic regolith. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, p. 184-198, 2006.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W. P.; AMOOZEGAR, A.; VEPRASKAS, M. J. Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite gneiss. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, p. 155-170, 1997.

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. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

MAFRA, J.M.Q.; MORI, R.T. Saprolitos compactados na construção de barragens de terra e enrocamento: o caso da barragem do Sossego. In: Seminário nacional de grandes barragens, 25, 2003. **Anais...** Salvador: Comitê Brasileiro de Barragens, 2003. p.1-18.

MCCARTHY, J. F.; MCKAY, L. D.; BRUNER, D. D. Influence of ionic strength and cation charge on transport of colloidal particles in fractured shale saprolite. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 36, p. 3735-3743, 2002.

MCCOY, E.L.; BOAST, C.W.; STEHOUWER, R.C.; KLADIVKO, E.J. Macropore hydraulics: taking a sledgehammer to classical theory. In: LAL, R.; STEWART, B.A. **Soil processes and water quality**. Boca Raton: CRC Publ., 1994. p. 303-347.

MCKAY, L.D.; HARTON, A.D.; WILSON, G.V. Influence of flow rate on transport of bacteriophage in shale saprolite. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 1095-1105, 2002.

MCKAY, L.D.; DRIESE, S.G.; SMITH, K.H.; VEPRASKAS, M.J. Hydrogeology and pedology of saprolite formed from sedimentary rock, eastern Tennessee, USA. **Geoderma**, Amsterdam, v. 126, p. 27-45, 2005.

MELO, V.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 159-164, 1995.

MODENESI-GAUTIERI, M.C.; TOLEDO, M.C.M.; HIRUMA, S.T.; TAIOLI, F.; SHIMADA, H. Deep weathering and landscape evolution in a tropical plateau. **Catena**, Amsterdam, v. 85, p. 221-230, 2011.

MORAIS, F.; BACELLAR, L.A.P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1055-1062, 2004.

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

OLIVEIRA, J.B. de. Classificação de solos e seu emprego agrícola e não agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. p. 17-20.

OLIVEIRA, L.B.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, M.R.; KER, J.C. Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no Semi-árido Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2407-2423, 2008.

ORVEDAL, A. C. The 7th approximation: its application in engineering. **Soil Science American Journal**, Madison, p. 62-67, 1963.

PAIN, C.; CHAN, R.; CRAIG, M.; HAZELL, M.; KAMPRAD, J.; WILLFORD, J. **RTMAP: BMR Regolith Database Field Handbook**. Canberra: Bureau of Mineral Resources, 1991. 125 p.

PEDRON, F.A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprólitos e neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**. 2007. 160 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; STÜRMER, S. L. K.; MENEZES, F. P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 119-128, 2009.

PEDRON, F. A.; FINK, J. R.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1941-1950, 2010.

PRICE, J.R.; VELBEL, M.A. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 202, p. 397-416, 2003.

RUXTON, B.P.; BERRY, L. Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. **Bulletin of Geological Society of America**, Washington, v. 68, p. 1263-1291, 1957.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SCHUCKNECHT, A.; MATSCHULLAT, J.; CARITAT, P.; SILVA, J.; MELO JÚNIOR, G.; PLEBOW, A.; MELLO, J.W.V. Pedogeochemistry in NE-Brazil – compared to Australia and Europe. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 438, p. 342-356, 2012.

SIMONSON, R.W. **Non-agricultural applications of soil survey**. Amsterdam: Elsevier, 1974. 178 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: Government Printing Office, 1993. 437 p.

STERNBERG, P.D.; ANDERSON, M.A.; GRAHAM, R.C.; BEYERS, J.L.; TICE, K.R. Root distribution and seasonal water status in weathered granitic bedrock under chaparral. **Geoderma**, Amsterdam, v. 72, p. 89-98, 1996.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C. Strategies for studying saprolite and saprolite genesis. In: CREMEENS, D.L.; BROWN, R.B.; HUDDLESTON, H. (Ed). **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 1-19.

STONE, E.L.; COMERFORD, N.B. Plant and animal activity below the solum. In: CREMEENS, D.L.; BROWN, R.B.; HUDDLESTON, H. (Ed). **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 57-74.

STOOPS, G.; SCHAEFER, C.E.G.R. Pedoplasation: formation of soil material. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Ed.). **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 69-79.

THIBODEAUX, L.J. **Environmental Chemodynamics**. New York: John Wiley, 1996. 593 p.

THOMAS, M.F. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denudation in low latitudes. London: John Wiley, 1994. 482 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy**: a base system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. Washington, 1999. 871 p.

VEPRASKAS, M. J.; JONGMANS, A. G.; HOOVER, M. T.; BOUMA, J. Hydraulic conductivity of saprolite as determined by channels and porous groundmass. **Soil Science Society American Journal**, Madison, hchv. 55, p. 932-938, 1991.

VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R.; CARVALHO, S. G.; SILVA, A. C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no Sudoeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 523-541, 2006.

ZAUYAH, S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. Saprolites. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Ed.). **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 49-68.

WALD, J.A.; GRAHAM, R.C.; SCHOENEBERGER, P.J. Distribution and properties of soft weathered bedrock at < 1 m depth in the contiguous United States. **Earth Surfaces Processes and Landforms**. Hoboken, v. 38, p. 614-626, 2013.

2 MORFOLOGIA DE SAPROLITOS DERIVADOS DE ROCHAS METAMÓRFICAS E SEDIMENTARES NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

Resumo

O saprolito se diferencia do solo pelo predomínio de mecanismos de alteração geoquímicos e mineralógicos sobre os processos de agregação, o que é evidenciado pela preservação em diferentes extensões de feições litoestruturais. Uma revisão de literatura revela problemas existentes na terminologia usada por pedólogos, geólogos e engenheiros para descrever solo, saprolito e rocha alterada. O objetivo fundamental das descrições morfológicas, adotadas tanto pela Geologia quanto pela Pedologia, consiste na estratificação de perfis em horizontes ou camadas relativamente homogêneas para a orientação de técnicas de amostragem, planejamento de uso e fins de classificação. Neste sentido o objetivo desta investigação foi a descrição de saprolitos desenvolvidos a partir de litologias metamórficas e sedimentares na região Sudeste do Brasil. Especificamente pretendeu-se elaborar procedimentos para a descrição morfológica *in situ*. Deste modo, foram avaliados 15 perfis contendo solo e saprolito, os quais foram descritos a partir da combinação de técnicas utilizadas para solos e rochas, juntamente com proposições adaptadas à variabilidade morfológica estrutural encontrada. A variabilidade morfológica dos saprolitos avaliados foi condicionada basicamente pela filiação parental e pela profundidade de ocorrência. Saprolitos derivados de xistos apresentaram morfologia mais complexa, o que provavelmente é resultado da distribuição heterogênea de minerais nestas rochas. Pode-se dividir os saprolitos em 4 tipos estruturais principais: terrosos, fragmentados, fraturados e contínuos.

Palavras-chave: terminologia, tipos estruturais, filiação parental

Abstract

The saprolite is distinguished of the soil by the predominance of geochemical and mineralogical alteration upon the aggregation processes, as evidenced by preservation of lithostructural features. A literature review reveals problems in the terminology used by soil scientists, geologists and engineers to describe soil, saprolite and weathered rock. The fundamental objective of morphological descriptions, adopted by both Geology and Pedology, is the stratification profiles in relatively homogeneous horizons or layers to the guidance of sampling techniques, use planning and classification purposes. In this sense the objective of this research was the description of saprolites developed from metamorphic and sedimentary lithologies in southeastern Brazil. Specifically the aim was to develop standard procedures for the morphological description. Thus, 15 profiles containing soil and saprolite were evaluated, which were described from the combination of techniques used for soils and rocks, as well as the propositions adapted to the morphological structural variability found. The morphological variability of the evaluated saprolite was conditioned primarily by parental affiliation and depth of occurrence. Saprolites derived of schists presented more complex morphology, which is probably a result of the heterogeneous distribution of minerals in these rocks. The structural morphology of saprolites can be divided into 4 main structural types: earthy, fragmented, fractured and continuous.

Keywords: terminology; structural types, parental affiliation

2.1 Introdução

O saprolito se diferencia do solo pelo predomínio de mecanismos de alteração geoquímicos sobre os biogeoquímicos (CALVERT; BUOL; WEED, 1980). Também predomina na zona saprolítica o fluxo hidrológico através de macroporos (DRIESE; MCCAY; PENFIELD, 2001; O'BRIEN; BUOL, 1984), ausência ou pequena atividade biológica, início da formação de minerais secundários e preservação da estrutura da rocha. Estas diferenças resultam em funções ambientais e utilização geotécnica específicas para este material. Portanto, necessita-se de uma abordagem própria para sua descrição morfológica, caracterização analítica, interpretação e classificação.

Aspectos morfológicos de saprolitos, como profundidade, textura, fraturamento, proporção de material terroso, porosidade e transição com a rocha são essenciais para a realização de práticas para previsão de desastres e planejamento de uso da terra. A susceptibilidade à erosão, por exemplo, dos saprolitos derivados de algumas rochas pode ser maior do que aquela observada em horizontes mais superficiais do solo, o que leva a formação das voçorocas quando o processo erosivo atinge esta camada (MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA, 2004). Apesar do saprolito ser considerado de modo geral, zona de reduzida atividade biológica, em algumas situações pode apresentar relevância para a sustentação de florestas naturais e plantadas como ambiente para o crescimento de raízes. É reconhecido, por exemplo, que alguns tipos morfológicos, particularmente situados em regiões montanhosas e a pequenas profundidades (1 ou 2 metros), são mais permeáveis e podem constituir importante fonte e reserva de água e nutrientes.

O desenvolvimento de sistema taxonômico para ordenar os variados tipos de saprolito depende em grande parte da prospecção de materiais diversos, elaboração de procedimentos padronizados para sua descrição morfológica *in situ*, bem como pela realização de coletas e análises laboratoriais específicas. Não há uma terminologia consistente e um método específico para caracterizar saprolitos (MACHADO, 1997). Da mesma forma há uma grande dificuldade de definir e identificar o saprolito e, por conseguinte, a nomenclatura a seu respeito é bastante heterogênea (AZEVEDO; VIDAL-TORRADO, 2006). Uma revisão de literatura revela problemas existentes na terminologia usada por pedólogos, geólogos e engenheiros para descrever solo, saprolito e rocha alterada (WALD; GRAHAM; SCHOENEGER, 2013). Terminologias apropriadas e descrições sistemáticas para os saprolitos também formarão a base para a categorização detalhada da taxonomia de solos

rasos (PEDRON et al, 2009) o que proporcionará maior nível de detalhamento e interpretação ambiental para coberturas pedológicas pouco espessas.

Neste sentido os objetivos desta investigação foram a descrição de saprolitos desenvolvidos a partir de litologias metamórficas e sedimentares na região Sudeste do Brasil e a padronização de procedimentos para a descrição morfológica *in situ*.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Terminologia adotada

A seguir são apresentadas definições adotadas para a padronização de termos e metodologia de descrição. Destaca-se que termos referentes a solos foram obtidos a partir da literatura pedológica, enquanto definições a respeito de saprolitos e rochas a partir da literatura geológica. Adotou-se tal procedimento, uma vez que tais ramos técnico-científicos possuem definições mais claras a respeito destes temas, respectivamente.

Solo: “o solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas” (EMBRAPA, 2013)

Saprolito: é uma porção de rocha alterada na qual a trama original ainda se encontra preservada, apresentando proporção variável de minerais originais da rocha parental e minerais alterados (BUTT; LINTERN; ANAND, 2000), resultantes da ação do intemperismo químico e físico. Horizontes, camadas ou zonas saprolíticas serão sempre tratados pelas letras Cr ou RCr, de acordo com o grau de resistência a escavação, similar ao adotado por Pedron et al (2009) e Pedron et al (2010).

Horizonte C: é um horizonte mineral, em estado avançado de desagregação, seja formado por processos de intemperismo *in situ* ou por sedimentação, em que a pedogênese ainda é incipiente. O horizonte C representa um estágio intermediário entre solo e rocha ou solo e saprolito, mas com características de solo, tal como a possibilidade de crescimento de raízes e porosidade bem distribuída no material como um todo.

Zona saprolítica: o termo foi utilizado alternativamente ao termo horizonte ou camada por ser mais adequado para se referir aos materiais saprolíticos, uma vez que determinados

tipos de saprolitos podem não apresentar continuidade e disposição horizontal (KEW; GILKES, 2006).

2.2.2 Descrição do meio físico amostral

2.2.2.1 Localização, climatologia, geomorfologia e vegetação

Para atingir os objetivos da investigação foram avaliados 15 perfis de solo-saprolito-rocha distribuídos nos estados de Minas Gerais e São Paulo (Figura 2.1), sendo 9 derivados a partir de formações geológicas metamórficas na região de Passos MG e 6 derivados a partir de formações geológicas sedimentares na região de Piracicaba SP (Quadro 2.1). Foram selecionadas variáveis litológicas como composição mineralógica e geoquímica, textura, compacidade e agente cimentante; que possivelmente interfiram no processo de evolução intempérica (Quadro 2.1). As áreas para a amostragem foram localizadas a partir da análise de mapas geológicos (BRASIL, 1983). Após tal procedimento foi realizada expedição para descrição e coleta dos materiais.

Estes perfis estavam localizados em área sob predomínio de clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014) (Figura 2.2). Entretanto, variações na pluviosidade entre a região de Passos MG (1600 a 1900 mm) e a região de Piracicaba SP (1300 a 1600 mm) (ALVARES et al., 2014), associadas a cotas altimétricas mais elevadas na região de Passos MG podem provocar o aparecimento do tipo climático Cwb, subtropical úmido com inverno seco e verão temperado (Figura 2.3). Enquanto na região de Passos MG a pluviosidade varia de 1600 a 1900 mm, na região de Piracicaba SP se situa entre 1300 a 1600 mm.

A região de Passos MG está localizada no setor Sul dos Patamares da Canastra, unidade pertencente a Unidade Geomorfológica dos Planaltos da Canastra (Figura 2.4). Este setor é caracterizado por uma área rebaixada, compreendida entre as cotas altimétricas de 750 a 600 m, em que foi instalado o Complexo Hidrelétrico de Furnas no Rio Grande (BRASIL, 1983). Sobre os filitos e micaxistos dos Patamares da Canastra (sul), o relevo predominante é constituído por amplas colinas de topos aplainados e vertentes convexas e rampeadas, em fase incipiente de dissecação (BRASIL, 1983). Essas formações são revestidas por solos de textura argilosa ou argilo-arenosa, desde aqueles mais rasos como os Cambissolos até os mais profundos como Latossolos e Argissolos. Em menor extensão, nas proximidades das cidades de Passos MG e Itaú de Minas MG ocorrem relevos mais dissecados com vertentes de

maiores declividades, na borda das encostas dos Planaltos do Alto Rio Grande (BRASIL, 1983), caracterizados pelo contato com litologias distintas, principalmente gnaissicas.

Figura 2.1: Localização dos pontos de amostragem no mapa geológico de parte dos Estados de Minas Gerais e São Paulo (BRASIL, 1983).

Rochas	Litotipo	Formação/Variação	Localidade	Perfil
Grupo 1: Metamórficas	1.1-Xistos	Araxá/xisto feldspático	SJB Glória MG	P1
		Canastra/clorita-xisto	Capitólio MG	P2
		Canastra/muscovita xisto	SJB Glória MG	P3
		Araxá/xisto granatífero	Passos MG	P4
		Fort. Minas/tremolita xisto	Pratápolis MG	P5
		Fort. Minas/talco xisto	Passos MG	P6
	1.2-Gnaisses	Araxá/gn melanocrático	Passos MG	P7
		C. Gerais/gn leucocrático	Itaú de Minas MG	P8
		C. Gerais/gn mesocrático	Passos MG	P9
Grupo 2: Sedimentares	2.1-Arenitos	Pirambóia/síltico argiloso	Piracicaba SP	P10
		Botucatu/silicático	Anhembi SP	P11
		Tatuí/lamítico	Piracicaba SP	P12
	2.2-Siltitos	Tatuí/esverdeado	Piracicaba SP	P13
		Corumbataí/roxo	Piracicaba SP	P14
		Itararé/amarelo	Capivari SP	P15

Quadro 2.1 - Variáveis litológicas e localidades de amostragem

Figura 2.2: Classificação climática do Brasil segundo Köppen (1936) com detalhe da região em estudo (ALVARES et al., 2014)

Figura 2.3: Distribuição mensal da precipitação e temperatura nos clima Cwa e Cwb (ALVARES et al., 2014)

Figura 2.4: Região geomorfológica dos Planaltos da Canastra e Complexo Hidrelétrico de Furnas (BRASIL, 2007)

Coincidentemente as regiões tanto de Passos MG quanto Piracicaba SP representam áreas de tensão ecológica em que coexistem vegetações de Cerrado e Floresta Estacional (BRASIL, 1983). A existência de solos mais rasos e de alta fertilidade na região de Passos MG condiciona o aparecimento da fisionomia Floresta Estacional, caracterizada pela predominância de espécies como *Myracrodruon urundeuva* (aroeira) e *Anadenanthera colubrina* (angico) (FAGUNDES et al., 2007).

2.2.2.2 Geologia

2.2.2.2.1 Grupo 1: Rochas metamórficas

2.2.2.2.1.1 Xistos dos Grupos Canastra e Araxá

Os perfis de alteração derivados de rochas metamórficas xistosas foram amostrados na área da Folha Alpinópolis, situada a sudoeste do Estado de Minas Gerais. Esta área é drenada pela bacia do Rio Grande e sob a mesma está instalada a Usina Hidrelétrica de Furnas, um dos maiores reservatórios artificiais de água do mundo com 1468 km² de área inundada (BRASIL, 2007). Esta região pertence ao Domínio Morfoestrutural dos Remanescentes das Cadeias Dobradas, subdivididas na Região dos Planaltos da Serra da Canastra e Região dos Planaltos do Rio Grande (BRASIL, 2007)

A Região dos Planaltos da Canastra é caracterizada por um modelado de estruturas falhadas e dobradas ao longo de sucessivos ciclos de erosão, marcados fortemente pelas condicionantes geológicas, como se observam pelos extensos alinhamentos de cristas e de vales. Ciclos erosivos ocorrentes durante o Mesozóico e Cenozóico esculpiram duas superfícies de aplainamento, sendo uma mais alta a oeste (Sul-americana), com altitudes em torno de 1000 a 1400 metros e outra mais rebaixada, com topos e colinas de 700 a 900 metros (Superfície Neogênica ou Velhas). Além da forte imposição das características geológicas locais, o relevo da área é condicionado pelo processo de soerguimento do Alto Paranaíba (Cretáceo), principal mecanismo de individualização das bacias do Paraná e São Francisco (BRASIL, 2007).

O arcabouço litológico da Folha Alpinópolis (SF 23-V-B-V) é constituído por rochas pré-cambrianas metamorfizadas e deformadas durante o Neoproterozóico. Em menor grau ocorrem raros diques de diabásios e intrusões kimberlíticas do Cretáceo, relacionadas às reativações mesozóicas (BRASIL, 2007). No compartimento de colinas e morros embutidos, situado na Superfície Neogênica, a litologia predominante é composta por rochas xistosas do Grupo Araxá. Na região da represa de Furnas, ocorre a individualização da Nappe de Passos, caracterizada pela estrutura sinformal, que atravessa a cidade de mesmo nome. Na seção tipo Alpinópolis apresentam-se os seguintes litotipos da base ao topo: talco-clorita-xisto; metagrauvaca clorítica com lentes de calcário magnesiano; quartzitos finamente laminados; granada muscovita biotita xistos; gnaisses e granada gnaisses transicionais aos xistos, que ocorrem entre Passos e Furnas (BRASIL, 2007).

A Nappe de Passos é constituída por metassedimentos do Grupo Araxá em médio e alto grau metamórfico com intensa deformação dúctil, variando da fácies xisto verde (zona da biotita) na base a anfibolito (zona da cianita) no topo. O conjunto exhibe uma sucessão litológica persistente em que sedimentação mais plataformar, com espessos quartzitos, é sucedida por uma predominância de micaxistos metapelíticos, de origem marinha mais profunda (BRASIL, 2007).

Os muscovita quartzo xistos que ocorrem na região de Passos MG apresentam grau variável de quartzo, coloração típica cinza prateada e xistosidade anastomosada. Estes micaxistos foram atribuídos a Formação Guapé (Grupo Canastra), sendo caracterizados por possuir granulação fina, estrutura nitidamente xistosa e constituição principal de filossilicatos e quartzo. Microscopicamente se apresentam equigranulares finos, com textura dominante granolepidoblástica. Os componentes principais são o quartzo, muscovita ou sericita, clorita, com feldspato varietal. O quartzo mostra-se equigranular fino, de formato anedral constituindo um mosaico com os outros minerais. Este também forma acumulações em faixas delgadas, com espessura irregular ou formando acumulações lenticulares. As micas formam faixas de espessuras variáveis, exibindo-se microdobradas com desenvolvimento de clivagem de fratura (BRASIL, 1983).

Os micaxistos da Formação Guapé passam a calcoxistos pela presença de carbonato como um dos componentes essenciais. O carbonato aparece em manchas de granulação média, xenomórfico, associado preferencialmente ao mosaico quartzoso, ou ocorre com granulação fina disseminado entre os grãos de quartzo. Os calcoxistos, além do carbonato, contém sericita ou muscovita dominante sobre a clorita e, ainda, quartzo como constituinte essencial. Subordinadamente alguns exemplares contém plagioclásio. Ao microscópio exibem textura granoblástica, composta por carbonato, sericita, clorita, quartzo e pirita. Os carbonatos desta rocha apresentam-se em cristais finos estirados, acompanhando a laminação da rocha (BRASIL, 1983).

Na Folha Alpinópolis ocorre o litotipo biotita xisto feldspático com lentículas de quartzo, ricos em plagioclásio e epídoto, com clivagem tipicamente anastomosada (BRASIL, 2007), atribuída ao Grupo Araxá. São comuns também as ocorrências dos quartzo-muscovita-biotita xistos granatíferos, atribuídos a Formação Desemboque do Grupo Canastra (BRASIL, 1983), os quais exibem granulação mais desenvolvida, chegando a média. A granada forma porfiroblastos ovalados muito fraturados, contendo em seu interior quartzo, muscovita, biotita e titanita.

2.2.2.2.1.2 Xistos do Grupo Fortaleza de Minas

Incluso nos gnaisses do Complexo Campos Gerais está o Grupo Fortaleza de Minas, que corresponde a uma seqüência *greenstone belt* afetada pela deformação desta faixa. O Grupo Fortaleza de Minas compreende rochas metabásicas, metaultrabásicas komatiíticas, serpentinitos, metacherts e itabiritos. Na coluna estratigráfica as rochas deste grupo são consideradas Arqueanas, como é típico para seqüências vulcanogênicas do tipo *Greenstone Belt*. Está situado na porção noroeste da Folha SF32 (Folha Rio de Janeiro), a sul da cidade de Passos MG. Constitui-se de duas faixas orientadas na direção noroeste, com cerca de 60 km de extensão por 2 a 3 km de largura. Os clorita-tremolita xistos e os tremolita-xistos presentes neste Grupo exibem coloração verde-claro, com estrutura xistosa. Já os talco-carbonato-xistos (esteatitos) mostram coloração cinza com pontuações amarelas de carbonato, constituindo-se microscopicamente de talco, magnetita, carbonato e clorita (BRASIL, 1983).

2.2.2.2.1.3 Gnaisses do Complexo Campos Gerais

O Complexo Campos Gerais é constituído por um conjunto litológico retrabalhado tectonicamente em sucessivos ciclos de dinamismo crustal. É composto por rochas dos tipos milonito-gnaisses, filonitos, granitóides cataclasados, metabasitos e calcossilicatadas. As rochas miloníticas e gnáissicas quartzo-feldspáticas deste Complexo frequentemente apresentam corpos anfibolíticos e ultramáficos. Se estende desde o norte do município de Alfenas-MG até as cercanias de São Sebastião do Paraíso-MG e proximidades de Lavras MG. Estratigraficamente foi datado em torno de 1650 MA (milhões de anos), porém, parecem pertencer a rochas arqueanas, que sofreram tectonismo no Ciclo Tranzamazônico (BRASIL, 1983).

2.2.2.2.2 Grupo 2: Rochas sedimentares

A formação Tatuí (Grupo Tubarão) é predominantemente constituída de siltitos, mas subordinadamente ocorrem camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex (IPT, 1981). No conjunto, representa sedimentação muito uniforme, que contrasta com a heterogeneidade característica da Formação Itararé (IPT, 1981). O membro superior da Formação Tatuí é de natureza siltica apresentando cores cinza-esverdeada, amarelo-esverdeado e verde, sendo freqüentes as intercalações de arenito fino, maciço com pequenas concreções calcárias (IPT,

1981). Seu ambiente de formação está relacionado ao de bacia aquosa de baixa energia, possivelmente marinha, a se julgar pela presença de glauconita e pelas características litológicas (IPT, 1981).

A Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois) em sua parte inferior apresenta siltitos, argilitos e folhelhos cinzentos a roxo acinzentado nos afloramentos, alguns com cimentação calcária (IPT, 1981).

A formação Itararé (Grupo Tubarão) em São Paulo apresenta-se como uma complexa associação de variadas litofácies, quase todas detríticas. Embora constituída quase inteiramente por sedimentos clásticos, localmente podem ocorrer camadas delgadas de carvão e calcário na formação. As litologias predominantes no estado de São Paulo são arenitos de granulação heterogênea, mineralogicamente imaturos, passando a arenitos feldspáticos e mesmo a arcóseos. Por suas características e associações litológicas são de várias origens: fluviais, marinhos, lacustres, praianos, deltáicos, etc. (IPT, 1981).

Litologicamente a Formação Pirambóia (Grupo São Bento) é constituída por pequenas variações de arenito fino a médio, geralmente com boa seleção e arredondamento, com estratos plano-paralelos horizontais e cruzados de médio a grande porte (IPT, 1981). Caracteriza-se por uma sucessão de camadas arenosas nas cores rosa, cinza, marrom-clara e avermelhado (BRASIL, 1983). Esta formação possui espessura bastante irregular e maior proporção de fração argilosa na parte inferior do que na superior quando os arenitos apresentam estratificação cruzada (IPT, 1981).

A Formação Botucatu, na Depressão Periférica Paulista, recobre a Formação Pirambóia. Nesta formação são comuns os arenitos com sedimentação eólica e contribuição secundária de sedimentação fluvial e/ou lacustre (IPT, 1981). A Formação Botucatu constitui-se inteiramente de arenitos de granulação fina a média, uniforme, com boa seleção de grãos foscos de alta esfericidade, sendo que a ausência de matriz é comum (IPT, 1981). São avermelhados e exibem estratificação plana cruzada e tangencial de médio a grande porte, característica de dunas caminhanter (IPT, 1981). Essa formação juntamente com a Formação Pirambóia tem grande importância pela sua abrangência territorial e por conter o maior reservatório de água potável disponível do Brasil, denominado Aquífero Guarani.

2.2.3 Procedimentos gerais de descrição

A descrição do saprolito foi realizada considerando alguns atributos básicos comuns para a descrição de solos e rochas, uma vez que sua morfologia e constituição são marcadas tanto pelas características da rocha parental quanto por alguns dos atributos típicos de solos. De acordo com a morfologia encontrada foi proposta a descrição da estrutura primária, ao se referir a feições estruturais herdadas da rocha de origem (Tabela 2.2) e da estrutura secundária ao se referir ao modo de quebra ou desagregação dos fragmentos saprolíticos ao se proceder à escavação conforme definido no Quadro 2.3.

Os procedimentos utilizados para a descrição das camadas de saprolíticas foram:

- 1- estimou-se a quantidade volumétrica de material pedológico (ou desagregado, TFSA) visualmente em relação ao material saprolítico;
- 2- descreveu-se o material desagregado, quando este se apresentou em quantidade superior a 10% do volume do saprolito, como em descrições convencionais de solo (SANTOS et al., 2005);
- 3- denominou-se a estrutura litológica primária da zona saprolítica (Tabela 2.2);
- 4- descreveu-se a estrutura secundária, correspondente à quebra e disposição dos fragmentos saprolíticos durante a escavação (Quadro 2.3).
- 5- determinou-se a cor do material pedológico (ou desagregado) e dos fragmentos saprolíticos com a carta de Munsell;
- 6- avaliou-se a consistência de ambos materiais quando úmido e do material desagregado quando seco adotando-se as classes utilizadas por Santos et al. (2005), bem como a consistência quando seca de fragmentos saprolíticos conforme as definições propostas na Tabela 2.3;
- 7- descreveu-se a textura do material saprolítico como realizado em descrições de rocha ou de solos dependendo do grau de desagregação (quando solto ou macio, realizou-se a descrição conforme Santos et al. (2005)
- 8- foram tomadas fotografias das zonas saprolíticas em distância padronizada (2 metros) e com uso de escala.

Tabela 2.2 - Estrutura primária da zona saprolítica (relativa ao material parental)

Rocha de origem	Estrutura
Metamórfica	Xistosa, gnáissica, lineada, foliada, ardosiana, crenulada, maciça
Sedimentar	Ondulada, estratificação cruzada, estratificação plano-paralela, maciça

Estrutura 2 ^a	Definição	Exemplo
contínua	Material saprolítico que ao ser escavado não se desfaz em fragmentos com fraturas naturais Ex: saprolito derivado de rocha sedimentar arenítica	saprolito contínuo
fraturada	Desfaz-se em fragmentos de tamanho >2 mm ao ser escavado, com presença menor que 10% em volume de preenchimentos com material desagregado. Neste caso descreveu-se o tamanho e forma dos fragmentos e mencionou-se a faixa de tamanho dos (1 a 10 cm, p.e.). Pode ser dividido em subtipos: fraturada laminar; fraturada esferoidal; fraturada em blocos angulares. Ex: saprolito derivado de rocha xistosa; saprolito derivado de siltitos	saprolito fraturado
fragmentada	Apresenta fragmentos de saprolito e rocha dispersos em matriz mais fina (material pedológico), de modo que a estrutura de rocha foi parcialmente destruída mas ainda restam relictos que permitam a identificação da estrutura parental. Neste caso para denominá-lo de saprolito exige-se que a proporção de materiais saprolitizados seja > 50%. Ex: saprolito derivado de rocha ígnea básica; saprolitos derivados de clorita-xisto e tremolita-xisto.	saprolito fragmentado
terrosa	Desfaz-se em material solto argiloso ou arenoso ao ser escavado, composto de grânulos mono ou poliminerálicos semelhantes a material terroso, mas que ainda apresenta a estrutura rochosa conservada. Geralmente grânulos quartzosos são maiores do que 2 mm, enquanto que o restante do material saprolitizado atravessa peneira de 2 mm, semelhante a TFSA. Ex: saprolito derivado de rocha gnáissica; saprolito derivado de granito	saprolito terroso

Quadro 2.3 – Proposição de estrutura secundária de zonas/camadas saprolíticas

Tabela 2.3 – Proposta do grau de consistência seca para a descrição de saprolitos

Grau de consistência	Significado
Inquebrável	fragmentos inquebráveis com as mãos, rúptil apenas com uso de martelo pedológico e que apresenta sinais de alteração em relação a rocha sã
Extremamente dura	fragmentos não quebráveis ou extremamente difíceis de serem quebrados com as mãos, mas escavável com martelo pedológico com extrema dificuldade
Muito dura	fragmentos muito difíceis de serem quebrados com as mãos e escaváveis com martelo pedológico com muita dificuldade
Dura	fragmentos quebráveis com as mãos e medianamente fácil de ser escavável com martelo pedológico
Ligeiramente dura	fragmentos facilmente quebrados com as mãos e facilmente escavável com martelo pedológico
Macia/Solta	fragmentos que não oferecem resistência significativa a pressão com os dedos ou a escavação
Variável	com material saprolítico de consistência muito variável

A descrição do grau de consistência foi realizada com a amostra seca, seja no campo ou após a secagem da amostra (quando a amostra estava úmida a campo). Na prática houve uma grande dificuldade da definição exata da consistência seca e resistência a escavação, em virtude das condições de umidade a campo. Entretanto, mesmo que a amostra estivesse úmida e não se conseguisse determinar acuradamente a resistência a escavação e ao rompimento, submeteu-se a secagem da amostra a temperatura ambiente e posteriormente estimou-se o grau de dificuldade ao rompimento dos fragmentos de saprolito e a resistência a escavação, considerando as informações de campo.

2.3 Resultados e Discussão

A seguir apresenta-se um resumo da descrição das zonas saprolíticas avaliadas em 15 perfis de solo-saprolito pertencentes a formações metamórficas e sedimentares no Quadro 2.4, descritos integralmente no Anexo A. Apresenta-se também um excerto das descrições realizadas em zonas saprolíticas do perfil 1, como exemplo dos descritores utilizados:

“Cr1 150-200 cm (isalterita/aloterita); constituído por material saprolítico (60%) vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmida), xistosa terrosa, com fraturamento horizontal de 25°, siltosa, ligeiramente dura, friável e; por material pedológico (40%) vermelho-amarelado (5 YR 4/6 úmida), siltosa cascalhenta, fraca blocos subangulares grande, macia, friável, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana inclinada (25°) clara, raízes finas e médias comum.

Cr2 200 a 300 cm (isalterita); constituído por material saprolítico (80%) variegado vermelho (10 R 5/8, úmida) e bruno-oliváceo-claro (2,5 Y 5/3, úmida), xistosa fraturada, composta de blocos angulares (10 cm) com fraturas subverticais a cada 10 a 20 cm e horizontais inclinadas a 25°, areno-siltosa, dura, muito firme/extremamente firme e; por material pédico (20%) bruno-forte (7,5 YR 4/6, úmida), areno-siltosa muito cascalhenta, fraca, grãos

simples, macia, friável, não plástica, não pegajosa, transição plana inclinada gradual, raízes finas apenas nas fraturas.

Cr3 300 a 400+ cm (isalterita); saprolito variegado vermelho-claro (2,5 YR 6/8, úmida) e cinza (2,5 Y 5/1, úmida), xistosa fraturada, composta de blocos angulares (8 a 12 cm) com fraturas subverticais a cada 10 a 20 cm e horizontais inclinadas a 25°, areno-siltosa, extremamente dura; raízes finas apenas nas fraturas”

De modo geral observou-se grande variabilidade entre os perfis amostrados, principalmente em relação a estrutura, coloração, consistência e feições de alteração. Basicamente estas diferenças foram condicionadas pela variabilidade do material parental e da geomorfologia, uma vez que todos os perfis ocorriam em regiões sob as condições climáticas muito semelhantes.

No entanto, ocorreram algumas similaridades em relação a estrutura secundária entre zonas de diferentes materiais, a princípio controladas pela profundidade do material. Os níveis isalteríticos (saprolíticos) situados próximos a superfície, geralmente se apresentaram com aspecto fragmentado ou terroso. Para materiais derivados de gnaiss, por exemplo, estes níveis de alteração se apresentaram invariavelmente com aspecto terroso e se estenderam a maiores profundidades em relação a saprolitos terrosos observados em xistos, o que também pode estar relacionado à uma condição de maior estabilidade geomórfica uma vez que as formações gnáissicas são pertencentes a superfície mais antiga. Em materiais xistosos, estas zonas não apresentaram nenhuma tendência estrutural uniforme entre perfis. Aparentemente a morfologia isalterítica em materiais xistosos, caracterizada pela alta variabilidade estrutural secundária, é controlada fortemente pela composição e distribuição dos constituintes mineralógicos. Em geral foi encontrada maior resistência à escavação em materiais xistosos do que em gnáissicos, sendo também as alterações em materiais gnáissicos presentes a maiores profundidades do que em materiais derivados de xistos.

Origem	Zona saprolítica	Prof. (cm)	Cores	Estrutura 1 ^a	Estrutura 2 ^a	Textura	Consistência seca	%TFSA
Biotita Xisto feldspático	P1 Cr1	200 a 300	10R5/8; 2,5Y5/3	xistosa	fraturada	areno-siltosa	dura	20
Biotita Xisto feldspático	P1 Cr2	300 a 400+	2,5YR6/8; 2,5Y5/1	xistosa	fraturada	areno-siltosa	ext dura	0
Clorita Xisto	P2 Cr1	70 a 140	7,5YR6/6;	xistosa	fragmentada	siltosa	lig dura/dura	20
Clorita Xisto	P2 Cr2	140 a 200	7,5YR6/6	xistosa	fragmentada	siltosa	lig dura	40
Clorita Xisto	P2 Cr3	200 a 300+	2,5Y8/4	xistosa	contínua	siltosa	ext dura	0
Muscovita Xisto	P3 Cr	90 a 130	2,5YR7/6	xistosa	fraturada	siltosa	dura	20
Muscovita Xisto	P3 RCr1	130 a 200	5B5/1; 10R7/6; 10YR6/8; N2,5/0	xistosa	fraturada	areno-siltosa	dura/mt dura	0
Muscovita Xisto	P3 RCr2	200 a 280+	5B5/1; 10R7/6; 10YR 6/8; N 2,5/0	xistosa	contínua	arenosa	ext dura	0
Tremolita Xisto	P4 Cr	170 a 270+	7,5YR5/8; 10R2,5/1; 10R 3/6	xistosa	fraturada	siltosa	mt dura	0
Biotita Xisto Granatífero	P5 Cr1	160 a 210	5YR 6/6	xistosa	terrosa	siltosa c/ cascalho	solta/macia	0
Biotita Xisto Granatífero	P5 Cr2	210 a 400	10YR5/4	xistosa	terrosa	siltosa	solta	0
Talco Xisto	P6 Cr1	140 a 170	5Y6/3	xistosa	contínua	argilo-siltosa	dura	0
Talco Xisto	P6 Cr2	170 a 250	10YR5/8; 2,5Y7/2	xistosa	fraturada	areno-siltosa	dura	0

Quadro 2.4 - Resumo da descrição de horizontes/zonas saprolíticas

(continua)

Origem	Zona saprolítica	Prof. (cm)	Cores	Estrutura 1 ^a	Estrutura 2 ^a	Textura	Consistência seca	% mat. pedológico
Talco Xisto	P6 Cr3	250 a 320	5Y6/2; 10YR5/8; 2,5Y8/1	xistosa	fraturada	siltosa	dura	0
Talco Xisto	P6 Cr4	320 a 400+	5GY6/2; 10YR5/8; 2,5Y3/1	xistosa	fraturada	siltosa	dura	0
Gnaiss melanocrático	P7 Cr	210 a 250+	5YR 5/8	gnaissica	terrosa	siltosa	lig dura	0
Gnaiss leucocrático	P8 Cr1	140 a 220	2,5Y 8/4	gnaissica	fraturada	rudácea-arenosa	inquebrável e solta	0
Gnaiss leucocrático	P8 Cr2	220 a 320+	2,5Y7/6	gnaissica	contínua	arenosa	solta/lig dura	0
Gnaiss leucocrático	P8 RCr	400-500+	5YR7/6; White N9,5; Gley 1 2,5N	gnaissica	contínua	fanerítica	ext dura/inquebrável	0
Gnaiss mesocrático	P9 Cr	230 a 350+	5YR8/4; 7,5YR8/2; 7,5R3/4	gnaissica	terrosa	areno-siltosa	solta	0
Arenito argiloso	P10 Cr1	80 a 140	10YR6/8; 2,5Y3/3; 2,5Y8/1	plano-paralela	contínua	areno-argilosa	mt dura	0
Arenito argiloso	P10 Cr2	140 a 210	2,5Y8/1; 2,5YR4/8; 5YR6/6; 7,5YR8/4	plano-paralela	contínua	areno-argilosa	mt dura	0
Arenito argiloso	P10 Cr3	210 a 300+	2,5Y8/3; 2,5Y8/1; 2,5YR4/6	plano-paralela	contínua	areno-argilosa	ext dura	0
Arenito lamítico	P11 Cr1	50 a 100	2,5YR3/3	plano-paralela	fragmentada	areno-argilosa	ext dura	20
Arenito lamítico	P11 Cr2	100 a 300+	2,5YR4/3; 7,5YR4/4	plano-paralela	contínua	areno-argilosa	ext dura	0
Arenito quartzoso	P12 Cr1	90 a 180	2,5Y4/8; 10YR7/6; 7,5YR3/2	plano-paralela	contínua	arenosa	dura	0

Quadro 2.4 - Resumo da descrição de horizontes/zonas saprolíticas

(continuação)

Origem	Zona saprolítica	Prof. (cm)	Cores	Estrutura 1ª	Estrutura 2ª	Textura	Consistência seca	% mat. pedológico
Arenito quartzoso	P12 Cr2	180 a 250	7,5YR7/3	plano-paralela	contínua	arenosa	dura	0
Arenito quartzoso	P12 Cr3	250 a 300	2,5YR6/3	plano-paralela	contínua	arenosa	dura	0
Arenito quartzoso	P12 Cr4	300 a 500+	10R4/6	plano-paralela	contínua	arenosa	dura	0
Siltito Tatuí	P13 Cr1	60 a 100	10YR8/3	plano-paralela	fragmentado	silto-arenosa	ext dura	30
Siltito Tatuí	P13 Cr2	100 a 160	10YR8/6; 10YR8/6;	plano-paralela	fraturada	silto-arenosa	ext dura	10
Siltito Tatuí	P13 Cr3	160 a 190	2,5Y8/3	plano-paralela	fraturada	silto-arenosa	ext dura	0
Siltito Corumbataí	P14 Cr	30 a 80	10R4/3;	plano-paralela	fragmentada	silto-argilosa	ext dura	40
Siltito Corumbataí	P14 RCr1	80 a 110	7,5R3/2	plano-paralela	fraturada	silto-argilosa	ext dura	10
Siltito Corumbataí	P14 RCr2	110 a 140	7,5R4/3	plano-paralela	fraturada	silto-argilosa	ext dura	5
Siltito Corumbataí	P14 RCr3	140 a 200+	7,5R3/3	plano-paralela	contínua	silto-argilosa	ext dura	0
Siltito Itararé	P15 RCr1	90 a 170	5YR5/8; 2,5YR5/8; 10YR7/6	plano-paralela	contínua	silto-arenosa	dura	0
Siltito Itararé	P15 RCr1	170 a 220	5YR5/8; 2,5YR4/8; 10YR5/6	plano-paralela	contínua	silto-arenosa	dura	0
Siltito Itararé	P15 RCr3	220 a 300+	10YR6/6; 10YR8/2	plano-paralela	contínua	silto-arenosa	mt dura	0

Quadro 2.4 - Resumo da descrição de horizontes/zonas saprolíticas

(conclusão)

Saprolitos com filiação arenítica apresentaram quase invariavelmente estrutura secundária contínua nos níveis mais próximos a superfície, sendo a única exceção à regra apresentada apenas pelo nível Cr1 do perfil de arenito lamítico (P11). Provavelmente isto está relacionado ao conteúdo mais elevado de argila neste último, o que provoca maior expansão e contração, gerando consequentemente maior grau de fraturamento. Já as zonas saprolíticas de materiais derivados de siltitos, se apresentaram altamente fraturados e fragmentados nos perfis 13 e 14 e contínuo no perfil 15. Esta diferença está provavelmente associada ao maior conteúdo de areia no perfil 15, o que confere menor efeito provocado por ciclos de umedecimento e secagem, bem como devido a maior estabilidade mineralógica do quartzo deste perfil.

Para níveis inferiores situados mais próximos ao material de origem, considerando todos os perfis, as zonas saprolíticas se apresentaram fraturadas, contínuas ou terrosas. Fraturadas no caso de xistos e siltitos, contínuas no caso de arenitos e terrosas para os gnaisses.

As zonas de transição entre solo e saprolito apresentaram-se nítidas ou graduais conforme a natureza do material de origem, facilitando ou dificultando a sua identificação. Em geral, nas alterações de materiais metamórficos a transição é mais variável e extensa do que aquelas observadas em perfis de rochas sedimentares, o que está provavelmente associado a distribuição mineralógica mais heterogênea das rochas metamórficas. Perfis xistosos apresentaram transições na maioria das vezes difusas, com materiais de solo intercalado a materiais tipicamente saprolitizados, o que dificultou sobremaneira os trabalhos de descrição. A transição em filiações gnáissicas, embora marcadamente extensa e terrosa, se apresentou menos difusa em relação ao observado para materiais xistosos. Transições mais claras foram apresentadas por perfis de origem sedimentar, sendo particularmente nítidas em materiais arenosos, o que pode estar associado a maior estabilidade mineralógica dos componentes das rochas sedimentares avaliadas, bem como à própria estrutura pretérita plano-paralela.

Estas feições morfológicas provavelmente são provocadas pela predominância de processos intempéricos diferentes em cada material, causada por suas respectivas características. Como nas rochas sedimentares predominam minerais residuais, espera-se maior atividade intempérica física, causando maiores efeitos de desagregação e fraturamento, com menores alterações mineralógicas.

A individualização de grãos minerais foi mais intensa em arenitos, sendo tanto mais evidente quanto menor fosse o conteúdo de agente cimentante. É o caso, por exemplo, do observado em saprolito derivado do Arenito Botucatu (P12), que se apresentou fortemente

desagregado, apesar de manter a estrutura rochosa. No caso do saprolito desenvolvido a partir do Arenito Pirambóia (P10), em que o conteúdo de argila é maior, o grau de desagregação foi menor e não se observou fraturamento. Já no caso do Arenito Lamítico (P11), o qual apresentou o maior conteúdo de finos, a individualização de grãos foi mínima e houve maior grau de fragmentação e fraturamento. Provavelmente a mineralogia dos agentes cimentantes (silte e argila) também exerça papel fundamental no desenvolvimento e morfologia de saprolitos areníticos.

É interessante notar, de maneira inversa, que no caso dos saprolitos derivados de siltitos, o fraturamento foi intenso, provavelmente causado pelo efeito de contração e expansão de partículas argila e silte, bem como pela menor porosidade destas rochas em relação aos arenitos. No entanto, quando houve considerável incremento do conteúdo de areia, como no caso do Siltito Itararé (P15), praticamente não houve fraturamento. Já no caso do Siltito Tatuí (P13) e Siltito Corumbataí (P14) o fraturamento foi intenso. A simples exposição do material derivado do siltito verde, a um único ciclo de umedecimento e secagem provocou ruptura do material, inviabilizando procedimentos de obtenção de amostras indeformadas e a confecção de lâminas de seção fina. Neste caso parece haver um efeito mais pronunciado da composição mineralógica e conteúdo de finos na morfologia saprolítica.

Para o caso de saprolitos derivados de xistos, a morfologia parece ser condicionada tanto pela presença de minerais primários, quanto a sua distribuição irregular. Isto gera corpos complexos, como se encontrou massas pedogeneizadas ou desagregadas envoltas por material saprolitizado e transições pouco evidentes entre solo e saprolito.

Saprolitos gnáissicos também são fortemente condicionados pela composição mineralógica, no entanto, apresentam morfologia menos complexa, provavelmente em virtude da sua textura mais grosseira e distribuição um pouco mais uniforme em relação as rochas xistosas. É interessante notar, que o perfil derivado de gnaiss melanocrático (P 7), não apresentou saprolito típico (com estrutura bem preservada), o que pode ser resultado da sua mineralogia máfica, que resulta em pouco material residual e rápida destruição da trama rochosa, bem como pela dificuldade de amostragem de níveis mais profundos.

Interessantemente, as definições dos graus de consistência, descritos na Tabela 2.3, se assemelharam bastante às classes de intemperismo propostas por Pedron et al. (2009) e Pedron et al. (2010). Entretanto, ambos métodos de descrição apresentam dificuldades metodológicas causadas pela umidade presente no momento da avaliação. A umidade torna a avaliação da resistência a escavação e consistência um processo subjetivo, apesar de não invalidá-lo completamente.

2.4 Conclusões

As diversas camadas saprolíticas amostradas podem ser divididas em quatro principais grupos, considerando suas particularidades estruturais: fraturados, fragmentados, terrosas e contínuas.

Saprolitos derivados de rochas xistosas apresentaram maior complexidade morfológica.

A morfologia dos saprolitos foi condicionada primariamente pela filiação parental, havendo algumas similaridades entre agrupamentos de rochas. Em segundo lugar, o grau de desagregação/consistência foi determinado pela profundidade.

Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p.711-728, 2014.
- AZEVEDO, A.C.; TORRADO, P.V. Uso do vocábulo saprolito nos congressos e Revista da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 18-23, 2006.
- BUTT, C.R.M.; LINTERN, M.J.; ANAND, R.R. Evolution of regoliths and landscape in deeply weathered terrain-implications for geochemical exploration. **Ore Geology Reviews**, Amsterdam, v. 16, p. 167-183, 2000.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Folhas SF23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983. 780 p.
- _____. **Geologia da folha Alpinópolis SF23-V-B-V24**. Brasília: CPRM; UERJ, 2007. 93 p.
- CALVERT, C.S.; BUOL, S.W.; WEED, S.B. Mineralogical characteristics and transformations of a vertical rock-saprolite sequence in the North Carolina Piedmont: I. Profile morphology, chemical composition, and mineralogy. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 1096-1103, 1980.
- DRIESE, S.G.; MCKAY, L.D.; PENFIELD, C.P. Lithologic and pedogenic influences on porosity distribution and groundwater flow in fractured sedimentary saprolite: a new application of environmental sedimentology. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa, v. 71, p. 843-857, 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed., Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

FAGUNDES, L.M.; CARVALHO, D.A.; VAN DEN BERG, E.; MARQUES, J.J.G.S.; MACHADO, E. L.M. Florística e estrutura do estrato arbóreo de dois fragmentos de florestas decíduas às margens do rio Grande, em Alpinópolis e Passos, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Belo Horizonte, v. 21, n. 1, p.65-78, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. Escala 1:500 000. São Paulo: IPT, 1981.

KEW, G.; GILKES, R. Classification, strength and water retention characteristics of lateritic regolith. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, p. 184-198, 2006.

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. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

MORAIS, F.; BACELLAR, L.A.P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1055-1062, 2004.

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.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; STÜRMER, S.L.K.; MENEZES, F.P. Morfologia classificação taxonômica de neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 119-128, 2009.

PEDRON, F. A.; FINK, J. R.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1941-1950, 2010.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

WALD, J.A.; GRAHAM, R.C.; SCHOENEBERGER, P.J. Distribution and properties of soft weathered bedrock at < 1 m depth in the contiguous United States. **Earth Surfaces Processes and Landforms**, Hoboken, v. 38, p. 614-626, 2013.

Como a estrutura secundária do saprolito e a filiação parental trazem importantes informações preliminares sobre as funções técnico-ambientais de zonas saprolíticas, tais como grau de alteração, hidrologia, possibilidade de colonização vegetal, movimentação de massa, acredita-se que esta propriedade é distintiva e informativa para serem utilizadas nos primeiros níveis categóricos.

3 EVOLUÇÃO FÍSICA, MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA EM PERFIS DE SOLO-SAPROLITO DERIVADOS DE ROCHAS METAMÓRFICAS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

Resumo

Saprolitos são influenciados por diferenças na estrutura, trama, composição e tamanho dos grãos da sua rocha de origem. Durante trabalhos de descrição de perfis intempéricos derivados de rochas sedimentares e metamórficas observou-se que saprolitos desenvolvidos a partir de rochas metamórficas, principalmente desenvolvidos a partir de rochas xistosas, apresentavam maior complexidade estrutural e de padrões de alteração. Desta maneira, horizontes de solo e saprolito derivados destes perfis foram submetidos a análises físicas, mineralógicas e geoquímicas para a sua caracterização detalhada e para análise de atributos distintivos para o desenvolvimento de sistema de classificação para saprolitos. Baseado na hipótese de que solos e saprolitos são corpos distintos, o objetivo desta pesquisa foi investigar padrões, atributos e índices que os diferenciasssem através da combinação de técnicas analíticas. As transformações físicas e geoquímicas promoveram maior diferenciação entre materiais saprolíticos e pedológicos. A formação de porosidade apresentou evidências de correlação com a modificação geoquímica presente nesses materiais, validando a tentativa de classificá-los com base em categorias de porosidade, em razão da premissa de que corpos saprolíticos se alteram isovolumetricamente. Por outro lado as alterações mineralógicas foram mais evidentes em relação à rocha, sendo que solos e saprolitos possuem mineralogia semelhante, seja em relação aos produtos neoformados, alteromórficos ou em relação aos minerais residuais. Considerando os materiais saprolíticos avaliados, houve formação de óxidos de Fe e Al, caulinita, gibbsita e ilita. As alterações em materiais xistosos demonstraram principalmente formação de caulinita e óxidos de Fe, enquanto que em materiais gnáissicos predominou a formação de sericita (ilita). Os métodos utilizados foram eficientes para a caracterização dos saprolitos e obtenção de índices e atributos que pudessem ser utilizados em sua classificação.

Palavras-chave: mineralogia de alteração; balanço de massa; xistos; gnaisses

Abstract

Saprolite are influenced by differences in the structure, texture, composition and grain size of its parent rock. During descriptions of weathering profiles derived from sedimentary and metamorphic rocks was observed that saprolite developed from metamorphic rocks, mainly developed from schist, had greater structural complexity and different alteration patterns. Thus, soil and saprolite horizons derived thereof profiles were subjected to physical, mineralogical and geochemical analysis for the detailed characterization and to development of classification system for saprolite. Based on the assumption that soil and saprolite are separate bodies, the aim of this study was to investigate patterns, attributes, and indexes that differentiate through a combination of analytical techniques. The physical and geochemical transformations promoted greater differentiation between weathered and pedological materials. The formation of porosity presented evidence of correlation with the change geochemistry present in these materials, validating the attempt to classify them based on porosity of categories, due to the assumption that saprolite bodies change isovolumetrically. On the other hand the mineralogical changes were most evident in relation to the rock, since

soil and saprolite had similar mineralogy, in relation to the newly formed products, alteromorphies or in respect of residual minerals. Considering the evaluated saprolite materials, the formation of Fe and Al oxides, kaolinite, illite and gibbsite. Changes in schistose material showed mainly formation of kaolinite and Fe oxides, whereas in gneiss there were formation of sericite (illite). The methods used were efficient for the characterization of saprolite and to obtaining indices and attributes that can be used in their classification.

Keywords: minerals alteration; mass balance; schists; gneiss

3.1 Introdução

Investigações sobre saprolitos são escassas no Brasil (Pedron et al., 2009, Pedron et al., 2010), no entanto, observa-se na literatura internacional que os trabalhos dedicados a assuntos pedológicos frequentemente contemplam a análise de horizontes/camadas C e Cr ou até mesmo da rocha para um entendimento mais profundo dos processos intempéricos e morfogenéticos. Tecnicamente, o regolito pode ser separado em duas zonas distintas, o solo e o saprolito. O solo é definido como um conjunto de corpos naturais composto por substâncias minerais e orgânicas, gases e água, influenciado sobremaneira pela atividade biológica. Já o saprolito é constituído pela mistura de minerais primários e secundários resultantes da ação do intemperismo físico e químico, no entanto, este corpo apresenta vestígios da estrutura original da rocha, sendo reconhecido como produto da alteração da rocha *in situ*, pouco ou nada influenciado pela atividade biológica.

A variabilidade dos saprolitos é consideravelmente influenciada por diferenças na estrutura, trama, composição e tamanho dos grãos da rocha de origem. Embora a ocorrência e a importância ambiental do saprolito sejam bastante amplas, poucos estudos têm focado na sua caracterização. Várias razões são apontadas para este quadro, tais como dificuldades em estabelecer o limite entre solo e saprolito, na obtenção de amostras adequadas para descrição e análise e pela elevada heterogeneidade do material (STOLT; BAKER, 1994).

Durante os trabalhos de descrição de perfis intempéricos notou-se que saprolitos desenvolvidos a partir de rochas metamórficas, principalmente aqueles derivados de rochas xistosas, apresentavam maior complexidade estrutural e padrões de alteração diferenciados, conforme apontado no Capítulo 2. Desta maneira, horizontes de solo e saprolito derivados destes perfis foram submetidos a análises mineralógicas, geoquímicas e físicas pormenorizadas no intuito de estabelecer critérios distintivos para a classificação de saprolitos desta natureza em maior detalhe.

Baseado na hipótese de que solos e saprolitos são corpos distintos, o objetivo desta pesquisa foi investigar padrões, atributos e índices que os diferenciasssem através da combinação de técnicas analíticas laboratoriais.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Coleta dos materiais

A amostragem contemplou perfis de solo-saprolito (Figura 3.1) de origem metamórfica na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais descritos no Capítulo 2. No caso de rochas xistosas coletou-se materiais com composição filossilicática contrastante, amostrados em maior número que nos gnaisses, em razão da importância dos filossilicatos para o comportamento e composição dos solos e saprolitos. Para as rochas gnaissicas procurou-se avaliar o efeito promovido pela composição química e subordinadamente de sua assembléia mineralógica.

Figura 3.1: Pontos de amostragem em perfis derivados de rochas metamórficas no mapa geológico de parte do Estado de Minas Gerais (BRASIL, 1983).

Para a adequação a preceitos estatísticos, padronização e operacionalidade foram descritos perfis que apresentassem saprolito a uma profundidade de 1 a 3 metros a partir da superfície, distribuídos em locais sobre condições climáticas e geomorfológicas muito semelhantes. Esses perfis de alteração foram encontrados na região do estudo em relevos

ondulados a forte ondulados, quase sempre associados a solos com horizontes B textural ou incipiente. Devido à grande profundidade do manto intempérico em climas tropicais, raramente se conseguiu obter amostras até o material consolidado, de modo que a provável rocha de origem foi descrita e amostrada, em grande parte das vezes, em afloramentos próximos, para comparação com os materiais pedogeneizados e alterados.

Os materiais de solo e saprolito foram coletados em cortes de estrada, após a remoção de cerca de 1 metro do material exposto (Figura 3.2), de modo que estes estivessem pouco afetados pelos ciclos de umedecimento e secagem. Os materiais pedológicos foram amostrados e descritos conforme Santos et al. (2005). Já os saprolíticos foram amostrados de acordo com o modelo geral de subdivisão da coluna regolítica adotado por Butt, Lintern e Anand (2000), e das técnicas e adaptações propostas no Capítulo 2. Coletaram-se 3 tipos de amostras dos horizontes ou zonas mais expressivas. Para as amostras deformadas foram tomadas cerca de 1 kg, enquanto para amostras indeformadas retirou-se 3 replicas por horizonte com anel volumétrico (Kopecky) e duas replicadas em forma de bloco esculpido (em caixa de Kubiena) ou fragmento principalmente no caso de rocha alterada.

Figura 3.2 - Exemplo de corte para a coleta de materiais de solo-saprolito

3.2.2 Preparo das amostras

3.2.2.1 Peneiramento das amostras deformadas

O preparo inicial das amostras foi realizado após a secagem ao ar, submetendo-as a peneiramento em malha de 2 mm para a separação da fração terra fina seca ao ar (TFSA) da fração cascalho (>2 mm), que neste caso se constituiu de fragmentos líticos, saprolíticos ou minerais residuais, conforme ilustrado na Figura 3.3. Para tanto foram adotados procedimentos específicos para a separação, em função da morfologia dos horizontes coletados e por diferenças na textura e consistência apresentada por esses materiais.

Figura 3.3 - Fotografias de blocos polidos de (a) horizonte de solo contendo fragmentos de saprolito e minerais residuais e de (b) saprolito contendo material pedogeneizado (TFSA)

A separação dos fragmentos saprolíticos da TFSA foi mais complexa em alguns casos do que a separação de fragmentos líticos e de minerais residuais, devido ao menor grau de consistência (seca e úmida) apresentado por esses materiais (saprolíticos) em relação a materiais mais consolidados. A variação na textura e consistência (Quadro 2.1) em amostras

que apresentaram fragmentos de saprolito entremeados na massa do solo, motivaram a adoção de procedimentos distintos para a separação dos materiais pedológicos (ou desagregados) e saprolíticos. Em algumas amostras, por exemplo, houve grande similaridade em termos de consistência, entre fragmentos saprolíticos e materiais tipicamente pedológicos, tornando o processo de destorroamento e peneiramento mais moroso.

Perfil/Hz	Textura	Consistência mat. pedol.		Consistência mat. saprolítico	
		seca	úmida	seca	úmida
P1-Bi	argilo-arenosa	dura	firme/friável	mt. dura	mt. firme
P1-C1	Siltosa	macia	friável	mt. dura	mt. firme
P1-C2	Siltosa	macia	friável	lig. dura	friável/firme
P1-C3	areno-siltosa	macia	friável	lig. dura	friável/firme
P1-Cr	areno-siltosa	solta	solta	mt./ext. dura	mt./ext. firme
P2-BC	franco-argilosa	dura	firme	dura	firme
P2-C1	areno-siltosa	macia	friável	lig/dura	firme
P2-C2	argilo-siltosa	lig dura	friável	lig/dura	firme
P2-Cr	franco-argilosa	macia	friável	lig. dura	firme
P3-C	Siltosa	macia	mt. friável	dura	mt/ext. firme
P3-Cr	Siltosa	macia	mt. friável	dura	firme
P4-A	argilosa	dura	friável	ext. dura	inquebrável
P4-C	franco-argilosa	dura	friável	dura	firme/mt. firme
P5-Cr1	Siltosa	-	-	solta/macica	solta
P5-Cr2	Siltosa	-	-	solta	solta
P6-Cr1	argilosa	-	-	dura	friável
P6-Cr2	argilosa	-	-	dura	friável
P7-BC	argilosa	lig. dura	friável	mt. dura	ext. firme
P7-C1	argilo-siltosa	macia	friável	mt. dura	mt. firme
P8-Cr1	franco-arenosa	-	-	solta	solta
P8-Cr2	arenosa	-	-	solta/lig. dura	solta
P9-CrC	Siltosa	solta	solta	macia	solta
P9-Cr	areno-siltosa	-	-	macia	solta

Quadro 2.1 - Textura e consistência de materiais pélicos e saprolíticos

Levou-se em conta também, observações realizadas *in situ*, uma vez que algumas porções saprolíticas se apresentaram com consistência seca do tipo solta, gerando a falsa impressão de que tal porção é constituída apenas por material pedogeneizado, o que não é realidade, uma vez que a descrição de campo indicou claramente tratar-se de material com a estrutura lítica preservada. Alguns horizontes saprolíticos, como por exemplo aqueles apresentados por alguns perfis derivados de xistos e gnaisses (P5, P6, P7, P8 e P9) apresentaram consistência solta (seco) e friável (úmido), sendo facilmente confundidos como material pedológico. No entanto, as feições morfológicas observadas no campo e em cortes de seção fina (lâminas de micromorfologia) demonstraram claramente a preservação da estrutura

da rocha parental, sendo temerário tratar esses materiais como TFSA para fins de análise, apesar de serem facilmente peneirados na malha de 2 mm.

Portanto, para a separação entre o que é solo e o que é saprolito foi essencial a realização de descrição morfológica e/ou a retirada de fotografias para não se cometer equívocos nas decisões de preparo e análise de amostras. Quando o material apresentava ainda estrutura de rocha, mas ao ser escavado se desintegrava facilmente tornando-o facilmente peneirável a 2 mm, não constituiu critério essencial para denominá-lo de TFSA. Ou seja, o simples fato de um material passar pela peneira de 2 mm, sendo o mesmo proveniente de uma camada saprolítica, não foi suficiente para denominá-lo de TFSA, uma vez que plantas geralmente apresentam grande dificuldade em explorar camadas que ainda apresentem estrutura de rocha bem preservada.

Em alguns perfis derivados de xistos (P1, P2, P4), devido a similaridade em termos de consistência, adotou-se procedimentos mais complexos para a separação da fração TFSA, conforme descrito a seguir:

- 1-separou-se inicialmente por catação manual os fragmentos líticos e saprolíticos de maiores dimensões (>10 mm);
- 2-destorrou-se cuidadosamente¹ o restante da amostra seca ao ar com rolo de granito (cilindro maciço) e posteriormente peneirou-se o material em peneira de malha de 2 mm;
- 3-repetiu-se o procedimento 2 quantas vezes fosse necessário avaliando-se o percentual de TFSA remanescente na amostra por meio de esfregão manual;
- 4-quando havia ainda mais de 10% de TFSA² na amostra e sendo impeditivo proceder a continuidade do destorroamento, devido à baixa consistência do material saprolítico, a fim de evitar a destruição dos fragmentos líticos e saprolíticos, procedeu-se a ligeiro umedecimento³ da amostra;
- 5- procedeu-se então ao esfregão manual com a amostra ligeiramente úmida e posteriormente ao tamisamento com o material ainda úmido;
- 6-avaliou-se o percentual de TFSA restante e repetiu-se o procedimento 5, quantas vezes fosse necessário até se atingir o percentual desejado, que foi estabelecido como de 2 a 5% de TFSA presente na fração > 2 mm.

Realizada a separação da TFSA dos fragmentos saprolíticos e líticos, procedeu-se a moagem de cerca de 20 gramas das frações maiores que 2 mm e TFSA para a redução da

¹ ao destorrear a amostra deve-se ter o cuidado de não destruir os fragmentos líticos e saprolíticos, os quais deverão ficar retidos na peneira de 2 mm

² o que acontece quase sempre com amostras argilosas ou muito argilosas

³ com H₂O destilada

granulometria em aproximadamente 100 μm , para a realização de análises geoquímicas e mineralógicas. O restante do material foi deixado com granulometria original preservada, principalmente no caso de TFSA para a realização de análises físicas e mineralógicas convencionais para solos.

3.2.2.2 Impregnação de amostras indeformadas

Para a confecção de lâminas delgadas foram retiradas amostras nos horizontes/camadas de solo e saprolito mais representativos em duas replicas em forma de bloco esculpido (em caixa de Kubiena) ou fragmento, principalmente no caso de saprolito e rocha. Essas amostras foram secas em temperatura ambiente, por cerca de dois meses e depois em estufa com circulação forçada de ar a 40°C por 48 horas. A seguir procedeu-se a impregnação com resina de poliéster diluída com estireno (1:1) juntamente com pigmento fluorescente, em câmara de vácuo durante 24 horas. Após a cura da resina, que levou cerca de dois meses, todos os materiais foram seccionados em blocos de dimensões médias de 3x7x10cm, sendo confeccionadas lâminas de seção fina de cada horizonte conforme Kerr (1977).

3.2.3 Análises laboratoriais

3.2.3.1 Análises físicas

A densidade dos materiais contendo solo e saprolito foi determinada com o uso de amostras coletadas em anel volumétrico de Kopecky em cada horizonte (três replicas) através da secagem dos materiais em estufa a 105 °C por 48 horas ou até massa constante. Para materiais saprolíticos e rochosos em que não foi possível a coleta de anéis volumétricos devido ao alto grau de consistência, tomou-se amostras indeformadas de dimensões irregulares. Posteriormente estas foram seccionadas ortogonalmente em serra de diamante, semelhante ao adotado por Kew e Gilkes (2006). No entanto, foram obtidas amostras em dimensões variáveis (Figura 3.4), em virtude da alta variabilidade em termos de resistência mecânica. A seguir foram saturadas com água destilada por 24 horas para a determinação do volume seguindo-se o princípio de Arquimedes (BLAKE; HARTGE, 1986). Algumas amostras foram saturadas sob vácuo para se ter certeza da saturação completa, no entanto, não houve diferença entre a saturação sob vácuo e em vasilhame aberto, optando-se pela segunda opção. Posteriormente as amostras foram secas a 105 °C por 48 horas para obtenção da massa

seca e cálculo do conteúdo de água. A porosidade total foi calculada a partir dos dados de densidade total e densidade de partículas (EMBRAPA, 1997).

Figura 3.4 - Obtenção de amostra para a determinação de densidade em materiais de rocha e saprolito com elevada consistência

A densidade de partículas da TFSA, dos materiais saprolíticos e líticos (granulação de 0,25mm), foi determinada em picnômetro a gás hélio (DANIELSON; SUTHERLAND, 1986). Nos horizontes que apresentavam ambos materiais calculou-se a média ponderada de densidade de partícula, considerando-se a proporção existente entre os mesmos, para se proceder ao cálculo da a porosidade total (EMBRAPA, 1997).

3.2.3.2 Análises mineralógicas

Análises mineralógicas foram conduzidas em amostras integrais confeccionadas em lâminas de seção fina sob microscópio petrográfico Zeiss. As determinações dos minerais primários e secundários foram executadas conforme Kerr (1977) e com o apoio de Delvigne (1998) para a análise de suas respectivas alterações.

Obteve-se também amostras em pó a partir da rocha, saprolito, fragmentos saprolíticos e minerais residuais para análise mineralógica sob difratometria de raios X (DRX). As amostras foram finamente moídas em gral de ágata, sendo submetidas posteriormente a DRX utilizando-se o equipamento Miniflex II Desktop X-Ray Diffractometer Rigaku. A radiação adotada foi a de $\text{CuK}\alpha$, com intervalo de análise de 5 a $70^\circ 2\theta$, contagem de 30 seg/passo e passo de $0,02^\circ 2\theta$.

Em horizontes que continham TFSA foram obtidas frações silte e argila por decantação de acordo com princípios da lei de Stokes. Posteriormente submeteu-as a DRX (radiação de $\text{CuK}\alpha$, intervalo de 5 a $50^\circ 2\theta$), usando-se lâminas em pó para silte e orientadas para argila. A maioria das lâminas de argila foram submetidas aos tratamentos: *in natura*, saturação com Mg, saturação com MgGlicol e aquecimento a 500°C . Em geral não houve necessidade da remoção de óxidos de Fe nas amostras de argila, procedendo-se à sua remoção apenas em amostras com alto conteúdo (provenientes dos perfis 4 e 7). Os difratogramas foram processados e analisados por meio do software Match!^(C) versão 2, com o auxílio da tabela proposta por Chen (1977).

3.2.3.3 Análise química

Os elementos totais (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti,), foram determinados nos horizontes pedogênicos na fração TFSE e na fração $>2\text{mm}$, nas zonas saprolíticas e na rocha parental. As amostras foram moídas e homogeneizadas para a confecção de amostras de granulometria $< 100\ \mu\text{m}$. Subamostras (0,25 g) foram submetidas a digestão com aquecimento por meio da combinação de ácidos (HNO_3 , HClO_4 e HF), e dissolução do resíduo com HCl . Os elementos foram determinados por espectrometria de massa (ICP-MS) em extrato obtido através de digestão multi-ácida, conforme protocolo adotado pelo laboratório ACME (2013), semelhantemente ao adotado por Eberl e Smith (2009).

Para a interpretação dos resultados calculou-se o índice de intemperismo de Parker (WIP), considerado como mais adequado para materiais heterogêneos (PRICE; VELBEL, 2003; SCHUCKNECHT et al., 2012), conforme a equação 1:

$$\text{WIP} = (2 \cdot \text{Na}_2\text{O}/0,35) + (\text{MgO}/0,9) + (2 \cdot \text{K}_2\text{O}/0,25) + \text{CaO}/0,7 \quad (1)$$

O balanço de massa foi obtido por meio da equação 2:

$$K_{jm} = \left\{ \left[\frac{(C_{jw} \times \rho_w)}{(C_{jp} \times \rho_p)} \right] - 1 \right\} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

K_{jm} - coeficiente de enriquecimento/depleção de massa do elemento j;

C_{jw} - concentração do elemento j no material alterado;

C_{jp} - concentração do elemento j no material parental;

ρ_p - densidade do material parental

ρ_w - densidade do material de alteração

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Densidade e porosidade total

A seguir é apresentada a estatística descritiva dos atributos densidade e porosidade (Tabela 3.1) referentes a materiais de solo, saprolito e rocha coletado em cada perfil de alteração. Dados completos estão dispostos no Anexo B. A variação destes atributos em profundidade pode ser observada nos perfis plotados na Figura 3.5.

Tabela 3.1 - Estatística descritiva da densidade e porosidade total do solo, saprolito e rocha de 9 perfis

Descritores	N	Min	Max	Média	Mediana	Des. Padr
.....Densidade (Mg m ⁻³).....						
Solo	35	0,99	1,72	1,36	1,38	0,17
Saprolito	17	1,06	1,73	1,43	1,41	0,20
Rocha	9	2,05	2,95	2,65	2,71	0,23
.....Porosidade %.....						
Solo	35	33,9	61,9	48,6	48,5	6,7
Saprolito	17	35,7	62,2	46,8	46,8	7,6

Os resultados analíticos para o atributo densidade do solo (Ds) demonstraram que nos solos desenvolvidos a partir de rochas xistosas houve aumento da Ds no horizonte B em relação ao horizonte A em todos os perfis. Entretanto, as maiores elevações ocorreram em solos com Bi (P1 e P3) em razão do elevado percentual de fração > 2mm nestes horizontes (> 500 g kg⁻¹) e ao acúmulo de minerais dificilmente intemperizáveis como foi notada pela presença de quartzo anguloso. Destaca-se da mesma forma que o elevado aumento identificado no horizonte BA do P5 foi ocasionado tanto pelo acúmulo tanto de quartzo quanto de pseudomorfo de granada. Dentre todos os solos desenvolvidos a partir de rochas metamórficas xistosas, notaram-se também valores de Ds bastante elevados nos horizontes B do perfil P6 (talco-xisto), o que se deve a baixa porosidade total observada nos mesmos, e não pelo acúmulo de minerais resistentes ao intemperismo ou a presença de minerais mais densos, conforme sugerem os resultados obtidos para densidade de partícula (Anexo B)

Figura 3.5 - Densidade *versus* profundidade em nove perfis de origem metamórfica

Para perfis desenvolvidos a partir de rochas gnáissicas observou-se em geral pronunciado aumento da densidade do solo (Ds) entre os horizontes A e B, sendo que os horizontes B apresentaram um incremento de cerca de 20% em relação aos horizontes A, o que é devido ao acúmulo de argila e a redução da porosidade total neste horizonte, processo característico de horizontes Bt.

Nos horizontes C dos perfis P1, P3, P5, P6, P7 e P9, e nas zonas saprolíticas dos perfis P4, P5 e P6, houve redução da densidade em relação aos seus respectivos horizontes B, o que sugere permeabilidade distinta ao longo destes perfis. A possibilidade de permeabilidade diferencial entre os horizontes B e C/Cr dos perfis P1, P3, P4, P5, P6, P7, P9 é corroborada por meio dos dados de porosidade total, os quais apresentam maiores valores nos horizontes C ou Cr destes, do que em seus respectivos horizontes B (Anexo B). Perfis de solos com Bi (P1 e P3) apresentaram maior redução da porosidade total com o aumento da profundidade quando comparados com solos com horizonte Bt (P2, P4, P5, P6, P7 e P9).

Wald, Graham e Schoeneberger (2013) detectaram incremento da densidade em saprolitos com o aumento da profundidade em várias litologias, conforme observado anteriormente por Frazier e Graham (2000) em perfil derivado de rocha granítica. No entanto, no caso de saprolitos derivados de xistos e gnaisses, Wald, Graham e Schoeneberger (2013) observaram menores valores em alguns saprolitos em relação aos seus respectivos horizontes B e C, resultado da alta porosidade presente, à semelhança do observado nesta avaliação. Em geral, os valores de densidade observados em saprolitos derivados de rochas xistosas foram menores do que o observado por Ogunsanwo (1986) em saprolito com filiação semelhante.

3.3.2 Evolução mineralógica nos perfis de alteração

A seguir apresenta-se os resultados e discussões referente às determinações mineralógicas observadas em cada perfil, tomando-se como base as técnicas de microscopia ótica petrográfica e de difratometria de raios X. Inicialmente se fará uma discussão a respeito da mineralogia do material parental e suas respectivas alterações resolvíveis ao nível de microscopia ótica e apoiados em dados obtidos a partir de difratometria de raios X em amostras de pó. A seguir discutir-se-á os resultados obtidos a partir de DRX das frações silte e argila presentes tanto em horizontes saprolíticos quanto pedogeneizados.

As fotomicrografias coloridas (RGB) foram obtidas sob microscópio petrográfico por meio de luz transmitida polarizada plana (tppl) e cruzada (txpl) e, em algumas situações sob luz refletida polarizada plana (rppl) e cruzada (rxpl). As magnificações utilizadas foram de 12,5X, 25X, 100X, 200X e 400X, com as respectivas resoluções espaciais de: 5µm/pixel;

2,5µm/pixel; 0,62 µm/pixel; 0,31 µm/pixel e 0,155 µm/pixel. As barras de escala assinaladas nas fotomicrografias representam as medidas de 1000 µm, 500 µm, 100 µm, 50 µm e 25 µm, para os respectivos aumentos de 12,5X; 25X; 100X; 200X e 400X.

3.3.2.1 Perfil 1-Biotita Xisto feldspático

A rocha parental do perfil 1 (P1-R) apresenta estrutura xistosa e textura porfiroblástica com assembleia mineralógica básica constituída por quartzo, plagioclásio e biotita (Figuras 3.6 a, 3.6b). Em menor proporção ocorrem feixes de muscovita e inclusões de epídoto nos grãos de plagioclásio (Figuras 3.6 c, 3.6d). Deste modo pode-se classificá-la como Biotita-quartzo xisto feldspático de acordo com as proporções mineralógicas em ordem crescente. O difratograma da amostra em pó desta rocha (Figura 3.7) sugere que o plagioclásio em questão se trata de albita (plagioclásio sódico).

A primeira frente de alteração, denominada de horizonte P1-Cr2, apresentou estrutura e textura bem preservada, apesar das alterações físicas e mineralógicas evidentes (Figuras 3.6 e, 3.6f). É dominada por quartzo e muscovita em seu estado inalterado, enquanto a biotita é em parte transformada em óxidos de Fe e provavelmente em caulinita, conforme demonstra o difratograma desta amostra (Figura 3.7) Albita permaneceu praticamente inalterada ao microscópio, não fossem as inclusões de epídoto, que por sua vez sofrem quebras e início de alteração (Figuras 3.8a, 3.8b) provocando o surgimento de porosidade nos grãos de albita. A alteração da albita também pode ser notada pela redução da quantidade de seus picos característicos (Figura 3.7).

Já as modificações mineralógicas observadas no horizonte Cr1 indicaram que a alteração da biotita é praticamente completa, caracterizada pela perda total de pleocroísmo e anisotropia típicas deste mineral, bem como pela formação de massas oxídicas difusas (Figura 3.8c, 3.8d.) Houveram também fortes indícios da dissolução congruente da albita, em virtude do surgimento de poros, em forma e quantidade semelhantes aos grãos predecessores de albita (Figura 3.8e, 3.8f) e pelo desaparecimento completo do seus picos difratométricos (Figura 3.7). O epídoto, identificável apenas a nível de microscopia ótica (Figura 3.6a, 3.6b, 3.6c, 3.6d), sofreu alteração completa e aparentemente é responsável pela formação dos óxidos dendríticos, observados nos vazios deixados pela dissolução da albita (Figuras 3.9a, 3.9b). A estrutura litológica foi ligeiramente alterada ao nível microscópio, mas aparentemente não houve colapso. Os picos do DRX confirmam a existência de quartzo, muscovita e a formação de caulinita (Figura 3.

(a) P1-R-tppl-25X- textura porfiroblástica, plagioclásio, biotita e epídoto

(b) P1-R-txpl-25X- textura porfiroblástica, plagioclásio, biotita, epídoto e quartzo

(c) P1-R-tppl-100X- inclusões de epídoto em grão de albita e feixe de muscovita

(d) P1-R-txpl-100X- inclusões de epídoto em grão de albita e feixe de muscovita

(e) P1-Cr2-tppl-25X- alteração de feixe biotítico

(f) P1-Cr2-txpl-25X- alteração de feixe biotítico

Figura 3.6 - Fotomicrografias do perfil 1 (R e Cr2)

Figura 3.7 - Difratomogramas em pó do perfil 1, de amostras de rocha (R), saprolito (Cr2, Cr1) e fragmentos saprolitizados (C2) (M-mica; Q-quartzo; A-albita; K-caulinita)

(a) P1-Cr2-tppl-100X- albita em início de alteração e biotita alterada

(b) P1-Cr2-txpl-100X- albita em início de alteração e biotita alterada

(c) P1-Cr1-tppl-25X- alteração da biotita e formação de massas oxídicas difusas

(d) P1-Cr1-txpl-25X- alteração da biotita e formação de massas oxídicas difusas

(e) P1-Cr1-tppl-25X- poros fissurais e de dissolução

(f) P1-Cr1-txpl-25X- poros fissurais e de dissolução

Figura 3.8 - Fotomicrografias do perfil 1 (Cr2 e Cr1)

As alterações observadas no horizonte C2 acompanham algumas daquelas observadas no horizonte Cr1, principalmente em relação a biotita e epídoto (Figuras 3.9c, 3.9d). No entanto, neste horizonte observou-se vários estágios de alteração da albita, tais como corrosão (Figuras 3.9e, 3.9f) e dissolução completa, bem como grãos intactos (Figura 3.10a, 3.10b). As

observações em seção fina evidenciaram também, que as formações oxídicas presentes dentro das albitas alteradas são provenientes da alteração do epidoto, tanto em função da localização intramineral, quanto pela diferenciação em relação às formações oxídicas provenientes da alteração das biotitas. Apesar dos dados obtidos por DRX (Figura 3.7) neste horizonte indicarem pequena quantidade de albita, a observação de seção fina indica que a presença deste mineral ainda é bastante marcante. A modificação mais importante diz respeito a perda de estrutura em relação a rocha de origem, o que justifica nomear este horizonte de C e não de Cr (saproilito). Aparentemente ocorreu colapso causando assim a desorganização estrutural.

No horizonte C1 o processo de pedogeneização foi mais evidente com a formação de porosidade mais conectada e agregação, bem como a homogeneização da matriz (Figura 3.10c, 3.10d). As alterações mineralógicas adquirem um certo grau de estabilidade, restando apenas minerais parentais mais resistentes como muscovita e quartzo (Figura 3.10e, 3.10f).

O horizonte B foi caracterizado pela forte birrefringência da matrix provocada pela grande quantidade de muscovita na fração areia (Figuras 3.11a, 3.11b). Oorreram algumas massas relictuais saprolitizadas caracterizadas pela junção de partículas de muscovita com óxido de Fe e revestimentos de argila (Figuras 3.11c, 3.11d). Os preenchimentos de argila orientada se concentram nos relictos de saprolito e chegaram a preencher completamente os poros (Figuras 3.11e, 3.11f). Esses revestimentos de argila, ao que tudo indica, foram formados pela translocação de argila. Destaca-se que nas descrições efetuadas a campo estas formações não foram notadas como cerosidade, provavelmente pela localização específica e pouco abundante dessas feições. Apesar deste horizonte ser categorizado como Bi, deve-se considera-lo como em processo de transformação para Bt ou como *intergrade* Bi/Bt, em virtude dessas observações.

Em relação ao horizonte A não ocorreram alterações mineralógicas significativas em relação ao B, apenas redução do tamanho de partículas micáceas e quartzosas (Figura 3.12a, 3.12b). Ficou evidente a permanência de muscovita em seu estado inalterado, o que foi notado pela manutenção da sua birrefringência e forma características (Figura 3.12c, 3.12d, 3.12e, 3.12f).

(a) P1-Cr1-rxpl-25X- formações oxídicas dendríticas no interior de poros de dissolução

(b) P1-Cr1-rxpl-100X- formações oxídicas dendríticas no interior de poros de dissolução

(c) P1-C2-tppl-25X- poros de dissolução, albita e biotita alteradas

(d) P1-C2-txpl-25X- poros de dissolução, albita intacta e alterada

(e) P1-C2-tppl-25X- albita em processo de dissolução

(f) P1-C2-txpl-25X- albita em processo de dissolução albita e biotita alterada

Figura 3.9 - Fotomicrografias do perfil 1 (Cr1 e C2)

(a) P1-C2-tppl-100X-albita intacta e alteração de biotita

(b) P1-C2-txpl-albita intacta e alteração de biotita-100X

(c) P1-C1-tppl-25X-pedoplasmação

(d) P1-C1-txpl-25X- trama bi-refringente provocada pela muscovita residual

(e) P1-C1-tppl-100X- muscovita e quartzo

(f) P1-C1-txpl-100X- muscovita e quartzo

Figura 3.10 - Fotomicrografias do perfil 1 (C2 e C1)

Considerando dados difratométricos (Anexo C) da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 1, observou-se evidente formação de caulinita em todos os horizontes e permanência do quartzo. Nos horizontes inferiores (Cr2 e Cr1) ainda se notou a presença de albita, o que pode representar certa importância como reserva de nutrientes caso hajam plantas que possam acessar esta camada, como espécies perenes ou graminosas. A muscovita presente na fração silte teve o seu sinal reduzido em direção ao topo e desapareceu quase completamente no horizonte A, sendo provavelmente transformada em caulinita, conforme identificado microscopicamente (Figuras 3.12e, 3.12f). No entanto, a forte birrefringência da fração areia no horizonte A, conforme discutido no parágrafo anterior comprova o caráter de grande estabilidade deste mineral, o que sugere ser temerário tratá-lo como indicativo de reserva nutricional de um solo dado o seu caráter de quase inalterabilidade, mesmo em frações diminutas de areia. A fração argila dos mesmos horizontes é dominada pela caulinita e illita (Anexo C).

A sequência de alteração obedeceu a ordem biotita > epidoto > albita > muscovita > quartzo. Os produtos neoformados pela alteração foram óxido-hidróxidos de Fe, caulinita e illita.

Para Zauhyah, Schaefer e Simas (2010) a alteração da biotita é expressa pela perda do pleocroísmo e o decréscimo das cores de interferência, fenômenos indicativos da transformação para interestratificados biotita-vermiculita e óxidos de Fe ao longo dos planos de clivagem ou das bordas do cristal. A transformação de biotita no perfil 1 e, conforme também observado no perfil 5, obedece em parte esta lógica, entretanto, o principal produto neoformado mesmo considerando os estágios iniciais de alteração corresponderam à formação de óxidos de Fe.

(a) P1-B-tppl-25X-agregação e porosidade

(b) P1-B-tppl-25X- agregação, porosidade e birrefringência

(c) P1-B-tppl-25X- material pedogeneizado e relicto de saprolito ferruginizado

(d) P1-B-tppl- material pedogeneizado e relicto de saprolito ferruginizado

(e) P1-B-tppl-100X- relicto de saprolito ferruginizado e com preenchimento de argila

(f) P1-B-txpl-100X- relicto de saprolito ferruginizado e com preenchimento de argila

Figura 3.11 - Fotomicrografias do perfil 1 (B)

(a) P1-A-tppl-25X- agregação e homogeneização da matrix

(b) P1-A-txpl-25X- agregação e homogeneização da matrix-25X

(c) P1-A-tppl-200X- grãos de quartzo e matrix argilo-oxídica-200X

(d) P1-A-txpl-200X- birrefringência provocada pela muscovita-200X

(e) P1-A-tppl-muscovita caulinitizada-400X

(f) P1-A-txpl-400X-muscovita caulinitizada-400X

Figura 3.12 - Fotomicrografias do perfil 1 (A)

3.3.2.2 Perfil 2- Clorita Xisto feldspático

A rocha parental do perfil 2 é caracterizada pela presença de feldspato sem geminação (grupo do plagioclásio), muscovita, quartzo e clorita (Figura 3.13a, 3.13b, 3.13c, 3.13d). Dados difratométricos de raios X sugerem que o feldspato presente nesta amostra se trata de albita e que a clorita se enquadra no padrão de identificação da chamosita (Figura 3.14). Esta rocha apresentou estrutura xistosa e textura porfiroblástica, em virtude dos cristais de albita bem orientados que se destacam na matriz micácea. Deste modo pode-se classificá-la como Clorita-muscovita-quartzo Xisto feldspático tomando-se como base a sua estrutura e predominância mineralógica.

A primeira frente de alteração, representada pelo horizonte RCr, foi caracterizada pela alteração dos feixes cloríticos em óxidos de Fe (Figuras 3.13e, 3.13f). Alguns desses feixes se apresentaram apenas parcialmente alterados, o que pôde ser percebido pela perda parcial do pleocroísmo característico das cloritas e pelos picos difratométricos nesta amostra (Figura 3.14). Albita sofreu alteração inicial, conforme se percebe pela redução dos picos de DRX (Figura 3.14) utilizados para sua identificação. Também ocorreu a alteração de um mineral cúbico, o qual não foi identificado na rocha parental, mas que supostamente pode se tratar de pirita, galena ou magnetita (Figuras 3.15a, 3.15b), o que será discutido mais a diante.

No nível de alteração denominado Cr3 ocorreu a transformação total da clorita para óxido-hidróxidos de Fe e caulinita (Figura 3.14; Figuras 3.15c, 3.15d). Também ocorreu a dissolução congruente da albita, caracterizada pelo aparecimento de poros de dissolução com a mesma forma e quantidade do seu mineral predecessor (Figuras 3.15c, 3.15d). Aparentemente, as alterações de albita identificadas no perfil 2 são mais intensas do que aquelas observadas no perfil 1, o que pode estar relacionado a existência de geminação e inclusões de epídoto nos grãos plagioclásicos no perfil 2. Houve a presença de minerais opacos, ligeiramente oxidados, que se enquadram nos requisitos para a identificação de magnetita sob luz refletida polarizada (Figuras 3.15e, 3.15f).

(a) P2-R-tppl-100X- textura porfiroblástica com clorita, muscovita e plagioclásio

(b) P2-R-txpl-100X- textura porfiroblástica com clorita, muscovita e plagioclásio

(c) P2-R-tppl-200X- clorita, muscovita e plagioclásio

(d) P2-R-txpl-200X- clorita, muscovita e plagioclásio

(e) P2-RCr-tppl-100X alteração da clorita

(f) P2-RCr-txpl-100X alteração da clorita

Figura 3.13 - Fotomicrografias do perfil 2 (R e RC)

Figura 3.14 - Difratogramas em pó do perfil 2, de amostras de rocha (R), saprolito (RCr, Cr3, Cr2, Cr1) e fragmentos saprolitizados (CB)- (C-clorita; M-mica; Q-quartzo; A-albita; K-caulinita)

(a) P2-RCr-rxpl-100X-pirita alt?

(b) P2-RCr-rxpl-200X pirita alt?

(c) P2-Cr3-tppl-100X- alteração de clorita e albita

(d) P2-Cr3-tppl-100X- alteração de clorita e albita

(e) P2-Cr3-rppl-200X- magnetita em alteração

(f) P2-Cr3-rxpl-200X- magnetita em alteração

Figura 3.15 - Fotomicrografias do perfil 2 (RCr e Cr3)

(a) P6-Cr2-tppl-25X-massa pedogeneizada imersa em horizonte saprolítico com poros de dissolução da albita

(b) P6-Cr2-tppl-25X-massa saprolitizada composta por quartzo, muscovita, e oxi-hidróxidos

(c) P6-Cr2-rppl-100X-magnetita alterada

(d) P6-Cr2-rxpl-100X- magnetita alterada

(e) P6-Cr2-rppl-200X-magnetita alterada

(f) P6-Cr2-rxpl-200X-magnetita alterada

Figura 3.16 - Fotomicrografias do perfil 2 (CR2)

Diferentemente do horizonte Cr2, no horizonte Cr1 não ocorreram massas pedogeneizadas evidentes (Figura 3.17a). No entanto, apesar da aparente manutenção da textura e estrutura da rocha de origem observada macroscopicamente, a nível microscópico observou-se importantes alterações da disposição dos minerais (Figura 3.17a). Tais alterações se referem às mudanças nas direções das partículas micáceas e na modificação da forma dos poros de dissolução, o que pode indicar colapso. Não se descarta, entretanto, que o material expandiu-se, uma vez que ocorreram poros fissurais. A única diferenciação mineralógica observada em relação ao horizonte subjacente diz respeito a difusão ou movimentação do plasma oxídico de alteração das magnetitas para a região circunvizinha deste pseudomorfo (Figuras 3.17c, 3.17d).

O horizonte BC foi caracterizado pela perda total da estrutura e textura da rocha parental (Figuras 3.17e), no entanto, a pedogenização não atingiu seu ápice em razão da existência de massas com coloração desuniforme (Figura 3.18a). Sua matriz apresentou forte birrefringência em razão da presença marcante de muscovita na fração areia (Figura 3.17f), e as alterações pseudomórficas da magnetita foram semelhantes ao horizonte anterior (Figura 3.18b).

O horizonte B foi marcado pela homogeneização da coloração matricial e elevada birrefringência, provocada pela presença de muscovita na fração areia (Figura 3.18c, 3.18d). Restaram apenas fragmentos saprolítico ferruginizados (Figura 3.18e, 3.18f). Pseudomorfos de magnetita apresentaram feições semelhantes ao relatado anteriormente. A macroporosidade foi elevada mas parcamente conectada, sugerindo processo de colapso neste horizonte.

Em termos mineralógicos, no horizonte A observou-se apenas a presença de quartzo e muscovita como minerais resistentes ao processo de alteração (Figura 3.19a, 3.19b). Houve a presença de pseudomorfos de magnetita e a destruição parcial destes (Figura 3.19c, 3.19d, 3.19e, 3.19f).

Dados de DRX da fração silte em horizontes que apresentavam material pedogeneizado ou parcialmente pedogeneizado indicaram a presença de quartzo, caulinita e micas (provavelmente muscovita) nos horizontes inferiores Cr2, Cr1 (Anexo C) Já nos horizontes mais pedogeneizados, BC, B e A identificou-se apenas quartzo e caulinita. Em relação à fração argila identificou-se apenas caulinita, ilita e goethita (Anexo C).

(a) P2-Cr1-tppl-25X- estrutura semelhante à rocha de origem

(b) P2-Cr1-tppl-100X- alteração na disposição de partículas micáceas alteradas

(c) P2-Cr1-rppl-100X- pseudomorfo de magnetita- 100X

(d) P2-Cr1-rxpl-100X- pseudomorfo de magnetita com inclusão de quartzo

(e) P2-BC-tppl-25X- massa pedogeneizada

(f) P2-BC-txpl-25X- matriz com forte birrefringência pedogeneizada com quartzo e muscovita

Figura 3.17 - Fotomicrografias do perfil 2 (Cr1 e BC)

(a) P2-BC-tppl-25X-coloração desuniforme da matriz

(b) P2-BC-rxpl-100X- pseudomorfo de magnetita

(c) P2-B-tppl-25X-coloração uniforme e macroporosidade desconectada

(d) P2-B-txpl-25X-macroporosidade desconectada e forte birrefringência

(e) P2-B-tppl-25X- fragmento saprolítico ferruginizado

(f) P2-B-txpl-25X- fragmento saprolítico ferruginizado

Figura 3.18 - Fotomicrografias do perfil 2 (BC e B)

(a) P2-A-tppl-25X- homogeneidade matricial e macroporosidade bem desenvolvida

(b) P2-A-txpl-25X- quartzo e trama birrefringente provocada pela muscovita

(c) P2-A-tppl-25X- pseudomorfo de magnetita

(d) P2-A-txpl-25X

(e) P2-A-rxpl-100X-pseudomorfo de magnetita em destruição parcial

(f) P2-A-rxpl-200X- destruição parcial de pseudomorfo de magnetita

Figura 3.19 - Fotomicrografias do perfil 2 (A)

Zauyah, Schaefer e Simas (2010) destacaram que a muscovita mostra um decréscimo na birrefringência durante o intemperismo, resultando em cores de interferência cinza-amarelada em direção às bordas, enquanto que o centro permanece inalterado. Entretanto, conforme detectado nos perfis P1 e P2 esta transformação não aconteceu de maneira evidente na fração areia, permanecendo a muscovita com o seu padrão de identificação praticamente inalterado, o que atesta a elevada resistência da muscovita à intemperização em ambientes tropicais.

Em relação a alteração de feldspatos, Zauyah, Schaefer e Simas (2010) destacaram que na porção inferior do saprolito dois tipos de intemperismo do feldspato são observados: troca *in situ* por gibbsita e dissolução criando vacúolos dentro dos grãos e reentrâncias ao longo de suas bordas. Berner e Holdren Jr. (1979) demonstraram que a alteração de feldspatos em solos e saprolito provoca o aparecimento de poros de dissolução no interior dos grãos, gerando-se estruturas cavernosas. Frazier e Graham (2000) também observaram a dissolução de plagioclásios em forma de cavidades ao longo dos planos de clivagem, em camadas saprolíticas desenvolvidas a partir de rocha granítica tonalítica máfica sob clima mediterrâneo na Califórnia. Entretanto, no caso do perfil 2, o processo de dissolução congruente de albitas provocou o desaparecimento completo dos grãos de feldspato, criando poros do mesmo formato destes minerais, fenômeno não relatado na literatura consultada. É provável neste caso, que a ação do clima, caracterizada por médias pluviométricas e de temperatura mais elevadas, associadas a maior tempo de exposição do material geológico ao intemperismo possa realmente causar o desaparecimento do plagioclásio. Já no caso do perfil 1, o processo de dissolução ocorreu com intensidade menor e albitas promoveram provavelmente a formação de caulinita, não havendo evidências claras de sua substituição por gibbsita. Segundo Berner e Holdren Jr. (1979) a dissolução de feldspatos em solos normalmente é mais intensa nos oligoclásios (série albita-anortita) do que nos microclínios.

Para sanar as dificuldades de identificação dos minerais cúbicos apresentados pelo perfil 2, foram extraídas partículas da fração areia dos horizontes A e B, em que essas se apresentavam em maior abundância. Com o uso de magneto extraiu-se partículas magnéticas, enquanto as não magnéticas foram extraídas com o uso de pinça (por catação) em lupa binocular. Em seguida procedeu-se a moagem do material para difratometria em pó. Os dados difratométricos indicaram que as partículas magnéticas, extraídas tanto do horizonte A quanto do B, são compostas por uma mistura de fases contendo quartzo, magnetita, hematita e quantidade diminuta de goethita (Figura 3.20). Já as partículas cúbicas não magnéticas, considerando ambos horizontes, foram compostas predominantemente por hematita, goethita.

Apesar da raridade e da forma incomum, em algumas situações a magnetita pode se apresentar em formas cúbicas.

A sequência de alteração obedeceu a ordem clorita > albita > magnetita > muscovita > quartzo. Os produtos neoformados pela alteração foram óxido-hidróxidos de Fe, caulinita e ilita.

Figura 3.20 - Difractogramas de partículas cúbicas magnéticas e não magnéticas extraídas dos horizontes A e B do perfil 2 (Ma-magnetita; Q-quartzo; G-goethita; H-hematita)

3.3.2.3 Perfil 3- Quartzo muscovita Xisto

A rocha parental do perfil 3 é caracterizada pela estrutura xistosa e textura lepidoblástica (Figura 3.21a, 3.21b), sendo mineralogicamente constituída predominantemente por faixas de quartzo intercaladas por faixas de muscovita (Figura 3.21c, 3.21d). Também ocorre a presença expressiva de magnetita (Figura 3.21e, 3.21f) dispersas tanto nas faixas de quartzo, quantas nas de muscovita. Deste modo, pode-se classificá-la como quartzo-muscovita xisto.

Na primeira frente de alteração, representada pelo horizonte RCr2 ocorreu o surgimento expressivo de macroporosidade (Figuras 3.22a, 3.22b), o que de certa maneira intriga em razão de não haver dissolução de minerais ou formação expressiva de argilominerais. É provável que haja, entretanto, expansão do material por alívio de pressão gerando porosidade fissural. Houve alteração pronunciada de magnetitas para óxidos de Fe (Figuras 3.22c, 3.22d), particularmente daquelas situadas nos filões de quartzo, enquanto que aquelas situadas nos feixes muscovíticos permaneceram praticamente intactas (Figuras 3.22e, 3.22f). Este efeito pode ser atribuído à presença do quartzo, uma vez que o seu poder abrasivo (devido a elevada dureza) provavelmente provocou defeitos físicos nos cristais de magnetita, tornando-os mais susceptíveis ao intemperismo em relação às magnetitas imersas em feixes muscovíticos, que por sua vez são caracteristicamente elásticos e de baixa dureza. Supõe-se que as magnetitas imersas nos filões de quartzo tenham sofrido danos físicos como quebras e fissuração, provocados durante o metamorfismo ou quando houve movimentação da massa de alteração durante o intemperismo.

No horizonte Cr1 coexistem porções em estado avançado de alteração (Figuras 3.23a, 3.23b) com aquelas praticamente intactas (Figuras 3.23e, 3.23f). As porções altamente alteradas são caracterizadas pela destruição total de magnetitas, bem como alteração da muscovita para caulinita, o que pôde ser percebido pela perda de anisotropia característica e pela formação de partículas expandidas (Figuras 3.23c, 3.23d). Dados difratométricos confirmaram o surgimento de caulinita neste horizonte (Figura 3.24). Também foram formadas nessas porções microagregados escuros, supostamente compostos de óxidos de Mn ou Ti (Figuras 3.25a). Nas zonas praticamente intactas, observou-se apenas alteração inicial de magnetitas imersas em feixes de muscovita (Figuras 3.25b).

(a) P3-R-tppl-25X- textura grano-lepidoblástica com quartzo, muscovita e magnetita

(b) P3-R-txpl-25X- textura grano-lepidoblástica com quartzo, muscovita e magnetita

(c) P3-R-tppl-200X- muscovita e magnetita

(d) P3-R-txpl-200X- muscovita e magnetita

(e) P3-R-rppl-200X- magnetita

(f) P3-R-rxpl-200X-magnetita

Figura 3.21 - Fotomicrografias do perfil 3 (R)

(a) P3-RCr2-tppl-25X- surgimento de macroporosidade fissural e óxidos de Fe

(b) P3-RCr2-txpl-25X- surgimento de macroporosidade fissural, quartzo e muscovita

(c) P3-RCr2-tppl-100X- alteração de magnetita

(d) P3-RCr2-txpl-100X- muscovita e quartzo

(e) P3-RCr2-rxpl-100X- magnetita alterada em filão de quartzo e magnetita intacta em feixe muscovítico-100X

(f) P3-RCr2-rxpl-200X- magnetita alterada em filão de quartzo e magnetita intacta em feixe muscovítico-200X

Figura 3.22 - Fotomicrografias do perfil 3 (RCr2)

(a) P3-RCr1-tppl-25X-

(b) P3-RCr1-tppl-25X-

(c) P3-RCr1-txpl-100X- muscovita em alteração, perda de anisotropia e expansão

(d) P3-RCr1-tppl-100X-muscovita em alteração

(e) P3-RCr1-tppl-100X-muscovita inalterada e magnetita alterada

(f) P3-RCr1-txpl-100X- muscovita inalterada e magnetitas alterada

Figura 3.23 - Fotomicrografias do perfil 3 (RCr1)

Figura 3.24 - Difratomogramas em pó do perfil 3, de amostras de rocha (R), saprolito (RCr2, RCr1, Cr) e fragmentos saprolitizados (C)- (M-mica, Q-quartzo; K-caulinita)

O horizonte Cr foi caracterizado pela translocação de frações finas, formando-se acumulações e revestimentos argilosos próximos a feixes muscovíticos e nas cavidades dos filões de quartzo (Figuras 3.25c, 3.25d). Esses revestimentos são constituídos por uma mistura de óxi-hidróxidos de Fe (Figuras 3.25e, 3.25f) e caulinita conforme indicaram os dados difratométricos (Figura 3.24). Provavelmente os revestimentos são oriundos de translocações, uma vez que não há evidências da presença de minerais capazes de promover a formação dessa feição *in situ*. A estrutura rochosa foi preservada e apenas surgiram poros fissurais e reorganização plásmica.

O horizonte C foi caracterizado pela coexistência de fragmentos saprolitizados muscovíticos bem preservados e massas pedogeneizadas (Figuras 3.26a, 3.26b). Nas massas pedogeneizadas a coloração é uniforme e a macroporosidade bastante desenvolvida. Fragmentos saprolíticos se apresentaram com bordas ferruginizadas, muscovita bem preservada e com magnetitas em estágios variáveis de alteração (Figuras 3.26c, 3.26d). A estrutura rochosa foi parcialmente destruída, mas ainda se observou que a disposição dos fragmentos guardava relação com a orientação apresentada pela rocha, não havendo claras evidências de colapso.

No horizonte B a homogeneização se completou, não restando mais vestígios da estrutura rochosa. Formou-se típica estrutura de solo, composta por grânulos e blocos subangulares (Figuras 3.26e, 3.26f). Apresentou alguns feixes muscovíticos intactos e trama birrefringente conferida por muscovitas presentes na fração areia (Figuras 3.27a, 3.27b).

O horizonte A foi caracterizado pela presença de material pédico com estrutura granular e em blocos subangulares, além de fragmentos quartzosos e saprolíticos diminutos (Figuras 3.27c, 3.27d). Esses fragmentos foram constituídos por feixes muscovíticos ferruginizados, mas com muscovitas bem preservadas, dada a sua forte anisotropia (Figuras 3.27e, 3.27f).

(a) P3-RCr1-rxpl-100X- formação de óxidos de Ti ou Mn

(b) P3-RCr1-rxpl-100X- alteração inicial de magnetita para goethita em feixe de muscovita inalterada

(c) P3-Cr-tppl-25X- formações argilosas caulínítico-oxídicas em meio a filões de quartzo-25X

(d) P3-Cr-txpl-preenchimento de argila (óxido de Fe e caulinita)-25X

(e) P3-Cr-tppl-100X- preenchimento de argila (óxido de Fe e caulinita)

(f) P3-Cr-txpl-100X- preenchimento de argila (óxido de Fe e caulinita)

Figura 3.25 - Fotomicrografias do perfil 3 (RCr1, Cr)

(a) P3-C-tppl-25X- fragmento saprolítico e massa pedogeneizada

(b) P3-C-txpl-25X- fragmento saprolítico e massa pedogeneizada

(c) P3-C-tppl-100X- fragmento saprolítico com magnetitas em estágios variáveis de alteração

(d) P3-C-txpl100X- fragmento saprolítico com magnetitas em estágios variáveis de alteração

(e) P3-B-tppl-25X- estrutura granular

(f) P3-B-txpl-25X- estrutura granular

Figura 3.26 - Fotomicrografias do perfil 3 (C, B)

(a) P3-B-tppl-100X- matriz homogênea

(b) P3-B-txpl-100X- matriz homogênea e birrefringência provocada pela muscovita

(c) P3-A-tppl-25X- estrutura granular e fragmentos saprolíticos

(d) P3-A-txpl-25X- estrutura granular e fragmentos saprolíticos

(e) P3-A-tppl-100X- fragmento saprolítico

(f) P3-A-txpl-100X fragmento saprolítico

Figura 3.27 - Fotomicrografias do perfil 3 (B, A)

Por meio de dados obtidos por DRX (Figura 3.24) observou-se que o processo de alteração promoveu a formação de caulinita nos fragmentos saprolíticos presentes nos horizontes RCr1, Cr e C. Esta caulinita foi formada via alteração de muscovita, que neste caso é o filossilicato predominante nesta rocha capaz de ser o seu precursor e se transformar em

caulinita. Observando-se as seções finas foi possível depreender também que o mineral que se altera primeiro nesta rocha se trata da magnetita, uma vez que no DRX (Figura 3.24) da amostra RCr2 não há evidências de formação de caulinita a partir de muscovita. Identificou-se que a alteração da magnetita foi proeminente quando este mineral estava situado no interior de grãos ou faixas de quartzo, enquanto que aqueles situados no interior de feixes muscovíticos praticamente não sofreram alterações. Supõe-se que esta alteração diferenciada da magnetita está relacionada à sua condição pretérita, sendo que durante o metamorfismo é provável que as magnetitas sofreram maior abrasão quando inseridas nos grãos de quartzo, enquanto que aquelas situadas nos feixes muscovíticos não sofreriam grandes modificações dado o caráter de plasticidade desses últimos. Outra possibilidade é que o efeito abrasivo do quartzo tenha ocorrido durante o próprio processo de intemperismo, devido a quebras e movimentações de expansão e contração do material.

A fração silte de amostras pedoplasgadas apresentou quase que exclusivamente quartzo em todos os horizontes (Anexo C). À exceção do horizonte A, os demais horizontes apresentaram apenas quantidades diminutas de muscovita na fração silte.

A fração argila também se apresentou composta principalmente por caulinita e illita (Anexo C). A composição foi praticamente homogênea ao longo do perfil, não fosse a formação de gibbsita mais expressiva nos horizontes C e Cr1. Este fato provavelmente está relacionado às condições mais severas de alteração em subsuperfície ou à distribuição irregular de minerais predecessores de gibbsita (no caso, muscovita), conforme se constatou pela intercalação de camadas predominantemente quartzosas com camadas mais concentradas em muscovitas.

A sequência de alteração obedeceu a ordem magnetita > muscovita > quartzo. Os produtos neoformados pela alteração foram óxido-hidróxidos de Fe, caulinita, illita e gibbsita.

Considerando estes três primeiros perfis, observou-se que existe uma transição gradual entre uma trama típica de saprolito, uma trama saprolítica contínua com áreas pedoplasgadas, uma trama típica de solo com remanescentes de saprolito e finalmente uma trama completa de solo, conforme haviam destacado anteriormente Stoops e Schaefer (2010).

Segundo Stoops e Schaefer (2010) algumas feições típicas de zonas de pedoplasmação são observadas com o progresso do intemperismo: perda da nitidez dos limites de alteromorfos de argila, fragmentação de pseudomorfos ferruginosos ou gibbsíticos e de minerais primários resistentes (granada, quartzo); deformação da fábrica devido ao incremento de volume em alguns minerais em transformação (p.e. biotita para caulinita) ou provocada pelo crescimento de minerais (calcita ou gibbsita); perda da continuidade ótica

entre fragmentos de componentes de textura grossa; colapso dos vazios deixados pela dissolução congruente de alguns minerais (calcita, feldspato). Enquanto o saprolito é massivo e apresenta apenas poros formados pela dissolução congruente de minerais e poros internos nos alteromorfos, uma microestrutura pedal gradualmente se desenvolve durante a pedoplasmação. Em materiais pedais, novos poros são progressivamente formados por diversos processos: a bioturbação leva a formação de poros dos tipos câmaras e canais; o colapso de vazios deixados pela dissolução congruente de minerais promove o aparecimento de vazios (*vughs*) irregulares; ciclos de umedecimento e secagem formam poros planares (STOOPS; SCHAEFER, 2010).

3.3.2.4 Perfil 4 – Talco-clorita-tremolita Xisto

A rocha parental do perfil 4 foi composta predominantemente pelos minerais tremolita e talco, com clorita preenchendo os espaços entre esses minerais (Figuras 3.28a, 3.28b, 3.28c, 3.28d). Apresentou textura xistosa e textura nematoblástica e de acordo com a predominância mineralógica pode ser classificada como clorita-talco-tremolita xisto, conforme confirmam os resultados obtidos a partir de DRX (Figura 3.29). As bordas da rocha apresentaram alterações ferruginosas (Figuras 3.28e, 3.28f).

O horizonte Cr foi marcado pela alteração dos minerais parentais como um todo, não se observando feições típicas para suas respectivas identificações (Figuras 3.30a, 3.30b). Os espaços interminerais entre tremolitas é alterado para óxidos de Fe, aparentemente às expensas da clorita. A tremolita também perdeu totalmente sua forma nematoblástica e anisotropia, sendo provavelmente transformada em caulinita, conforme sugerem os dados de DRX (Figura 3.29). Coexistiram zonas pedoplasgadas com excrementos biológicos, provavelmente resultado da ação de organismos geófagos (Figura 3.30c). Também ocorreu intensa formação de acúmulos de argila ferruginizada fortemente orientada (Figura 3.30d). Apesar das fortes modificações mineralógicas e de zonas pedoplasgadas, a estrutura rochosa se encontrou bem preservada.

No horizonte C houve a presença concomitante de massa com pedalidade bem desenvolvida e de fragmentos saprolíticos com morfologia rendada (Figuras 3.30e, 3.30f). A formação de revestimento de argila foi bastante comum neste horizonte e se localizou sempre próxima aos fragmentos saprolitizados (Figuras 3.31a, 3.31b). Ao que tudo indica esses revestimentos foram formados por argilas hematíticas (Figuras 3.31c, 3.31d). A estrutura rochosa foi completamente destruída neste estágio, justificando o título de horizonte C.

(a) P4-R-tppl-tremolita, talco e clorita-100X

(b) P4-R-txpl-tremolita, talco e clorita-100X

(c) P4-R-tppl-200X- tremolita, talco e clorita

(d) P4-R-txpl-tremolita, talco e clorita-200X

(e) P4-R-tppl-alteração nas bordas-100X

(f) P4-R-txpl-alteração nas bordas-100X

Figura 3.28 - Fotomicrografias do perfil 4 (R)

Figura 3.29 - Difrátogramas em pó do perfil 4, de amostras de rocha (R), saprolito (Cr) e fragmentos saprolitizados (C, B, A) (Cl-clorita; Ta-talco; Tr-tremolita; Q-quartzo; K-caulinita)

(a) P4-Cr-tppl-25X- morfologia de alteração

(b) P4-Cr-txpl-25X- morfologia de alteração

(c) P4-Cr-tppl-100X- formação de massa pedogeneizada com excrementos biogênicos

(d) P4-Cr-txpl-100X- formação de argila orientada

(e) P4-C-tppl-25X- massa saprolítica rendada e massa pedogeneizada

(f) P4-C-txpl-25X- massa saprolítica rendada e massa pedogeneizada

Figura 3.30 - Fotomicrografias do perfil 4 (Cr, C)

O horizonte B foi caracterizado pela forte agregação e presença abundante de formações de argila orientada (Figuras 3.31e, 3.31f). Essas formações foram constituídas por filmes de argila cauliníticas-goetíticas conforme demonstram as fotomicrografias obtidas por meio de luz refletida polarizada cruzada (Figuras 3.32a, 3.32b). Coexistiram alguns fragmentos saprolitizados, com mineralogia totalmente alterada em relação ao material parental, impregnados por hematita e revestidos por argilas.

O horizonte A foi caracterizado pela mistura de agregados de solo a fragmentos de rochas em estado variável de alteração (Figuras 3.32c, 3.32d). Ópticamente pôde-se identificar apenas tremolita em estágio parcial de alteração (Figuras 3.32e, 3.32f), entretanto, dados de DRX comprovam que também existiam quartzo, talco e clorita (Figura 3.29) nestes fragmentos. No caso deste perfil de solo, parece evidente que na sua formação houve contribuição expressiva de material coluvionar, em virtude da presença dos fragmentos de rocha pouco alterada, as quais estavam dispostas aleatoriamente em relação à disposição original do material de origem, conforme pôde-se notar durante às observações de campo (vide Anexo A-perfil 4-descrição do horizonteA).

A clorita presente na rocha do perfil 4 se trata de clinocloro segundo a difratometria de raios X (Figura 3.29). O padrão de alteração observado no horizonte Cr indica destruição total de tremolita e talco, com intensa transformação para caulinita. Clorita é parcialmente preservada neste horizonte. Nos horizontes C e B, fragmentos saprolíticos apresentaram apenas quartzo e caulinita, representando o estágio final de intemperismo. Já o horizonte A apresentou quantidades abundantes de material rochoso parcialmente alterado, caracterizado pela notável presença de clorita bem preservada. Tremolita e talco também estão presentes neste último, mas apresentaram sinais de alteração notados pela redução da intensidade de picos de DRX e alteração das propriedades óticas (Figuras 3.32e, 3.32f).

Difratogramas da fração silte de materiais pedogeneizados do perfil 4, indicaram que os horizontes C e B contém apenas quartzo e caulinita, não havendo praticamente nenhuma reserva nutricional a maiores profundidades neste perfil (Anexo C). Entretanto, a fração silte do horizonte A é constituída por quartzo, clorita, tremolita e talco, o que indica importante reserva.

(a) P4-C-tppl-100X- preenchantos de argila

(b) P4-C-txpl-100X preenchantos de argila

(c) P4-C-rxpl-100X- preenchantos de argila hematítica

(d) P4-C-rxpl-100X- preenchantos de argila hematítica

(e) P4-B-tppl-25X-formações de argila orientada

(f) P4-B-tppl-25X- formações de argila orientada e fragmento saprolítico ferruginizado

Figura 3.31 - Fotomicrografias do perfil 4 (C, B)

(a) P4-B-rxpl-100X-formações de argila orientada caulinitica-goetítica e fragmento saprolítico com manchas hematíticas

(b) P4-B-rxpl-100X-formações de argila orientada caulinitica-goetítica em agregado

(c) P4-A-tppl-25X- agregado com fragmentos de saprolito

(d) P4-A-tppl-25X- fragmento de saprolito ferruginizado

(e) P4-A-tppl-100X- fragmento de saprolito com tremolita parcialmente alterada

(f) P4-A-txpl-100X- fragmento de saprolito com tremolita parcialmente alterada

Figura 3.32 - Fotomicrografias do perfil 4 (B, A)

A fração argila do horizonte C apresentou composição predominantemente caulinítica, com pequena presença de talco (Anexo C). Já os horizontes A e B, além da presença expressiva de caulinita, também apresentaram picos bastante nítidos de talco e clorita (Anexo C). Estas constatações estão em consonância com o observado por Vidal-Torrado et al (2006), que também detectaram a presença de talco e clorita no horizonte B de solos desenvolvidos a partir de rocha semelhante em localidade próxima e, aparentemente podem se constituir em uma raridade em se tratando de ambiente tropical. A abundância desses minerais na fração argila intriga até certo ponto, no entanto, demonstram que a ação do intemperismo pode ser mais intensa no horizonte C levando a maior caulinitização ou que houve a adição de material menos intemperizado no horizonte A por colúviação, conforme suportam as evidências já discutidas.

Morfologicamente este perfil apresentou menor complexidade em termos do número de horizontes e foi possível observar-se a existência de apenas uma zona saprolítica bem definida até a profundidade avaliada. A sequência de alteração obedeceu a ordem talco $\geq$ tremolita > clorita > quartzo. Os produtos neoformados pela alteração foram óxido-hidróxidos de Fe e caulinita.

3.3.2.5 Perfil 5 - Biotita Xisto Granatífero

A rocha parental do perfil 5 apresentou estrutura xistosa e textura porfiro-granoblástica. Destacaram-se da matrix cristais maiores de granada (Figuras 3.33a, 3.33b), circundados por feldspatos, quartzo e biotita, além de muscovita em menor quantidade (Figuras 3.33c, 3.33d). Nesta rocha estão presentes tanto plagioclásio (provavelmente cálcico-labradorita), quanto microclínio, este último em menor quantidade (Figuras 3.33e, 3.33f). De acordo com os critérios de predominância mineralógica pode ser classificada como Biotita-quartzo-feldspato xisto granatífero.

O primeiro nível de alteração, representado pela amostra de rocha alterada RCr, é caracterizado pela alteração oxídica da biotita (Figura 3.34a, 3.34b), responsável pelo início da desagregação e formação de porosidade no material rochoso. Notou-se que a alteração biotítica (Figura 3.34c, 3.34d) foi localizada principalmente próximo aos porfiroblastos de granada. Feldspatos, granada, muscovita e quartzo não sofreram modificações aparentes.

(a) P5-R-tppl-25X-granada, quartzo e biotita

(b) P5-R-txpl-25X-granada, quartzo e biotita

(c) P5-R-tppl-100X- plagioclásio, quartzo, biotita e muscovita

(d) P5-R-txpl-100X- plagioclásio, quartzo, biotita e muscovita

(e) P5-R-tppl-100X- plagioclásio, microclínio, quartzo, biotita e muscovita

(f) P5-R-txpl-100X- plagioclásio, microclínio, quartzo, biotita e muscovita

Figuras 3.33 - Fotomicrografias do perfil 5 (R)

(a) P5-tppl-RCr-12,5X- alteração da biotita próximo a granada

(b) P5-txpl-RCr-12,5X- alteração da biotita próximo a granada

(c) P5-tppl-RCr-100X- alteração da biotita

(d) P5-txpl-RCr-100X- alteração da biotita

(e) P5-Cr2-tppl-12,5X- alteração de biotita e granada

(f) P5-Cr2-txpl-12,5X- alteração de biotita e granada

Figura 3.34 - Fotomicrografias do perfil 5 (RCr, Cr2)

O horizonte Cr2 apresentou caulinitização dos feixes biotíticos observados por meio de flocos expandidos e das perdas generalizadas de pleocroísmo e anisotropia do seu precursor (Figura 3.34e, 3.34f). Não se detectou componentes feldspáticos neste nível, no entanto, supõe-se que estes sofreram dissolução ou transformação para caulinita, conforme sugerem os dados difratométricos desta amostra (Figura 3.35). Porfiroblastos de almandina (granada) se apresentaram alterados para óxidos de Fe, mas mantiveram sua forma original (Figura 3.36 a, 3.36b). Muscovita e quartzo apenas apresentaram redução de tamanho. Apesar das intensas modificações mineralógicas, a disposição dos componentes sólidos ainda guarda relação com a textura observada na rocha parental.

As modificações mineralógicas observadas no horizonte Cr1 são semelhantes àquelas do horizonte precedente, no entanto, ocorreu a homogeneização da coloração matricial (Figura 3.36c, 3.36d) e o predomínio de partículas micáceas muscovíticas (Figura 3.36e, 3.36f). Porfiroblastos de granada se apresentaram bastante alterados, inclusive com orientação do plasma de alteração oxidíco nas bordas e fraturas do pseudomorfo (Figura 3.37a, 3.37b). Apesar da semelhança estrutural com o material de origem, observou-se que o horizonte Cr1 apresentou um certo grau de desordem, notado pela disposição de partículas muscovíticas que agora não apresentam padrão de orientação bem definido.

Horizonte C apresentou massa porosa desagregada de coloração matricial homogênea com evidente desorganização da estrutura e textura do material parental, constituída por muscovita, quartzo e pseudogranadas (Figuras 3.37c, 3.37d). Grande parte das muscovitas apresentaram forte birrefringência conferindo aspecto característico ao fundo matricial (Figuras 3.37e, 3.37f). No entanto, alguns flocos de muscovita se alteraram para caulinita, conforme se detectou claramento no interior de grão de pseudogranada (Figuras 3.38a, 3.38b).

No horizonte B a pedogeneização foi mais evidente, com a formação de agregados e orientações plásmicas siltosas ao redor de poros e grãos de pseudogranadas (Figuras 3.38c, 3.38d). Aparentemente as muscovitas perderam parte de sua anisotropia característica (Figuras 3.38e, 3.38f), transformando-se aos poucos para caulinita. Grãos de pseudogranada apresentaram intensa ferruginização e ao que parece serviram como nucleação para a deposição de óxidos de Fe.

Figura 3.35 - Difratomogramas em pó do perfil 5, de amostras de rocha (R), saprolito (RCr, Cr2, Cr1) e fragmento saprolitizado (C)- (Bi-biotita; La-labradorita; Gr-granada; Q-quartzo; K-caulinita; Gb-gibbsita)

(a) P5-Cr2-tppl-100X- alteração de granada

(b) P5-Cr2-rxpl-100X- alteração de granada

(c) P5-Cr1-tppl-25X-homogeneização da coloração

(d) P5-Cr1-tppl-25X-homogeneização da coloração

(e) P5-Cr1-tppl-100X-preservação da muscovita-

(f) P5-Cr1-txpl-100X-homogeneização da coloração

Figura 3.36 - Fotomicrografias do perfil 5 (Cr2, Cr1)

(a) P5-Cr1-tppl-12,5X- pseudogranada com orientação do plasma oxídico de alteração

(b) P5-Cr1-txpl- pseudogranada com orientação do plasma oxídico de alteração

(c) P5-C-tppl-25X-massa com coloração homogênea

(d) P5-C-txpl-25X- massa porosa desagregada com muscovite e quartzo

(e) P5-C-tppl-25X- flocos de muscovita, quartzo e pseudogranada

(f) P5-C-txpl-25X- birrefringência provocada pela muscovite bem preservada

Figura 3.37 - Fotomicrografias do perfil 5 (Cr1,C)

(a) P5-C-rxpl-100X- muscovita caulinitizada dentro de grão de pseudogranada

(b) P5-C-rxpl- muscovita caulinitizada com hematita entre feixes-200X

(c) P5-B-tppl-12,5X- pseudogranada com revestimentos siltosos

(d) P5-B-txpl-12,5X- pseudogranada com revestimentos siltosos

(e) P5-B-tppl-12,5X- agregação

(f) P5-B-txpl-12,5X- agregação, quartzo e pseudogranada

Figura 3.38 - Fotomicrografias do perfil 5 (C, B)

O horizonte BA apresentou pedacidade bem desenvolvida e acúmulo de pseudogranadas e quartzo (Figuras 3.39a, 3.39b). Já o horizonte A foi caracterizado pela depleção de material fino, com consequente acúmulo de quartzo e muscovita na fração areia (Figuras 3.39c, 3.39d), bem como pseudogranadas na fração grosseira (Figuras 3.39e, 3.39f).

De acordo com os dados obtidos por difratometria o feldspato predominante na rocha de origem do perfil 5 se trata da labradorita, pertencente a série albita-anortita (plagioclásio). A alteração do material provocou, logo no segundo nível de alteração (Cr2) o aparecimento de caulinita e gibbsita, igualmente ao que ocorreu em Cr1 (Figura 3.35). Já no horizonte C, observaram-se apenas quartzo e gibbsita como componentes dos fragmentos saprolíticos. Deste modo, fragmentos saprolíticos ou mesmo o próprio saprolito encontrados no perfil 5, não podem ser considerados como reserva mineral para a nutrição de plantas. Neste caso, apenas o material RCr poderia constituir reserva.

Para elucidar a respeito da mineralogia das granadas e respectivas alterações encontradas no perfil 5, estas foram extraídas de cada horizonte e submetidas a difratometria em pó. De acordo com os difratogramas (Figura 3.40) e fotomicrografias foi possível observar que os porfiroblastos granatíferos da rocha parental são constituídos por almandina com inclusões de quartzo e micas. Com a progressão do intemperismo estes minerais deram origem a pseudomorfos constituídos por quartzo, goetita, gibbsita e broquita (TiO_2), além da permanência de algumas microzonas inalteradas. Houve formação mais expressiva de gibbsita e provável concentração residual de broquita especificamente no horizonte B, conforme pôde-se observar pela comparação entre os difratogramas (Figura 3.40). Estas observações indicam que o intemperismo no interior dos grãos de granada, particularmente no horizonte B, possibilitou o acúmulo de alumínio.

A difração de raios X da fração silte em materiais pedogeneizados do perfil 2 indicaram predominância de quartzo, além de indícios de pequenas quantidades de microclínio e micas, considerando os horizontes A, BA, B e C (Anexo C). Os horizontes B e C se diferenciaram dos demais por conter caulinita e aparentemente também ocorreu nestes horizontes a presença de algum interestratificado micáceo (muscovita-caulinita?). Já em relação a fração argila pôde-se constatar apenas caulinita, gibbsita e ilita (Anexo C).

(a) P5-BA-tppl-12,5X- agregação

(b) P5-BA-tppl-12,5X- concentração de pseudogranadas

(c) P5-A-tppl-200X- redução de material fino

(d) P5-A-txpl-200X- muscovita

(e) P5-A-tppl-12,5X- pseudogranada

(f) P5-A-tppl-25X- pseudogranada

Figura 3.39 - Fotomicrografias do perfil 5 (BA, A)

Figura 3.40 - Difratomogramas de granadas e pseudogranadas extraídas da rocha (R), horizontes saprolíticos (Cr2, Cr1) e pedogênicos (C, B, BA, A)- (Mi-mica; Gr-granada; Br-broquita; Q-quartzo; K-caulinita; Gb-gibbsita; Go-goethita)

Graham et al. (1989) avaliaram perfil de alteração derivado de xisto com composição mineralógica semelhante ao perfil 5, no Estado da Carolina do Norte (EUA). Os autores observaram que os grãos de almandina foram largamente substituídos pseudomorficamente por grãos poliminerálicos compostos por goethita e gibbsita, igualmente ao detectado neste estudo. A formação de revestimentos oxídicos externamente e ao longo das fraturas nos grãos de almandina também foi evidenciada. O aparecimento de gibbsita nas camadas saprolíticas deste perfil foi comprovadamente associado à alteração da almandina (granada), conforme pôde-se constatar pelos dados de DRX apresentados na Figura 3.40, em que se evidencia claramente a formação de gibbsita nos grãos pseudomórficos de granada.

Ao contrário do observado por Graham et al. (1989), entretanto, não se detectou nenhuma evidência da neoformação de filossilicatos 2:1 tal como vermiculita, nem tampouco presença de biotita bem preservada, na fração areia dos horizontes de solo ou nos horizontes saprolíticos do perfil em avaliação. Oliveira et al. (2008) também observou alteração pronunciada da biotita em horizontes C de Luvissolos no semi-árido brasileiro. Kretzschmar et al. (1997) detectaram a formação predominante de caulinita a partir de biotita em perfis de solo-saprolito desenvolvidos em clima quente e úmido, à exemplo do observado nos horizontes dos perfis 1 e 5, cujos materiais de origem apresentavam grande quantidade de biotita. Os autores também constataram que a formação de produtos intermediários entre biotita e caulinita não foi evidente, corroborando com os resultados obtidos.

A sequência de alteração obedeceu a ordem biotita > labradorita > almandina > muscovita > quartzo. Os produtos formados pela alteração foram óxido-hidróxidos de Fe, caulinita, gibbsita e ilita.

3.3.2.6 Perfil 6 - Talco Xisto

A provável rocha parental do perfil 6 foi caracterizada pela predominância de talco (Figuras 3.41a, 3.41b, 3.41c, 3.41d), nitidamente observados ao microscópio. No entanto, dados difratométricos indicaram a concomitante presença de quartzo, albita (Figura 3.42). Portanto, tal rocha poderia ser designada por Quartzo-talco xisto, com textura porfiroblástica.

Na primeira frente de alteração, horizonte RCr, ficou mais evidente a presença do quartzo, plagioclásio em alteração, bem como grande quantidade de sericita (Figura 3.41e, 3.41f). Pôde-se constatar também a presença de biotita em processo de alteração a nível ótico (Figura 3.43a, 3.43b) e, tremolita e clorita por meio de difração (Figura 3.42). Neste caso, a identificação de talco por difratometria ou microscopia ótica não foi inequivocamente obtida, o que parece indicar alguma descontinuidade litológica, alternância da composição mineralógica entre estratos metamórficos ou simplesmente de sua alteração para partículas sericíticas. Quando se coletou o material ocorreu intensa fissuração, sendo extremamente difícil de se obter seções finas de qualidade, assim como no caso de R.

Na fase saprolítica Cr3 observou-se dissolução congruente de plagioclásios evidenciada pela formação de cavidades (Figura 3.43c, 3.43d) com a mesma forma destes minerais e revestimento por argilas cauliníticas neoformadas (Figura 3.43e, 3.43f). Pôde-se observar alteração pseudomórfica de biotita com expansão dos flocos (Figura 3.44a, 3.44b). Não houve evidências da presença inequívoca de talco, o que pode ser causado pela alternância de estratos ou por sua transformação em sericita, que por sua vez foi observada em forma abundante. Ocorreu intensa fissuração do material, formando-se inúmeros canais preenchidos por argilas esmectíticas e cauliníticas, identificadas apenas por meio ótico. Em alguns poros notou-se a presença concomitante de caulinita e esmectita lado a lado. Algumas zonas já se apresentaram desestruturadas em relação a estrutura rochosa, com plasma bem desenvolvido e coloração bruna-esbranquiçada.

No horizonte Cr2 o material saprolítico se apresentou em grande parte caulinitizado e sericitizado, com manchas ferruginizadas e pseudomorfos de albita sericitizados (Figura 3.44c, 3.44d). Houve formação de plasma esbranquiçado ao longo de poros (Figura 3.44e, 3.44f) e revestimentos de argila pouco expressivos. A estrutura xistosa e textura porfiroblástica foram preservadas a despeito do estado intenso de alteração.

(a) P6-R-tppl-25X- talco

(b) P6-R-txpl-25X- talco

(c) P6-R-tppl-100X- talco

(d) P6-R-txpl-100X- talco

(e) P6-RCr-tppl-25X- plagioclásio, sericita e quartzo

(f) P6-RCr-txpl-25X- plagioclásio, sericita e quartzo

Figura 3.41 - Fotomicrografias do perfil 6 (R, RC)

Figura 3.42 - Difractogramas em pó do perfil 6, de amostras de rocha (R) e saprolito (RCr, Cr3, Cr2, Cr1) - (Cl-clorita; M-mica; Pl-plagioclásio; Q-quartzo; K-caulinita; Ta-talco; Tr-tremolita)

(a) P6-RCr-tppl-25X- biotita, sericita e quartzo

(b) P6-RCr-txpl-25X-biotita, sericita e quartzo

(c) P6-Cr3-tppl-25X-alteração da biotita e formação de argila orientada

(d) P6-Cr3-tppl-25X- alteração de biotita, massa sericítica, e formação de argila orientada

(e) P6-Cr3-tppl-200X- formação de argila orientada caulinítica em cavidade de dissolução e massa sericítica

(f) P6-Cr3-txpl-200X- formação de argila orientada caulinítica em cavidade de dissolução e massa sericítica

Figura 3.43 - Fotomicrografias do perfil 6 (RCr, Cr3)

Figura 3.44 - Fotomicrografias do perfil 6 (Cr3, Cr2)

Em Cr1 ocorreu novamente intensa formação de cutãs em meio a matriz de coloração homogênea cinza-marrom-esverdeada (Figuras 3.45a, 3.45b). Aparecem alterações biotíticas pseudomórficas, além de alguns pseudomorfos de talco (Figuras 3.45c, 3.45d). Observou-se grande quantidade de vesículas provenientes da alteração de plagioclásios, bem como

plagioclásios em estado de alteração variáveis com formação de sericita. Estrutura litológica permaneceu preservada.

No horizonte Bt2 surgiram evidências de descontinuidade em razão do grande número de microclínio (Figuras 3.45e, 3.45f), o qual não foi constatado no material rochoso, nem sequer nos horizontes saprolíticos. Notou-se também distribuição irregular de quartzo, em que se intercalaram faixas de grãos grosseiros com faixas de grãos mais finos, indicando processo de soterramento. Deste modo, tudo indica que o manto pedológico não foi produzido *in situ* e provavelmente recebeu contribuição de materiais provenientes da alteração dos gnaisses encaixantes.

Em Bt1 e A persistiram as mesmas observações anteriores a respeito de descontinuidade. Supõe-se que houve concomitante participação de material advindo da alteração do talco-xisto nestes horizontes pedogênicos, em razão da presença abundante de sericita na fração areia fina e silte do solo (Figuras 3.46a, 3.46b). Em Bt1, ocorreu intensa formação de cutãs cauliníticos (Figuras 3.46c, 3.46d). No horizonte A predominaram matriz sericítico-caulinítica e fração areia dominada por quartzo e poucos cristais de microclínio (Figuras 3.46e, 3.46f).

O perfil como um todo, solo e saprolito, mostrou sinais evidentes do acúmulo de sericita (ilita), sendo sua origem associada a alteração de plagioclásio e talco, provavelmente por via intempérica.

Em termos da composição da fração silte de horizontes pedogênicos houve predomínio de quartzo e quantidades diminutas de microclínio, enquanto que na fração argila, ocorreu caulinita e ilita (ver Anexo C).

A sequência de alteração, considerando rocha e saprolito, indicou a ordem de susceptibilidade ao intemperismo: talco > clorita > tremolita > albita > quartzo. Os principais minerais neoformados foram sericita e caulinita.

(a) P6-Cr1-tppl-12,5X- vesículas formadas pela dissolução de albita com revestimentos de argila

(b) P6-Cr1-txpl-12,5X- vesículas formadas pela dissolução de albita com revestimentos de argila

(c) P6-Cr1-txpl-25X- talco alterado para sericita e vesicula formada pela dissolução de albita

(d) P6-Cr1-txpl-100X- talco alterado para sericita

(e) P6-Bt2-txpl-25X- microclínio, quartzo e sericita

(f) P6-Bt2-txpl-100X- microclínio, quartzo e sericita

Figura 3.45 - Fotomicrografias do perfil 6 (Cr1, Bt2)

(a) P6-Bt1-txpl-25X- microclínio, quartzo e sericita

(b) P6-Bt1-txpl-100X- microclínio, quartzo e sericita

(c) P6-Bt1-tppl-25X- orientação de caulinita

(d) P6-Bt1-txpl-25X- orientação de caulinita e matriz sericítica

(e) P6-A-txpl-25X- matriz sericítica

(f) P6-A-txpl-100X- microclínio e sericita

Figuras 3.46 - Fotomicrografias do perfil 6 (Bt1, A)

3.3.2.7 Perfil 7 Gnaiss melanocrático

A rocha encontrada próxima ao perfil 7 foi composta por quartzo, hornblenda, microclínio, magnetita, muscovita e almandina (Figuras 3.47a, 3.47b). A hornblenda desta rocha possuía coloração marrom-esverdeada sob luz plana polarizada e algumas magnetitas apresentaram hábito cúbico (Figuras 3.47a, 3.47b). Notou-se também a presença de porfiroblastos de granada, provavelmente almandina (Figuras 3.47e, 3.47f). Apresentou estrutura gnaissica e textura pórfiro-granoblástica.

A amostra coletada na frente de lavra, representante da primeira frente de alteração, denominada de RCr, apresentou alternâncias faixas félsicas compostas predominantemente por quartzo e magnetite (Figuras 3.48a, 3.48b) com faixas máficas alteradas (Figuras 3.48c). Na base desta rocha alterada notou-se a formação de microgrânulos oxídicos (Figuras 3.48d). Portanto, o estrato rochoso apresenta alta variabilidade composicional a curta distância (métrica), tornando o estudo do processo de alteração e formação de saprolito bastante complexo neste caso.

No caso deste perfil não se obteve amostras de horizontes saprolíticos típicos, à exceção da amostra RCr, em virtude da inexistência de cortes de estrada profundos na área amostral e da dificuldade de se coletar amostras na parede vertical da mina. Portanto, as discussões seguintes se referem a fragmentos saprolitizados encontrados em horizontes pedogênicos.

O horizonte C2 apresentou vestígios de granada, hornblenda alterada (Figuras 3.48e) e bem preservada (Figuras 3.48f, 3.49a, 3.49b), bem como massa oxídica altamente porosa. Praticamente a mesma situação se repetiu no horizonte C1, no entanto, observou-se flocos de biotita alterada imersos na matriz oxídica (Figuras 3.49c). Pseudomorfos de hornblenda e grãos de hornblenda bem preservados foram comuns (Figuras 3.49d, 3.49e, 3.49f).

Por meio de dados difratométricos da rocha parental não foi possível se detectar a presença de hornblenda, apenas por meio de exame ótico em seção fina. No entanto, o difratograma obtido a partir de fragmento saprolítico extraído do horizonte C1, torna inquestionável a presença de quantidade considerável de hornblenda (Figura 3.50), conforme também foi diagnosticado por meio ótico. Os horizontes C1 e C2 não podem ser considerados como saprolito pois não possuíam qualquer identidade estrutural com materiais rochosos adjacentes ou de qualquer outro tipo.

(a) P7-R-tppl-12,5X- microclínio, quartzo, hornblenda e magnetita

(b) P7-R-txpl-12,5X- microclínio, quartzo, hornblenda e magnetita

(c) P7-R-tppl-25X- microclínio, quartzo, hornblenda e magnetita

(d) P7-R-txpl-25X microclínio, quartzo, hornblenda e muscovita

(e) P7-R-tppl-25X- granada (almandina)

(f) P7-R-txpl-25X- granada (almandina)

Figuras 3.47 - Fotomicrografias do perfil 7 (R)

(a) P7-RCr-tppl-25X-quartzo e magnetita

(b) P7-RCr-txpl-25X- quartzo e magnetita

(c) P7-RCr-tppl-25X- faixa máfica alterada

(d) P7-RCr-txpl-12,5X- formação basal de microgrânulos oxídicos

(e) P7-C2-tppl-12,5X- pseudomorfo de hornblenda

(f) P7-C2-tppl-25X- pseudomorfo de hornblenda e hornblenda bem preservada

Figuras 3.48 - Fotomicrografias do perfil 7 (RCr, C2)

(a) P7-C2-tppl-100X-hornblenda bem preservada

(b) P7-C2-txpl-100X- -hornblenda bem preservada

(c) P7-C1-tppl-12,5X- floco de biotita alterada

(d) P7-C1-tppl-12,5X- pseudomorfo de hornblende

(e) P7-C1-tppl-25X- hornblenda e matriz oxídica

(f) P7-C1-tppl-25X- hornblenda em alteração

Figuras 3.49 - Fotomicrografias do perfil 7 (C2, C1)

Figuras 3.50 - Difractogramas em pó do perfil 7, de amostras de rocha (R), saprolito (RCr) e fragmentos saprolíticos (C2, C1, B, A) - (Hn-hornblenda; M-mica; Mc-microclínio; Q-quartzo; K-caulinita)

Nos horizontes B e A ainda se detectaram quantidades apreciáveis de hornblenda, flocos de muscovita inalterados e presença de microclínio (Figuras 3.51a, 3.51b, 3.51c, 3.51d, 3.51e). No horizonte A ocorrem preenchimentos promovidos por atividade biológica compostos por material de “pó de rocha” proveniente da atividade minerária adjacente (Figura 3.51f).

A fração silte dos horizontes pedológicos do perfil 7 foi composta predominantemente por quartzo, microclínio e hornblenda, com menores proporções de caulinita e mica. Os picos de hornblenda são particularmente evidentes nos horizontes C2 e BC, enquanto que os de microclínio foram evidentes em todos os horizontes (Anexo C). Já a fração argila foi composta apenas por caulinita e illita (Anexo C).

(a) P7-B-tppl-12,5X- matrix oxídica com fragmentos de saprolito e hornblenda

(b) P7-B-txpl-12,5X-matriz oxídica com argilãs

(c) P7-B-tppl-100X- fragmento de saprolito

(d) P7-B-txpl-100X- muscovita

(e) P7-A-tppl-12,5X- hornblenda

(f) P7-A-tppl-12,5X- preenchimento de pó de rocha

Figuras 3.51- Fotomicrografias do perfil 7 (B, A)

3.3.2.8 Perfil 8-Gnaiss leucocrático

A rocha parental do perfil 8 foi formada predominantemente por feldspatos, microclínio e plagioclásio em quantidades equivalentes, além de quartzo abundante e pequena quantidade de biotita (Figura 3.52a, 3.52b, 3.52c, 3.52d). Possuía estrutura gnaissica e textura granoblástica. A primeira frente de alteração, representada pela amostra RC, apresentou nítida formação de sericita nos espaços intersticiais (Figura 3.52e), bem como alteração dos plagioclásios em sericita (Figura 3.52f).

No horizonte Cr2 houve o avanço da sericitização (ou ilitização) dos plagioclásios a ponto de destruir completamente a sua forma (Figuras 3.53a). Houveram também indícios da formação de caulinita a partir de biotita (Figuras 3.53b, 3.53c, 3.53d), enquanto o microclínio permaneceu praticamente intacto. A seguir, no horizonte Cr1, ocorreu ferruginização da biotita (Figuras 3.53e, 3.53f), juntamente com os fenômenos relatados anteriormente. Até este estágio não se observaram modificações na estrutura em relação ao material parental. Em ambos horizontes saprolíticos, dados difratométricos indicaram que o plagioclásio em questão se trata de albita, bem como houve formação de caulinita (Figuras 3.54).

No horizonte C não se detectou vestígios de plagioclásio no exame ótico, indicados apenas em pequena quantidade por difratometria em fragmentos saprolitizados extraídos deste horizonte (Figuras 3.54). A sericitização e caulinitização alcançaram o seu ápice, entretanto feldspatos potássicos (Figuras 3.55a, 3.55b; 3.55c; 3.55d) permaneceram preservados. Apesar da alteração intensa dos plagioclásios, a estrutura observada a nível microscópico ainda permanece semelhante à da rocha original.

Em B2 ocorre início de alteração mais expresiva de microclínio, observada pela quebra do mineral em planos de clivagem bem definidos e formação de minerais secundários nos espaços intraminerais (Figuras 3.55e; 3.55f). No horizonte B1 ocorreu a intensa formação de filmes de argila e ferruginização do fundo matricial (Figuras 3.56a; 3.56b). No horizonte BA ainda se observaram feldspatos potássicos bem preservados em meio a massa caulínico-sericítica adensada (Figuras 3.56e; 3.56f).

Na fração silte do manto pedológico de todos horizontes predominaram microclínio e mica (sericita), e menor quantidade de caulinita (Anexo C). A presença marcante de microclínio demonstrou a elevada resistência deste mineral ao intemperismo. Já na fração argila houve formação de caulinita e ilita, bem como de gibbsita nos horizontes subsuperficiais (Anexo C). A sequência de alteração obedeceu a ordem albita > biotita >

microclínio > quartzo, o que levou a formação de sericita, caulinita, hidróxido de Fe e gibbsita.

(a) P8-R-tppl-25X- plagioclásio, microclínio, biotita e quartzo

(b) P8-R-txpl-25X- plagioclásio, microclínio, biotita e quartzo

(c) P8-R-tppl-100X- plagioclásio e microclínio

(d) P8-R-txpl-100X- plagioclásio e microclínio

(e) P8-RCr-txpl-12,5X- alteração sericítica, microclínio e quartzo

(f) P8-RCr-txpl-100X- plagioclásio em alteração sericítica e microclínio

Figura 3.52 - Fotomicrografias do perfil 8 (R, RCr)

(a) P8-Cr2-txpl-25X- plagioclásio em alteração sericítica completa, microclínio e quartzo

(b) P8-Cr2-txpl-100X- indícios da alteração de biotita em sericita e caulinita

(c) P8-tppl-Cr2-400X- formação de caulinita e sericita a partir de biotita

(d) P8-txpl-Cr2-400X- formação de caulinita e sericita a partir de biotita

(e) P8-txpl-Cr1-25X- formação de sericita e caulinita

(f) P8-txpl-Cr1-200X- formação de caulinita, sericita e ferruginização da biotita

Figura 3.53 - Fotomicrografias do perfil 8 (Cr2, Cr1)

Figuras 3.54 - Difratomogramas em pó do perfil 8, de amostras de rocha (R), saprolito (RCr, Cr2, Cr1) e fragmentos saprolíticos (C) - (A-albita; Mi-mica; Mc-microclínio; Q-quartzoz; K-caulinita)

(a) P8-C-txpl-25X- massa porosa sericítico-caulinitizada

(b) P8-C-txpl-100X- massa porosa sericítico-caulinitizada

(c) P8-C-tppl-400X- partícula caulinitizada

(d) P8-C-txpl-400X- partícula caulinitizada

(e) P8-B2-txpl-25X- alteração de microclínio

(f) P8-B2-txpl-100X- alteração de microclínio

Figuras 3.55 - Fotomicrografias do perfil 8 (C, B2)

(a) P8-B1-tppl-25X- massa adensada com filmes de argila

(b) P8-B1-tppl-100X- massa adensada com filmes de argila

(c) P8-B1-tppl-200X- filme de argila

(d) P8-B1-txpl-200X- filme de argila

(e) P8-BA-tppl-25X- massa adensada

(f) P8-BA-txpl-massa adensada sericítico-caulinítica com feldspatos-25X

Figuras 3.56 - Fotomicrografias do perfil 8 (B1, BA)

3.3.2.9 Perfil 9 - Gnaiss mesocrático

A rocha parental do perfil 9 possuía estrutura gnáissica e textura granulítica. Foi composta predominantemente por quartzo, microclínio, plagioclásio e feixes de biotita bem orientados (Figuras 3.57a, 3.57b). Grãos de plagioclásio apresentaram frequentes inclusões de epídoto (Figuras 3.57c, 3.57d, 3.57e, 3.57f). A presença de sericita também foi marcante nos espaços intergranulares (Figuras 3.58a, 3.58b). Neste caso, há fortes indícios de que a origem de sericita está relacionada ao processo de metamorfismo e não ao processo intempérico como observado no perfil 8. Por meio de difratometria não foi possível identificar se o plagioclásio se tratava de albita ou anortita (Figura 3.59).

O horizonte Cr foi composto por massa heterogeneamente ferruginizada (Figuras 3.58c, 3.58d), correspondente a distribuição aproximada de feixes biotíticos alterados. Nesta zona ocorreu a alteração completa do plagioclásio caracterizada pela formação de partículas sericíticas (Figuras 3.58e, 3.58f), acompanhada pela alteração das inclusões dos epídotos formando-se manchas amarronzadas. Não se observaram partículas de biotita, as quais se alteraram totalmente. Ocorreram massas com a estrutura parcialmente preservada e bolsões com evidente desestruturação, em processo de pedoplasmação.

O nível de alteração CrC foi composto pela mistura de porções pedogeneizadas e saprolitizadas, sendo que a primeira apresentou composição quartzo-oxídica-caulinítica-sericítica (Figuras 3.60a, 3.60b, 3.60c). Por outro lado, fragmentos saprolíticos apresentaram coloração esbranquiçada (Figura 3.60b), sendo constituídos por quartzo e microclínio em processo de alteração (Figura 3.60d). A estrutura da rocha como um todo não foi mais reconhecível, sendo apenas em parte identificável a nível microscópico por meio da análise dos fragmentos saprolíticos. Dados difratométricos indicaram o desaparecimento completo de plagioclásio neste nível de alteração (Figura 3.59).

Os horizontes C e BC foram formados pela mesma composição citada anteriormente, no entanto, não apresentaram nenhuma similaridade estrutural à rocha de origem. Ambos horizontes apresentaram grãos de microclínio bem preservados (Figuras 3.60e, 3.60f), agregação incipiente e porosidade em forma de microvesículas e canais (Figuras 3.61a, 3.61b). Diferiram um do outro pela homogeneidade de coloração observada em BC.

(a) P9-R-tppl-12,5X- microclínio e plagioclásio alterado

(b) P9-R-txpl-12,5X- microclínio e plagioclásio alterado

(c) P9-R-tppl-100X- plagioclásio com epídoto

(d) P9-R-txpl-100X- plagioclásio com epídoto

(e) P9-R-tppl-400X- inclusão de epídoto em grão de plagioclásio

(f) P9-R-txpl-400X- inclusão de epídoto em grão de plagioclásio

Figuras 3.57 - Fotomicrografias do perfil 9 (R)

(a) P9-R-txpl-100X- sericita e plagioclásio com inclusões de epídoto

(b) P9-R-txpl-200X- sericita

(c) P9-Cr-tppl-25X- ferruginização

(d) P9-Cr-txpl-25X- sericitização

(e) P9-Cr-tppl-200X- sericitização e ferruginização

(f) P9-Cr-txpl-200X- sericitização

Figuras 3.58 - Fotomicrografias do perfil 9 (R, Cr)

Figura 3.59 - Difratomogramas em pó do perfil 9, de amostras de rocha (R), saprolito (RCr, Cr) e fragmentos saprolíticos (CrC, A) - (Mi-mica; Mc-microclínio; Pl-plagioclásio, Q-quartzo; K-caulinita)

(a) P9-CrC-tppl-25X- bolsões pegogeneizados e material saprogênico

(b) P9-CrC-tppl-25X- bolsões pegogeneizados e material saprogênico

(c) P9-CrC-txpl-100X- sericitização

(d) P9-txpl-CrC-12,5X alteração de microclínio

(e) P9-txpl-C-100X- massa sericítica ferruginizada, quartzo e microclínio

(f) P9-txpl-C-200X- microclínio bem preservado

Figura 3.60 - Fotomicrografias do perfil 9 (CrC, C)

Os horizontes B se apresentaram com matrix oxídica-caulinítica-sericítica (Figuras 3.61c, 3.61d) e fração grosseira constituída por grãos de quartzo e microclínio arranjados de forma densa (Figuras 3.61e, 3.61f). A porosidade foi em grande parte constituída por vesículas e canais.

No horizonte A observou-se a presença de fragmentos saprolíticos imersos na porção pedogeneizada (Figuras 3.62a, 3.62b), com pseudomorfos de plagioclásio sericitizado, biotita bem preservada (Figuras 3.62c, 3.62d) e microclínio intacto. Na porção pedogeneizada, grãos de quartzo se apresentaram bastante ferruginizados e distribuídos aleatoriamente na matrix caulinitica-sericítica. A presença de microclínio também foi evidente nesta última (Figuras 3.62e, 3.62f). Provavelmente, devido ao relevo forte ondulado, é provável que este horizonte tenha recebido contribuição de material rochoso das vizinhanças e deste modo apresentou fragmentos de rocha menos intemperizados do que aqueles encontrados em horizontes mais profundos.

A difratometria de raios X indicou a presença de apenas quartzo e caulinita na fração silte dos horizontes pedogênicos, enquanto na fração argila observou-se a formação de caulinita, ilita e gibbsita (Anexo C).

De acordo com as observações a sequência de alteração obedece a ordem plagioclásio > biotita > microclínio > quartzo, sendo os produtos neoformados correspondentes a sericita, caulinita e gibbsita. Bétard et al. (2009) não detectou a formação de haloisita em saprolito derivado de rocha granítica no Nordeste do Brasil (semi-árido), sendo os produtos secundários mais comuns a ilita, caulinita e esmectita.

Segundo Zauyah, Schaefer e Simas (2010) o intemperismo alteromórfico de plagioclásios geralmente inicia-se em zonas de alteração situadas próximas a rocha inalterada, onde eles obtêm uma aparência salpicada causada por inclusões de minerais neoformados. As expectativas gerais indicam que nos trópicos os principais produtos de intemperismo do plagioclásio são a caulinita, haloisita e gibbsita, enquanto em climas temperados se observa principalmente a formação de ilita, vermiculita e clorita (ZAUZYAH; SCHAEFER; SIMAS, 2010). No entanto, considerando os perfis 8 e 9, as evidências suportam a formação predominante de sericita (ou ilita) e caulinita a partir da alteração de plagioclásio, o que contraria em parte as expectativas em ambiente tropical. A presença de ilita foi detectada por Nunes et al. (2001) em horizontes B e C de solos desenvolvidos a partir de anfíbolitos e gnaisses em região com condições climáticas e geomorfológicas semelhantes às deste estudo. No entanto, os autores não conseguiram identificar com precisão quais foram os minerais predecessores para a sua formação.

(a) P9-tppl-BC-25X- agregação incipiente

(b) P9-txpl-BC-25X- porosidade em canais e microvesículas

(c) P9-tppl-B2-25X-massa pedogeneizada

(d) P9-txpl-B2-25X-massa pedogeneizada caulinitico-sericítica e quartzo

(e) P9-txpl-B2-100X- sericita e microclínio

(f) P9-txpl-B2-200X- sericita e microclínio

Figuras 3.61 - Fotomicrografias do perfil 9 (BC)

(a) P9-tppl-A-25X- fragmento de saprolito

(b) P9-txpl-A-25X- fragmento de saprolito

(c) P9-tppl-A-100X- biotita parcialmente alterada em fragmento de saprolito

(d) P9-tppl-A-100X- biotita parcialmente alterada em fragmento de saprolito

(e) P9-txpl-A-25X- quartzo e microclínio na massa pedogeneizada

(f) P9-txpl-A-100X- quartzo, microclínio e sericita na massa pedogeneizada

Figuras 3.62 - Fotomicrografias do perfil 9 (A)

A sericitização é um dos processos de alteração hidrotermal mais comuns em rochas félsicas, frequentemente desenvolvido a partir de cristais de plagioclásio em granitos plutônicos (QUE; ALLEN, 1996). Segundo Que e Allen (1996) a troca de plagioclásio por sericita, via alteração hidrotermal, é acompanhada concomitantemente pela alteração da biotita para clorita e pelo desenvolvimento de epídoto. Destaca-se da mesma maneira que o

processo de sericitização não afeta os feldspatos álcali, sendo nítida a identificação entre plagioclásio e feldspato álcali em exame ótico de seções finas. No entanto, este processo também pode ocorrer via intemperização, como observou Islam et al (2002) em saprolitos de granito-gnaiss desenvolvidos no Paleo-proterozóico na Finlândia.

Bétard et al. (2009) sugeriu que o termo sericitização seja usado para denominar o processo formação de ilitas a partir de alteração hidrotermal a alta temperatura, enquanto “ilitização” deveria ser destinado para denominar o processo de formação de ilitas a partir de processos de intemperização sob baixas temperaturas. Segundo Kerr (1977) a ilita é um dos argilominerais de ocorrência mais difundida, sendo comum em solos e xistos, sendo formada durante a alteração de feldspatos, biotita e muscovita.

Na Coréia do Sul, Im et al. (2002) identificou que a ilita é o principal filossilicato formado a partir da alteração de plagioclásio (albita) em zonas graníticas intensamente alteradas. A formação de ilita a partir da alteração de plagioclásio foi detectada precisamente por Bétard et al (2009) no Nordeste brasileiro em horizontes de solo (Luvisolo) e saprolito desenvolvidos a partir de rocha gnaissica. Através de técnica de difração de raios X em micro-escala os autores identificaram que a ilita foi o principal produto da alteração do plagioclásio. As evidências apresentadas por Bétard et al. (2009) sustentam que a formação de ilita a partir de plagioclásio é autigênica, sendo que a incorporação de K, Mg e Fe para a formação deste mineral foi proveniente da alteração da biotita.

No caso do perfil 8 a formação de ilita (ou sericita) foi bastante evidente apesar de não haver grande quantidade de biotita (fonte de K, Fe e Mg). No entanto, a grande quantidade de microclínio provavelmente aportou K para a transformação de plagioclásio em ilita. Já no caso do perfil 9, a composição mineralógica foi semelhante ao material avaliado por Bétard et al. (2009) e provavelmente a formação de ilita segue o mesmo modelo apresentado pelos autores.

As áreas sericitizadas de plagioclásios, observáveis por microscopia eletrônica por Que e Allen (1996), se assemelharam a minúsculos flocos de muscovita entremeados por microporos associados entre si. Apesar da semelhança, entretanto, a sericita (ilita) difere quimicamente da muscovita em razão da depleção em K e aumento do conteúdo de Fe e Mg (QUE; ALLEN, 1996). Nas amostras de ilita analisadas por Bétard et al. (2009), o conteúdo de K variou entre 0,52 a 0,79 por $\text{OH}_{10}(\text{OH})_2$, o que demonstra uma acentuada deficiência de K tipicamente observada em ilitas de solo (em geral $< 0,7$). Em relação a composição química da muscovita, a ilita observada por Bétard et al. (2009) também demonstrou um

enriquecimento de Al e pequenas quantidades de Fe e Mg, acentuando outra similaridade composicional reportada às ilitas meteóricas (formadas por intemperismo).

A formação de caulinita e oxi-hidróxidos de Fe também é muito comum em mantos de alteração desenvolvidos em climas tropicais úmidos (DELVIGNE, 1998) e pode ocorrer nos estágios iniciais de intemperização de gnaisses, como observado por Ndjigui et al. (2013) na República de Camarões, África.

3.3.3 Geoquímica dos perfis de alteração

Dados geoquímicos completos dos principais elementos se encontram apresentados no Anexo B. A seguir é apresentada a variação do índice de intemperismo WIP em função da profundidade (Figura 3.63). Destaca-se que o índice WIP foi aplicado aos materiais desta pesquisa por ser considerado por Price e Velbel (2003) como o mais apropriado índice para a análise da alteração de regolitos félsicos heterogêneos.

De modo geral observou-se que o índice WIP foi eficiente em captar a evolução química nos perfis amostrados uma vez que os valores para rocha inalterada foram sempre superiores que nos demais horizontes/camadas, considerando cada perfil isoladamente e de maneira agrupada (Figura 3.64). Normalmente houve um decréscimo do índice em profundidade, mas ocorreram situações particulares de inflexão em alguns perfis (P3, P4, P7, P8 e P9), as quais são provavelmente provocadas pelos motivos explicitados a seguir.

Em P3 a variação observada foi consequência da distribuição irregular de filões de quartzo ao longo do perfil, em que se observou claramente durante trabalhos de descrição e amostragem que ocorriam zonas com maior concentração de quartzo intercaladas com material micáceo e vice versa

No caso do perfil 4, foi observada grande quantidade de fragmentos de rocha alterada ou saprolitizada no horizonte A, as quais apresentaram minerais parentais em estágio medianamente alterado (Figuras 3.32d, 3.32e, 3.32f), o que promoveu a elevação do índice e sua consequente aproximação do valor obtido para rocha. Este fato, entretanto, não invalida o uso do índice WIP, pois o maior valor detectado no horizonte A foi realmente proveniente de material menos alterado, resultado de material retrabalhado a montante do perfil, conforme se discutiu na seção evolução mineralógica (perfil4). O perfil 9 também apresentou condição semelhante, no entanto, os fragmentos saprolíticos se apresentaram em estágio mais avançado de alteração (Figuras 3.62a, 3.62b, 3.62c, 3.62d).

Perfis 7 e 8 estavam situados próximos a locais de extração de rocha, e provavelmente sofreram adição de material de pó de rocha ou fragmento de rocha inalterada, oriundo da

Ao se considerar valores médios obtidos em cada horizonte morfológico (A, B, C, Cr, RCrbh e R), considerando os nove perfis de alteração, notou-se que o índice WIP é consistente para discriminar entre estes tipos morfológicos (Figura 3.64). Apenas o horizonte A contraria a regra de aumento do intemperismo em direção à superfície, em virtude deste estar sujeito a outros processos, tais como adições de material menos alterado por coluviação, por atividade minerária ou pela cilclagem biogeoquímica. Deste modo, se eliminarmos o horizonte A da análise, pode-se sugerir o índice WIP como bom indicador da evolução intempérica e como um descritor potencialmente aplicável para a distinção entre solos e saprolitos.

Figura 3.64 – Médias do índice de intemperismo (WIP) para cada horizonte morfológico (9 perfis)

Ao plotar diagramas de dispersão entre o índice de Parker e a porosidade total (Figura 3.65a, 3.65b), observou-se uma tendência de correlação polinomial entre a porosidade total e o índice de intemperismo. No entanto, a correlação apenas possui maior significado ($r^2 = 0,68$) quando se exclui os horizontes de solo da análise (Figura 3.65b), o que indica que a porosidade total calculada com base gravimétrica se constitui em um índice relativamente adequado para se estimar a perda de massa em horizontes saprolíticos, o que é corroborado por Price e Velbel (2003). Deste modo, tudo indica que a porosidade total pode ser inserida com sucesso na classificação de saprolito, devido a praticidade e baixo custo na obtenção deste atributo.

(a)

(b)

Figura 3.65 - Dispersão entre porosidade total e índice WIP em horizontes de (a) solo e saprolitos e (b) apenas em saprolitos

Na Tabela 3.3 apresenta-se a estatística descritiva a respeito dos coeficientes de perda/enriquecimento (K_{jm}) dos principais elementos, considerando os nove perfis de maneira agrupada e individualizados, com suas respectivas sequências elementares de perda ou enriquecimento.

Considerando os nove perfis obteve-se a sequência de perda Na>Ca>Mg>P>Fe>Al>K>Ti, categorizada a partir da média obtida a partir de 57 amostras. É interessante notar que essa sequência contraria alguns trabalhos sobre perfis de intemperismo em regiões tropicais (NDJIGUI et al., 2013), particularmente em relação a posição do K na sequência. A sequência indicou que o potássio (K) foi o segundo elemento mais retido no manto de alteração, sendo sobrepujado apenas pelo Ti, o qual é remarcadamente conhecido

como imóvel. No entanto, a permanência de K apontada por este coeficiente nos perfis avaliados é corroborada pelas observações mineralógicas, em que se constatou claramente a permanência de muscovita em vários perfis (P1, P2, P3, P5), inclusive nos horizontes próximos à superfície, bem como à formação de illita/sericita nos perfis P6, P8 e P9. Islam et al. (2002) também observaram o enriquecimento de K em saprolito amfibolítico desenvolvido durante o pré-Quaternário na Lapônia (Finlândia) e consideraram que tal fenômeno está associado justamente a formação de illita. Junto a isso, foi possível também se constatar a permanência de microclínio praticamente inalterado nos perfis P6, P8 e P9. Além disso, a formação de illita na fração argila de horizontes pedogênicos foi marcante em praticamente todos os perfis. Brimhall e Dietrich (1987) demonstraram claramente que os processos que controlam a mobilidade de elementos são específicos para cada ambiente geoquímico e que não se pode prever uma série única e inequívoca para todas as situações. Portanto, a sequência química de empobrecimento/enriquecimento observada está calcada na atual composição mineralógica dos perfis avaliados.

Tabela 3.3 - Estatística descritiva do coeficiente de perda/enriquecimento para os elementos principais considerando 9 perfis (continua)

	K _{jm}	K _{Al}	K _{Fe}	K _{Ti}	K _{Na}	K _K	K _{Ca}	K _{Mg}	K _P	Sequência de perda
Perfis	Descritores									
9 perfis	N	57	57	57	57	57	57	57	57	
	Min	-62,0	-71,7	-68,9	-99,5	-91,6	-99,7	-98,7	-95,5	
	Max	27,6	58,1	188,9	234,6	445,6	403,8	11,1	321,7	
	Média	-30,9	-35,3	-18,1	-75,2	-28,4	-73,8	-67,2	-51,8	Na>Ca>Mg>P>Fe>Al>K>Ti
	Mediana	-34,1	-44,3	-40,7	-93,4	-50,4	-90,3	-71,7	-81,2	
	Desvio P.	20,8	30,2	55,2	48,5	95,4	67,1	26,1	78,8	
P1	N	6	6	6	6	6	6	6	6	
	Min	-62,0	-53,7	-43,8	-96,9	-84,5	-94,2	-66,7	-93,7	
	Max	-30,6	-16,1	-11,1	-69,4	-62,3	-57,6	-6,2	-77,5	
	Média	-45,2	-32,7	-26,5	-88,2	-72,1	-85,8	-21,2	-87,2	Na>P>Ca>K>Al>Fe>Ti>Mg
	Mediana	-46,2	-33,2	-27,1	-91,1	-71,6	-90,9	-14,6	-87,5	
	Desvio P.	11,0	12,9	12,6	9,3	7,5	12,9	20,7	5,1	
P2	N	7	7	7	7	7	7	7	7	
	Min	-60,7	-63,3	-65,2	-99,5	-65,0	-99,0	-93,3	-92,3	
	Max	-38,5	-43,4	-40,3	-98,5	45,2	-97,4	-80,6	-82,9	
	Média	-48,1	-53,1	-52,9	-99,3	-33,1	-98,6	-89,5	-88,7	Na>Ca>Mg>P>Fe>Ti>Al>K
	Mediana	-45,6	-52,2	-54,3	-99,3	-43,6	-98,7	-90,5	-89,5	
	Desvio P.	11,0	12,9	12,6	9,3	7,5	12,9	20,7	5,1	
P3	N	6	6	6	6	6	6	6	6	
	Min	-54,9	-56,6	-61,0	-98,6	-50,6	-91,4	-81,6	-76,4	
	Max	-20,1	-25,8	-8,1	-96,4	42,4	-87,4	-55,5	-68,6	
	Média	-37,9	-39,2	-23,3	-97,6	-10,5	-89,1	-67,7	-71,6	Na>Ca>P>Mg>Al>Fe>Ti>K
	Mediana	-39,4	-38,7	-18,3	-97,6	-14,6	-89,1	-65,9	-70,8	
	Desvio P.	15,4	11,7	18,0	0,8	34,7	1,5	10,8	2,7	

..continua..

Tabela 3.3 - Estatística descritiva do coeficiente de perda/enriquecimento para os elementos principais considerando 9 perfis (continuação)

	N	4	4	4	4	4	4	4	4	
P4	Min	-15,0	-26,3	6,4	-84,7	-6,0	-97,1	-98,7	75,9	
	Max	27,6	15,2	188,9	-43,5	445,6	-70,8	-78,2	321,7	
	Média	13,7	-1,8	98,7	-72,2	261,1	-90,0	-93,2	202,4	Mg>Ca>Na>Fe>Al>Ti>P>K
	Mediana	21,1	1,9	99,9	-80,3	302,5	-96,1	-97,9	206,0	
	Desvio P.	17,0	15,1	64,6	16,7	175,7	11,1	8,7	88,8	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	
P5	Min	-49,5	-53,0	-60,7	-99,1	-91,6	-97,4	-89,9	-84,7	
	Max	-10,9	58,1	-41,1	-97,4	-64,5	-90,2	-51,0	-51,8	
	Média	-28,9	-1,1	-50,2	-98,7	-77,4	-93,8	-72,0	-68,7	Na>Ca>Mg>K>P>Ti>Al>Fe
	Mediana	-28,9	-0,9	-48,1	-99,0	-77,9	-93,4	-75,8	-69,7	
	Desvio P.	14,6	38,0	7,9	0,6	11,4	2,8	15,9	12,7	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	
P6	Min	-53,4	-71,3	-54,3	-95,0	-52,0	-90,9	-93,2	-81,9	
	Max	10,4	34,6	72,3	-26,4	-26,6	403,8	11,1	-2,0	
	Média	-17,6	-30,3	-6,4	-70,3	-40,7	-10,7	-72,5	-58,0	Mg>Na>P>K>Fe>Al>Ca>Ti
	Mediana	-10,7	-48,9	-14,2	-71,3	-41,9	-67,9	-84,6	-70,9	
	Desvio P.	21,2	39,6	40,2	23,4	9,1	157,9	32,9	27,5	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	
P7	Min	-51,7	-58,5	-66,0	-57,2	-89,5	-93,9	-97,4	-87,6	
	Max	-16,4	4,1	131,5	234,6	-30,6	7,1	-28,5	37,0	
	Média	-30,0	-26,5	46,6	11,2	-70,9	-49,1	-62,0	-8,9	K>Mg>Ca>Al>Fe>P>Na>Ti
	Mediana	-25,9	-23,5	55,9	-30,8	-76,6	-53,5	-62,0	-2,4	
	Desvio P.	12,2	25,1	70,8	101,4	19,6	33,1	21,4	41,7	

..continua..

Tabela 3.3 - Estatística descritiva do coeficiente de perda/enriquecimento para os elementos principais considerando 9 perfis (conclusão)

	N	8	8	8	8	8	8	8	8	
P8	Min	-52,6	-71,7	-61,7	-82,5	-76,3	-83,0	-72,3	-94,0	
	Max	3,1	-8,1	-4,6	10,6	-23,0	-12,3	-19,6	-68,4	
	Média	-30,5	-47,9	-38,2	-61,6	-47,1	-68,6	-58,3	-82,4	P>Ca>Na>Mg>Fe>K>Ti>Al
	Mediana	-33,2	-53,4	-46,2	-79,3	-47,6	-78,5	-64,6	-84,4	
	Desvio P.	15,0	20,7	20,3	30,3	14,6	22,1	16,5	8,3	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	
P9	Min	-55,0	-69,1	-68,9	-99,5	-63,7	-99,7	-82,7	-95,5	
	Max	-30,1	-56,1	-46,6	-88,6	-45,2	-90,4	-61,3	-85,4	
	Média	-39,5	-63,3	-56,9	-97,9	-53,6	-98,2	-73,7	-92,7	Ca>Na>P>Mg>Fe>Ti>K>Al
	Mediana	-37,3	-67,0	-56,4	-99,5	-53,6	-99,6	-75,4	-93,2	
	Desvio P.	7,5	5,6	7,4	3,8	6,7	3,2	8,2	3,2	

3.4 Conclusões

As transformações físicas e geoquímicas promoveram maior diferenciação entre materiais saprolíticos e pedológicos. Interessantemente e de acordo com a premissa de alteração isovolumétrica para corpos saprolíticos, a formação de porosidade apresentou evidências de correlação com a modificação geoquímica presente nesses materiais.

Por outro lado as alterações mineralógicas presentes em saprolitos foram mais evidentes em relação à rocha, sendo que solos e saprolitos possuíram mineralogia semelhante, seja em relação aos produtos neoformados, alteromórficos ou em relação aos minerais residuais. Considerando os materiais saprolíticos avaliados, houve formação de óxidos de Fe e Al, caulinita, gibbsita e sericita. As alterações em materiais xistosos demonstraram principalmente formação de caulinita e óxidos de Fe, enquanto que em materiais gnáissicos predominou a formação de sericita (ou illita).

Minerais como biotita e clorita apresentaram baixíssima estabilidade, alterando-se rapidamente no primeiro estágio de intemperização em todos os perfis avaliados. Plagioclásios, predominantemente albitas, sofreram processos de transformação condicionados por fatores ainda desconhecidos, variando desde a dissolução congruente até a hidrólise parcial com formação de caulinita e sericita. O microclínio, juntamente com a muscovita, apresentaram elevada resistência, sendo observados frequentemente em horizontes superficiais de solo.

Os métodos utilizados promoveram índices e atributos úteis para a caracterização e classificação dos saprolitos.

Referências

ACME LABS. **Care commitment performance**. Vancouver, 2013.

BERNER, R.A.; HOLDREN JR, G.R. Mechanism of feldspar weathering-II. Observations of feldspars from soils. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Saint Louis, v.43, p. 1173-1186, 1979.

BÉTARD, F.; CANER, L.; GUNNELL, Y.; BOURGEON, G. Illite neoformation in plagioclase during weathering: Evidence from semi-arid Northeast Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, p. 53-62, 2009.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: SSSA, 1986. p. 363-375.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Folhas SF23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983. 780 p.

BRIMHALL, G.H.; DIETRICH, W.E. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. **Geochemica et Cosmochimica Acta**, Saint Louis, v. 51, p. 567-587, 1987.

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

CHEN, P.Y. **Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**. Bloomington: Authority of the State of Indiana, Department of Natural Resources, 1977. 67p .

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

DELVIGNE, J.E. **Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering**. Ottawa: Mineralogical Association of Canada, 1998. 494 p.

EBERL, D.D.; SMITH, D.B. Mineralogy of soils from two continental-scale transects across the United States and Canada and its relation to soil geochemistry and climate. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 24, p. 1394-1404, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

FRAZIER, C.S.; GRAHAM, R.C. Pedogenic transformation of fractured granitic bedrock, Southern California. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.64, p. 2057-2069, 2000.

GRAHAM, R.C.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H.; BUOL, S.W. Weathering of iron-bearing minerals in soils and saprolite on the North Carolina Blue Ridge front: I. sand-size primary minerals. **Clay and Clay Minerals**, New York, v. 37, n. 1, p. 19-28, 1989.

IM, C.B.; KOH, S.M.; CHANG, H.W.; TAKAGI, T. The geochemical behavior of altered igneous rocks in the Tertiary Gampo Basin, Kyongsang Province, South Korea. **Geochemical Journal**, Tokyo, v. 36, p. 391-407, 2002.

ISLAM, M. R.; PEURANIEMI, V.; AARIO, R.; ROJSTACZER, S. Geochemistry and mineralogy of saprolite in Finnish Lapland. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 17, p. 885-902, 2002.

KERR, P.F. **Optical mineralogy**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1977. 492 p.

KEW, G.; GILKES, R. Classification, strength and water retention characteristics of lateritic regolith. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, p. 184-198, 2006.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W.P.; AMOOZEGAR, A.; VEPRASKAS, M.J. Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite-gneiss. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, p. 155-170, 1997.

NDJIGUI, P.D.; BADINANE, M.F.B.; NYECK, B.; NANDJIP, H.P.K.; BILONG, P. Mineralogical and geochemical features of the coarse saprolite developed on orthogneiss in the SW of Yaoundé, South Cameroon. **Journal of African Earth Sciences**, Oxford, v. 79, p. 125-142, 2013.

NUNES, W.A.G.A.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; GOMES, F.H. Relação solo-paisagem-material de origem e gênese de alguns solos no domínio do “Mar de Morros”, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 341-354, 2001.

OGUNSANWO, O. Influence of angle of inclination of shistosity planes on the geotechnical properties of a schist saprolite. **Engineering Geology**, Amsterdam, v.23, p. 137-143, 1986.

OLIVEIRA, L.B.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, M.R.; KER, J.C. Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no Semi-árido Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2407-2423, 2008.

PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; STÜRMER, S. L. K.; MENEZES, F. P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 119-128, 2009.

PEDRON, F. A.; FINK, J. R.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1941-1950, 2010.

PRICE, J.R.; VELBEL, M.A. Chemical weathering índices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 202, p. 397-416, 2003.

QUE, M.; ALLEN, A. R. Sericitization of plagioclase in the Rosses Granite complex, Co. Donegal, Ireland. **Mineralogical Magazine**, London, v. 60, p. 927-936, 1996.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SCHUCKNECHT, A.; MATSCHULLAT, J.; CARITAT, P.; SILVA, J.; MELO JÚNIOR, G.; PLEBOW, A.; MELLO, J.W.V. Pedogeochemistry in NE-Brazil – compared to Australia and Europe. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 438, p. 342-356, 2012.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C. Strategies for studying saprolite and saprolite genesis. In: CREMEENS, D.L.; BROWN, R.B.; HUDDLESTON, J.H. (Ed). **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 1-19.

STOOPS, G.; SCHAEFER, C.E.G.R. Pedoplasation: formation of soil material. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Ed.). **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 69-79.

VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R.; CARVALHO, S.G.; SILVA, A.C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 523-541, 2006.

WALD, J.A.; GRAHAM, R.C.; SCHOENEGER, P.J. Distribution and properties of soft weathered bedrock at < 1 m depth in the contiguous United States. **Earth Surface Processes and Landforms**, Hoboken, v. 38, p. 614-626, 2013.

ZAUYAH, S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B. Saprolites. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Ed.). **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 49-68.

4 CLASSIFICAÇÃO DE SAPROLITOS DERIVADOS DE ROCHAS METAMÓRFICAS E SEDIMENTARES E CONTRIBUIÇÃO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

Resumo

O ordenamento do sistema taxonômico proposto para a classificação de saprolitos levou em consideração as descrições de campo, resultados analíticos e a individualização desses corpos em relação aos solos e rochas presentes em sua interface. A filiação parental e a estrutura secundária do saprolito, trazem importantes informações sobre as funções técnico-ambientais de zonas saprolíticas, como grau de alteração e hidrologia, sendo propriedades distintivas para serem utilizadas nos primeiros níveis categóricos. Atributos determináveis em condições de laboratório como porosidade total e mineralogia, provêm indicativos sobre os processos de alteração, sendo úteis ao esquema de classificação proposto. Ao tratar o saprolito de maneira individualizada a classificação destes corpos poderá dirimir problemas conceituais e operacionais e; contribuir para o refinamento da classificação de solos mais rasos, promovendo a individualização de solos semelhantes. Obviamente a adoção do esquema de classificação proposto dependerá da sua aplicação a materiais descritos em outros agrupamentos de rochas e a diferentes profundidades.

Palavras-chave: taxonomia de saprolitos; solos rasos

Abstract

The taxonomic system proposed for the saprolite classification took into consideration the field descriptions, analytical results and the individualization of these bodies in relation to soils and rocks present in its interface. The parental affiliation and the structure of the saprolite, provide important information on the technical and environmental functions of saprolitic zones such as degree of alteration and hydrology, being distinctive properties to be used in the first categorical levels. Attributes determined in laboratory conditions as porosity and mineralogy, come indicative of the change process, and useful to the proposed to the classification scheme. By treating the saprolite individualized the classification of these bodies can resolve conceptual and operational problems and; contribute to the refinement of the shallower soil classification, promoting the individualization of similar soils. Obviously the adoption of the proposed classification scheme will depend on your application to other materials described in distinct rock groups and at different depths.

Keywords: saprolite taxonomy; shallow soils

4.1 Introdução

A distinção entre solos e saprolitos nem sempre é evidente, devido a continuidade física e de processos naturais que ocorrem entre esses materiais. Entretanto, é possível individualiza-los para fins de classificação, levando-se em conta atributos, tais como o reconhecimento de vestígios de estrutura litológica nos saprolitos. A classificação de zonas/camadas saprolíticas visa atender demandas de áreas do conhecimento como Pedologia, Geotecnia, Hidrologia, Geomorfologia, Engenharia Civil e outras.

Assim como preconizado por Kellog (1963) para o desenvolvimento da taxonomia de solos, para que uma classificação seja difundida ela deve ser capaz de ser interpretada para uma grande variedade de usos. Segundo Kellog (1963) a classificação de solos nos auxilia a relembrar características significantes dos solos, a sintetizar nosso conhecimento a respeito deles, a estabelecer relações entre estes corpos e seu ambiente, bem como a desenvolver previsões de seu comportamento frente ao manejo e manipulação.

Deste modo, na tentativa de gerar um sistema de classificação de saprolito que atenda a distintos propósitos técnicos, bem como possa cobrir a gama de materiais observados no ambiente amostral utilizado, foram adotadas quatro premissas básicas para o desenvolvimento do sistema:

- 1 - a primeira diz respeito à incorporação na classificação de aspectos morfológicos observados *in situ*, os quais podem ter forte influência na interpretação técnica-ambiental;
- 2 - a segunda se refere a indicativos sobre a gênese dos materiais;
- 3 - a terceira pressupõe que a classificação dos saprolitos deve ser realizada independentemente dos materiais sobrejacentes e subjacentes, uma vez que é possível individualizar este corpo em camadas ou zonas;
- 4 - a quarta se refere a possibilidade de inserir na classificação atributos obtidos com análises laboratoriais que permitam a diferenciação de materiais saprolíticos derivados do mesmo material de origem,

De posse da variabilidade amostral diagnosticada nos Capítulos 2 e 3, das definições terminológicas adotadas e das premissas preconizadas acima, o objetivo desta seção é propor um sistema de classificação de saprolitos para o ordenamento lógico destes corpos e contribuir para o detalhamento da classificação de solos influenciados pela proximidade de zonas de alteração.

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 Proposta para a classificação de saprolitos em 4 níveis hierárquicos

Dividiu-se a metodologia de classificação de saprolitos em dois agrupamentos, sendo um deles baseado principalmente em descrições tipicamente executadas *in situ* e outro condicionado a coleta e análise laboratorial dos materiais (Figura 4.1). Tal proposta foi elaborada admitindo-se que trabalhos técnicos envolvendo saprolitos podem apresentar diferentes necessidades de detalhamento. Assim, a flexibilidade do sistema de classificação, considera o nível de detalhe desejado.

Figura 4.1 - Organograma proposto para a classificação de saprolitos

Na Figura 4.2 é apresentado um esquema com os principais passos para a classificação até o quarto nível categórico. A classificação em primeiro nível foi baseada nas feições estruturais secundárias propostas no Quadro 2.3. Para o segundo nível utilizou-se como critério de distinção a provável filiação ao material geológico de origem.

A metodologia para a classificação até o segundo nível é descrita a seguir:

nível 1 – considerou-se a estrutura secundária do saprolito conforme definido no Quadro 2.3 (Capítulo 2) e adicionou-se ao vocábulo *Sapro* a sua correspondente forma estrutural, seguindo-se a etimologia em português ou latim sugerida na Tabela 4.1;

nível 2 – a seguir acrescentou-se ao nome principal a filiação ao material de origem (Tabela 4.2);

Os nomes podem ser derivados do português ou latim, conforme exposto na Tabela 4.1 ou simplesmente serem traduzidos para o inglês (Tabela 4.3) para que haja caráter de linguagem universal, para fins de publicação ou redução de ambiguidades técnicas.

Figura 4.2 - Etapas para a classificação de saprolitos derivados de rochas metamórficas até o quarto nível categórico

Tabela 4.1- Categorização de saprolitos no primeiro nível

Estrutura 2ª	Elemento formativo em português e latim	Nome 1ª categoria em português e latim
contínua	contínuo/ <i>continuum</i>	Saprocontínuo/ <i>Saprocontinuum</i>
fraturada	fraturado/ <i>fractum</i>	Saprofraturado/ <i>Saprofractum</i>
fragmentada	fragmentado/ <i>mutilatum</i>	Saprofragmentado/ <i>Sapromutilatum</i>
terrosa	terroso/ <i>terreni</i>	Saproterroso/ <i>Saproterreni</i>

Tabela 4.2 - Categorização de saprolitos no segundo nível (exemplo hipotético)

Nome 1ª categoria	Rocha de origem	Nome 2ª categoria
Saprocontínuo	Gnaiss	Saprocontínuo gnáissico
Saproterroso		Saproterroso gnáissico
Saprocontínuo	Xisto	Saprocontínuo xistoso
Saprofraturado		Saprofraturado xistoso

Tabela 4.3-Tradução de nomes do português para o inglês (exemplo hipotético)

Nome em Português	Nome em Inglês
Saprocontínuo gnáissico	<i>Gneissic Saprocontinuous</i>
Saprofraturado gnáissico	<i>Gneissic Saprofractured</i>
Saprofragmentado gnáissico	<i>Gneissic Saprofragmented</i>
Saproterroso gnáissico	<i>Gneissic Saproearthy</i>

Para refinar o sistema de classificação de saprolitos, mediante a análise de resultados laboratoriais (Capítulo 3), selecionou-se índices que fossem capazes de explicitar as modificações presentes no saprolito em relação ao seu material parental. Deste modo, selecionou-se como critério em **terceiro nível** o uso de classes de porosidade (proposto na Tabela 4.4), em virtude da correlação existente entre este atributo e o índice de Parker, conforme discussões apresentadas no Capítulo 3. A seguir preconiza-se a adoção em **quarto nível**, das alterações mineralógicas, com base em observações sob microscopia ótica e apoio de difratometria de raios X, denominando-se os principais produtos neoformados.

Tabela 4.4 - Proposição de categorias de porosidade para a classificação de zonas saprolíticas baseadas em estatística descritiva e possibilidade de inclusão de materiais pouco alterados (menos porosos do que os observados)

Categorias	Variação da porosidade gravimétrica
Escasamente poroso	<15%
Pouco poroso	15 a 30%
Poroso	>30 a 45%
Muito poroso	>45 a 60%
Extremamente poroso	>60%

4.2.2 Inserção da informações sobre saprolitos na classificação de solos

Os solos amostrados (Capítulo 2) foram classificados segundo EMBRAPA (2013) até o quarto nível categórico conforme disposto no Anexo A. Para a classificação foram considerados aspectos morfológicos e os resultados analíticos preconizados por EMBRAPA (1997) apresentados no Anexo B (Tabelas B1, B2, B5 e B6). Apesar de serem formados a partir de distintos materiais de origem e apresentarem subjacente diversificado, muitas vezes estes solos foram enquadrados nas mesmas categorias. Como estes solos provavelmente sofrem grande influência do material intemperizado subjacente, que geralmente ultrapassa a espessura da própria cobertura pedológica, entende-se que a inserção de informações sobre atributos do saprolito possa contribuir para a ampliação do nível de interpretação ambiental proporcionado pela classificação de solos.

Desse modo propõe-se que informações sobre filiação do saprolito sejam adicionadas no 5º nível categórico do SiBCS (2013) e no 6º nível sejam adicionadas informações sobre a porosidade total (Tabela 4.4) observada nas duas primeiras camadas ou no primeiro metro de material saprolitizado.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Classificação de saprolitos derivados de rochas sedimentares e metamórficas

Na Tabela 4.5 é apresentada a classificação preliminar das zonas saprolíticas derivadas de rochas metamórficas e sedimentares coletadas nos Estados de Minas Gerais e São Paulo. A classificação de saprolitos derivados de rochas metamórficas foi executada até o quarto nível categórico, enquanto que para aqueles derivados de rochas sedimentares classificou-se até o segundo nível.

Sugestões para a classificação de saprolitos considerando a filiação parental são frequentes na literatura (BUOL, 1994; MAFRA; MORI, 2003; EHLEN, 2005; MORAIS; BACELLAR; SOBREIRA, 2004; PEDRON et al., 2009; PEDRON et al., 2010). Segundo Finkl (2008), como os saprolitos são caracterizados pela preservação da estrutura que estava presente na rocha inalterada, é frequentemente possível designá-los pela sua filiação como por exemplo saprolito granítico, saprolito dolerítico e saprolito basáltico.

Como a filiação parental e a estrutura do saprolito, trazem importantes informações preliminares sobre as funções técnico-ambientais de zonas saprolíticas, como grau de alteração, hidrologia, possibilidade de colonização vegetal e movimentação de massa, tais propriedades são distintivas e informativas para serem utilizadas nos primeiros níveis categóricos. Como estes atributos são determináveis a campo, ao nível macroscópico, acredita-se que o esquema de classificação proposto pode atender a variadas finalidades.

As alterações de densidade e porosidade entre os horizontes/camadas de solo e saprolito amostrados nesta investigação não são essencialmente distintas conforme se discutiu no Capítulo 3. No entanto, ao se considerar que saprolitos se desenvolvem sob condições isovolumétricas, ou seja, 1 m³ de rocha gera 1m³ de saprolito, pode-se depreender que a formação de porosidade neste tipo de material corresponde a perda total de massa provocada pela ação intempérica, conforme observado pela considerável correlação positiva entre índice de intemperismo (WIP) e porosidade total. Obviamente o mesmo raciocínio não se aplica a materiais pedogênicos, uma vez que alterações volumétricas de expansão ou colapso são esperadas. Deste modo, a porosidade total em base gravimétrica pode se constituir em um bom índice sobre a evolução intempérica de corpos saprolíticos. Deste modo, pôde-se incorporá-la no sistema de classificação para saprolitos, criando-se subclasses a partir da amplitude dos resultados obtidos, conforme proposto na Tabela 3.2.

Tabela 4.5 - Classificação dos saprolitos em quatro níveis

Perfil/zona saprolítica	Classificação proposta
P1/Cr1	Saprofragmentado xistoso (quartzo-biotita-feldspato) muito poroso oxídico-caulinítico
P1/Cr2	Saprofraturado xistoso (quartzo-biotita-feldspato) muito poroso oxídico-caulinitizado
P2/Cr1	Saprofragmentado xistoso (quartzo-clorita-muscovita) muito poroso oxídico-caulinítico
P2/Cr2	Saprocontínuo xistoso (quartzo-clorita-muscovita) muito poroso oxídico-caulinítico
P2/RCr	Saprocontínuo xistoso (quartzo-clorita-muscovita) escassamente poroso oxídico
P3/Cr	Saprofragmentado xistoso (quartzo-muscovita) poroso oxídico-caulinítico
P3/RCr1	Saprofraturado xistoso (quartzo-muscovita) poroso oxídico-caulinítico
P3/RCr2	Saprocontínuo xistoso (quartzo-muscovita) poroso oxídico
P4/Cr	Saprofraturado xistoso (clorita-talco-tremolita) extremamente poroso oxídico-caulinítico
P5/Cr1	Saproterroso xistoso (quartzo-feldspato-biotita-granada) muito poroso oxídico-caulinítico
P5/Cr2	Saproterroso xistoso (quartzo-feldspato-biotita-granada) muito poroso oxídico-gibbsítico-caulinítico
P5/RCr	Saprocontínuo xistoso (quartzo-feldspato-biotita-granada) escassamente poroso oxídico
P6/Cr1	Saprocontínuo xistoso (talco) poroso oxídico-caulinítico-sericítico
P6/Cr2	Saprocontínuo xistoso (talco) poroso oxídico-caulinítico-sericítico
P6/Cr3	Saprocontínuo xistoso (talco) muito poroso oxídico-caulinítico-sericítico
P6/RCr	Saprocontínuo xistoso (talco) muito poroso caulínítico-sericítico
P7/CR	Saprofragmentado gnáissico (máfico) escassamente poroso oxídico
P8/Cr1	Saproterroso gnáissico (félsico) poroso caulínítico-sericítico
P8/Cr2	Saproterroso gnáissico (félsico) poroso caulínítico-sericítico
P8/RCr	Saprocontínuo gnáissico (félsico) escassamente poroso sericítico
P9/Cr	Saproterroso gnáissico (mésico) muito poroso oxídico-caulinítico-sericítico
P10/Cr1	Saprocontínuo arenítico
P10/Cr2	Saprocontínuo arenítico
P10/RCr	Saprocontínuo arenítico
P11/RCr	Saprocontínuo arenítico
P12/Cr1	Saprocontínuo arenítico
P12/Cr2	Saprocontínuo arenítico
P12/Cr3	Saproterroso arenítico
P12/RCr	Saprocontínuo arenítico
P13/Cr1	Saprofraturado siltico
P13/Cr2	Saprofraturado siltico
P13/RCr	Saprofraturado siltico
P14/Cr	Saprofragmentado siltico
P14/RCr1	Saprofraturado siltico
P14/RCr2	Saprofraturado siltico
P14/RCr3	Saprocontínuo siltico
P15/Cr1	Saprocontínuo siltico
P15/Cr2	Saprocontínuo siltico
P15/Cr3	Saprocontínuo siltico

4.3.2 Classificação de saprolito aplicada a classificação de solos

A proposta de classificação dos solos levando-se em conta informações obtidas a partir da classificação de saprolitos é apresentada na Tabela 4.6.

A informação sobre a filiação genética do saprolito é reconhecível a campo, sendo que a proposta de adicioná-la ao 5º nível categórico do SiBCS (2013) pode levar a maior distinção entre solos influenciadas pela proximidade com a camada saprolítica e promover mais indicativos sobre a sua própria pedogênese. Assim solos que rebiam a mesma classificação até o quarto nível categórico como P1=P3; P11=P12 e P13=P14 puderam ser diferenciados ao receber informações sobre a camada saprolítica.

A adição de classes de porosidade total do saprolito das primeiras camadas também se mostrou útil para a classificação de solos no 6º nível, porque este atributo se mostrou estável nas duas primeiras camadas ou no primeiro metro e também porque provê indicativos importantes sobre a hidrologia e possibilidade de colonização vegetal na zona de alteração (KEW; GILKES, 2006) imediatamente abaixo do solo.

Tabela: Classificação de solos segundo EMBRAPA (2013) com inserção de informações sobre o saprolito

Perfil	Classificação SiBCS (4º nível)	Filiação do saprolito (5º nível)	Porosidade saprolito (6º nível)
1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	Saprolito xistoso (quartzo-biotita-Xisto-feldspático)	muito poroso
2	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico	Saprolito xistoso (quartzo-clorita-muscovita Xisto)	poroso
3	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	Saprolito xistoso (quartzo-muscovita Xisto)	poroso
4	ARGISSOLO VERMELHO Eutroférico chernossólico	Saprolito xistoso (clotita-talco-tremolita Xisto)	extremamente poroso
5	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico	Saprolito xistoso (quartzo-feldspato-biotita-Xisto-granatífero)	muito poroso
6	ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico típico	Saprolito xistoso (talco-Xisto)	poroso
7	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico chernossólico	Saprolito gnáissico (máfico)	–
8	ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico típico	Saprolito gnáissico (félsico)	poroso
9	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico típico	Saprolito gnáissico (mésico)	muito poroso
10	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	Saprolito arenítico (Pirambóia)	–
11	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico	Saprolito arenítico (Tatuí)	–
12	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico	Saprolito arenítico (Botucatu)	–
13	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico	Saprolito siltico (Tatuí)	–
14	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico	Saprolito siltico (Corumbataí)	–
15	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Ta Distrófico típico	Saprolito siltico (Itararé)	–

Referências

- BUOL, S.W. Saprolite – regolith taxonomy: an approximation. In: CREMEENS, D.L.; BROWN, R.B.; HUDDLESTON, J.H. **Whole regolith pedology**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 119-132.
- EHLEN, J. Above the weathering front: contrasting approaches to the study and classification of weathered mantle. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 67, p. 7-21, 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed., Rio de Janeiro, 2013. 353 p.
- KELLOG, C.E. Why a new system? **Soil Science**, Baltimore, v. 96, p. 1-5, 1963.
- KEW, G.; GILKES, R. Classification, strength and water retention characteristics of lateritic regolith. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, p. 184-198, 2006.
- MAFRA, J.M.Q.; MORI, R.T. Saprolitos compactados na construção de barragens de terra e enrocamento: o caso da barragem do Sossego. In: Seminário nacional de grandes barragens, 25, 2003. **Anais...** Salvador: Comitê Brasileiro de Barragens, 2003. p.1-18.
- MORAIS, F.; BACELLAR, L.A.P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1055-1062, 2004.
- PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; STÜRMER, S. L. K.; MENEZES, F. P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 119-128, 2009.
- PEDRON, F. A.; FINK, J. R.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1941-1950, 2010.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de corpos saprolíticos avança a passos curtos, conforme pode-se observar a partir da escassez de literatura sobre o tema. Este é mais um passo na direção da compreensão e difusão do conhecimento a respeito desses corpos geológicos em alteração. Acredita-se que a hierarquização sólida ainda dependerá da investigação de inúmeros outros saprolitos, desenvolvidos a partir de outras litologias, superfícies geomórficas e situações climáticas. No entanto, preconiza-se que o ponto de partida seja sempre o uso de nomenclatura padronizada do seu conceito para evitar futuras divergências. As metodologias de descrição provavelmente apresentarão critérios adicionais, no entanto, há razoável arcabouço divulgado neste e em outros trabalhos para o estabelecimento de descritores mínimos que atinjam os objetivos de um sistema de classificação.

Diante de todas as investigações executadas, acredita-se que o saprolito possa ser tratado como um corpo individualizado. O tratamento do saprolito como corpo individualizado em relação ao solo nem sempre é fácil, devido ao limite difuso ou extensa interface entre materiais pedoplasmados e saprolitizados. Entretanto, o estabelecimento de limites entre solos e saprolitos é possível a partir da premissa de que saprolito deve essencialmente apresentar estrutura de rocha bem preservada, o que permite a separação entre estes materiais como objetos individualizados para fins de classificação e análise.

Preconiza-se que a classificação de saprolitos seja feita com base em aspectos macromorfológicos inicialmente, a exemplo do que se faz com solos e rochas. Após isso, a mensuração de algumas de suas propriedades, com base em análises laboratoriais padronizadas, servirão de base para a sua categorização detalhada.

Até este momento, preconiza-se como análises laboratoriais de rotina a adoção de medidas a respeito da porosidade e sobre a mineralogia desses materiais. Conforme se demonstrou, a estimativa da porosidade, com base gravimétrica, fornece um índice relativamente confiável da extensão das modificações geoquímicas, principalmente em relação a perda de massa. Como esta medida é relativamente simples de ser executada, poderia participar do protocolo de análise para saprolito e integrar a classificação.

Em relação a identificação mineralógica, ficou evidente que a combinação de técnicas de microscopia ótica combinadas com difratometria são imprescindíveis para se alcançar uma detecção segura das várias fases de alteração e produtos neoformados, de tal maneira que uma técnica supre as carências da outra. A partir daí, sugere-se que os principais produtos mineralógicos neoformados sejam inseridos no último nível de classificação, devido ao seu

caráter de correlação com a composição geoquímica e a propriedades mecânicas que estes materiais possam apresentar.

A identificação de minerais a partir de exame ótico petrográfico em seções finas, apesar do esforço laborial envolvido, deve ser vista como prática fundamental e de rotina para a avaliação de alterações mineralógicas e físicas presentes em saprolito, a exemplo do que se faz para a análise de rochas. A grande vantagem desta técnica é a análise individualizada dos minerais, mesmo que eles estejam presentes em uma mesma amostra, tornando a avaliação mineralógica mais precisa.

A proposta de classificação de saprolitos levou em conta sua finalidade multidisciplinar, descrições morfológicas e resultados analíticos até então obtidos. Propõe-se que outros testes, como de condutividade hidráulica e resistência mecânica, sejam executados em sequências de perfis de alteração (solo-saprolito-rocha), no intuito de identificar atributos diferenciadores e especialização da proposição taxonômica.

A inserção de informações oriundas de camadas saprolíticas para o refinamento da classificação de solos, provavelmente terá maior utilidade se levar em conta apenas as camadas situadas imediatamente abaixo do solo. Outra possibilidade é que propostas de descrição de saprolitos, assim como a deste estudo, sejam incorporadas aos manuais de descrição de solos comumente utilizados por pedólogos.

ANEXOS

Anexo A - Fichas de descrição

PERFIL 1 – Xisto feldspático – SJB Glória MG

DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 06/08/2011

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, floresta subcaducifólia, relevo ondulado a forte ondulado, substrato xisto feldspático.

LOCALIZAÇÃO: município de São João Batista do Glória, estrada Glória-Canteiros km 9, sob as coordenadas WGS 84, 23K, 0352010 mE, 7721672 mS, altitude de 810 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio de elevação com aproximadamente 20% de declive, sob vegetação nativa de floresta subcaducifólia pertencente ao bioma do Cerrado.

LITOLOGIA: xisto feldspático (inclinação de 25%)

MATERIAL DE ORIGEM: xisto feldspático

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo Araxá

PERÍODO: Triássico-Jurássico

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: floresta subcaducifólia

USO ATUAL: vegetação nativa

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, José Reis

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-25 cm; *peds* cinzento-muito-escuro (7,5 YR 3/1, úmida); argilosa; moderada grumosa pequena e média; dura, firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; com presença de linha de pedras no limite com o horizonte subjacente composta de cascalhos de quartzo angulosos e fragmentos de xisto (acinzentado); transição plana inclinada e difusa; raízes finas, médias e grossas muitas.

Bi 25-70 cm; constituído por 50% *peds* bruno (7,5 YR 4/4, úmida); argilo-arenosa cascalhenta; moderada a forte, blocos subangulares pequeno a grande; dura, firme/friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa e; por 50% de fragmentos saprolíticos variegado vermelho (2,5 YR 4/6, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3, úmida); laminar muito grande; muito dura, muito firme, moderadamente difícil, transição plana inclinada (25°) gradual; raízes médias e grossas comum.

C1 70-150 cm (aloterita); constituído por material pédico (60%) bruno-forte (7,5 YR 4/6, úmida); siltosa cascalhenta, fraca, blocos subangulares pequeno e médio, macia, friável, não plástica, ligeiramente pegajosa e; por material saprolítico (40%) bruno-amarelo-escuro (10 YR 4/6, úmida), xistosa fragmentada, composta por faixas contínuas entremeadas com material pédico com inclinação horizontal de 25°, siltosa, dura, friável; transição plana inclinada (25°) clara; raízes médias comum.

C2 150-200 cm (isalterita); constituído por material por material saprolítico (60%) vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmida), xistosa terrosa, com fraturamento horizontal de 25°, siltosa, ligeiramente dura, friável e; por material pédico (40%) vermelho-amarelado (5 YR 4/6 úmida), siltosa cascalhenta, fraca, blocos subangulares grande, macia, friável, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana inclinada (25°) clara, raízes finas e médias comum.

CR1 200 a 300 cm (isalterita); constituído por material saprolítico (80%) variegado vermelho (10 R 5/8, úmida) e bruno-oliváceo-claro (2,5 Y 5/3, úmida), xistosa fraturada, composta de

blocos angulares (10 cm) com fraturas subverticais a cada 10 a 20 cm e horizontais inclinadas a 25°, areno-siltosa, dura, muito firme/extremamente firme e; por material pédico (20%) bruno-forte (7,5 YR 4/6, úmida), areno-siltosa muito cascalhenta, fraca, grãos simples, macia, friável, não plástica, não pegajosa, transição plana inclinada gradual, raízes finas apenas nas fraturas.

CR2 300 a 400+ cm (isalterita); saprolito variegado vermelho-claro (2,5 YR 6/8, úmida) e cinza (2,5 Y 5/1, úmida), xistosa fraturada, composta de blocos angulares (8 a 12 cm) com fraturas subverticais a cada 10 a 20 cm e horizontais inclinadas a 25°, areno-siltosa, extremamente dura; raízes finas apenas nas fraturas

R* rocha com porfiroblastos de feldspato e xistosidade disposta sob inclinação horizontal de 25°.

Observação*: coletada nas proximidades

P1-relevo e vegetação

P1-solo e saprolito

P1-uso (pastagem e mata nativa)

P1-saprolito

PERFIL 2 Clorita-xisto**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 13/10/2011

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, clorita-xisto.

LOCALIZAÇÃO: Capitólio MG, as margens da estrada vicinal que liga a localidade Fecho da Serra a Capitólio, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0339645 mE, 7713270 mS, altitude de 760 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, inclinação da rocha (15%) ao contrário da declividade do terreno 20%, sob plantio de eucalipto.

LITOLOGIA: clorita-xisto (mergulho da rocha 15% ao contrário da declividade)

MATERIAL DE ORIGEM: clorita-xisto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo Araxá

PERÍODO: Neoproterozóico

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical perenifólia

USO ATUAL: eucalipto 2 anos

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Paulo César Lage Guerra e Wellington Silveira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-20 cm; bruno (10 YR 4/3, úmida); argilo-siltosa; moderada pequena média blocos subangulares; cerosidade fraca comum; dura/muito dura, plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa; transição plana clara; raízes pequenas comuns;

Bt 20-40 cm; amarelo-brunado(10 YR 6/6, úmida); muito argilosa; moderada prismática média e grande; cerosidade moderada comum; muito dura, firme, plástica, pegajosa; transição plana gradual; raízes finas comuns;

BC 40-70 cm; 95% de *peds* bruno-forte (7,5 YR 5/8, úmida); franco-argilosa; forte, prismática, extremamente grande; cerosidade moderada pouca; dura, firme, ligeiramente plástica/plástica, pegajosa e; 5% de fragmentos saprolíticos amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, úmida); dura, firme, fácil; transição plana clara inclinada; raízes finas nas fraturas.

Cr1 70-140 cm (isalterita); constituída por material saprolítico (80 %) amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, úmida), siltosa, xistosa fragmentada, composta de faixas formadas por blocos angulares (6 a 12 cm) com fraturas subverticais e horizontais com inclinação de 25°, siltosa, ligeiramente dura/dura, firme e; por material pédico intercalado em faixas bruno-forte (7,5 YR 5/8, úmida), silto-arenosa, fraca granular pequena a muito pequena, macia/ligeiramente dura, friável, não plástica, ligeiramente pegajosa, transição inclinada e difusa, raízes finas muitas nas fraturas.

Cr2 140-200 cm (isalterita); constituída por material saprolítico (60 %) amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, úmida), siltosa, xistosa fragmentada, composta de faixas formadas por blocos angulares (6 a 12 cm) com fraturas subverticais e horizontais com inclinação de 25°, siltosa, ligeiramente dura, firme e; por material pédico bruno-forte (7,5 YR 5/6, úmida), argilo-siltosa, cerosidade moderada comum, moderada prismática grande, macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa, transição inclinada gradual; raízes finas muitas;

Cr3 200-300+ cm (isalterita); saprolito bruno-claro-acinzentado (2,5 Y 8/4, úmida), areno-siltosa, xistosa contínua, com fraturamento acompanhando a xistosidade inclinada a 25°, siltosa, extremamente dura, muito firme.

RCr rocha alterada xistosa esverdeada-clara

R* rocha xistosa esverdeada

* coletado nas proximidades

P2- relevo e vegetação

P2-solo e saprolito

P2-uso (cafeicultura, mata e campo nativo)

P2-saprolito

PERFIL 3 – Muscovita Xisto - São João Batista do Glória MG

DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 28/12/2011; revisado em 17/02/2012

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado, substrato muscovita xisto.

LOCALIZAÇÃO: as margens de estrada rural de propriedade particular, situada no município de São João Batista do Glória MG, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0207880 mE, 7481451 mS, altitude de 750 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio de elevação com aproximadamente 25% de declive, sob vegetação nativa (capoeira).

LITOLOGIA: muscovita-xisto com xistosidade anastomosada

MATERIAL DE ORIGEM: quartzo-muscovita xisto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Araxá

PERÍODO: Neoproterozóico

RELEVO LOCAL: forte ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: vegetação nativa (capoeira)

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, José Reis

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-30 cm; bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, úmida); argilo-siltosa cascalhenta; fraca/moderada; composta de granular pequena e bloco subangular média; ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa; transição plana gradual; raízes finas a grossas muita.

Bi 30-50 cm; *peds* vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmida); argilo-siltosa cascalhenta; fraca granular pequena; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana clara; raízes finas e grossas muitas.

C (aloterita) 50-90 cm; constituído por material pédico (90%) vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmida), siltosa cascalhenta, fraca composta de granular pequena e bloco subangular pequena, macia, muito friável, não plástica, ligeiramente pegajosa e por; 10 % de fragmentos saprolíticos cinza-azulado (5 B 5/1), xistosa fragmentada, laminar (1 a 2 cm), dura, muito firme, transição ondulada gradual, raízes finas comum.

Cr (isalterita) 90-130 cm; constituído por saprolito variegado composto pelas cores cinza-azulado (5 B 5/1) e bruno-avermelhado-claro (2,5 YR 7/6), xistosa fraturada, formada por fragmentos laminares subarredondados (3 a 10 cm de comprimento por 1 a 5 cm de espessura) com fraturamento horizontal de 25°, siltosa, dura, muito firme, bem drenado e por; 20% de preenchimento entre as fraturas por material pédico vermelho-amarelado (5 YR 4/6 úmida), siltosa, fraca granular muito pequena, macia, muito friável, não plástica, ligeiramente pegajosa, transição inclinada gradual, raízes finas e médias pouca.

RCr1 (isalterita) 130-200 cm; saprolito variegado composto pelas cores cinza-azulado (5 B 5/1), vermelho-claro (10 R 7/6), amarelo-brunado (10 YR 6/8) e preto (N 2,5/0), xistosa fraturada, formada por fragmentos laminares subarredondados (1 a 12 cm de comprimento por 0,5 a 3 cm de espessura) com fraturamento horizontal de 25°, areno-siltosa, dura/muito dura, muito firme/extremamente firme, bem drenado, transição inclinada gradual.

RCr2 (isalterita) 200-280+; saprolito cinza-azulado (5 B 5/1) com mosqueado abundante pequeno proeminente vermelho-claro (10 R 7/6), amarelo-brunado (10 YR 6/8) e preto (N 2,5/0), xistosa fraturada, formada por fragmentos laminares subarredondados (8 a 25 cm de comprimento por 2 a 5 cm de espessura) com fraturamento horizontal de 25°, arenosa, extremamente dura, muito firme/extremamente firme, bem drenado, transição não observada.

R*; rocha cinza-azulada (5 B 5/1); maciça xistosa intercalada por veios de quartzo com inclinação horizontal de 25°

*profundidade indeterminada, material coletado na superfície, próximo ao perfil.

**mergulho da rocha de 25° ao contrário da declividade do terreno

P3-relevo e vegetação

Perfil 3_ solo

P3-uso (eucalipto e pastagem)

P3-saprolito

PERFIL 4 – Tremolita-xisto - Pratápolis MG

DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 29/12/2011, revisado dia 15/02/2013

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO VERMELHO Eutroférico chernossólico, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado, substrato tremolita-xisto.

LOCALIZAÇÃO: as margens de estrada rural de propriedade particular, situada no município de Pratápolis MG, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0314927 mE, 7696195 mS, altitude de 890 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio de elevação com aproximadamente 30% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: tremolita-xisto

MATERIAL DE ORIGEM: tremolita-xisto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Greenstone Belt

PERÍODO: Paleoproterozóico

RELEVO LOCAL: forte ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, José Reis

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-70 cm; constituído por material pédico (60%) bruno muito-escuro (7,5 YR 2,5/2), argilosa muito cascalhenta, moderada, granular muito pequena e pequena, dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa e; por fragmentos saprolíticos (40%) verde-acinzentado claro (10 Y 6/2), xistosa fragmentada, composta por fragmentos laminares subarredondados (10-40 cm de comprimento por 4-10 cm de espessura dispostos com inclinação subhorizontal aleatória, siltosa, extremamente dura, inquebrável; transição plana inclinada difusa; raízes finas a médias abundante.

Bt 70-130 cm; constituído por material pédico (80%) bruno avermelhado-escuro (5 YR 3/4), argilosa cascalhenta, moderada prismática grande, dura/muito dura, firme, muito plástica, pegajosa e; por 20% de fragmentos saprolíticos vermelho-amarelado (5YR 5/8), xistosa fragmentada, composta de bloco subangular grande e prismática média, argilosa, muito dura, firme; transição plana gradual; raízes finas raras.

Cr1 (aloterita/isalterita) 130-170 cm; constituído por fragmentos saprolíticos (60%) amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8), xistosa fraturada, composta por blocos subangulares e angulares (7 a 10 cm de comprimento) com fraturamento horizontal de 40° e 70°, areno-siltosa, dura, firme/muito firme e; por material pédico (40%) vermelho-amarelado (5 YR 4/6), franco-argilosa muito cascalhenta, fraca granular muito pequena, dura, friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição inclinada gradual; bem drenado.

Cr2 (isalterita) 170-270+ cm; saprolito internamente bruno-forte (7,5 YR 5/8), externamente variegado composto pelas cores preto-avermelhado (10 R 2,5/1) e vermelho-escuro (10 R 3/6), xistosa fraturada, composta por blocos angulares (10-20 cm de comprimento), com fraturamento de inclinação horizontal de 40° e 70°, siltosa, muito dura, firme, transição não observada; raízes finas e médias pouca nas fraturas;

R*; rocha verde-acinzentada claro (10 Y 6/2), com estrutura xistosa, de inclinação vertical de 20° e orientação E-W

*profundidade indeterminada, material coletado na superfície, próximo ao perfil.

P4-relevo e vegetação

P4-solo

P4-uso (pastagem e mata)

P4-saprolito

PERFIL 5– Xisto granatífero – Passos MG

DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 20/02/2012, revisado dia 24/02/2013

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico, floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado, substrato xisto granatífero.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia MG 050, trevo de Passos MG, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 23 K, 0330033 mE, 7706320 mS, altitude de 760 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço superior de elevação com aproximadamente 15% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: xisto granatífero

MATERIAL DE ORIGEM: xisto granatífero

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Araxá

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, José Reis

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-15 cm; bruno muito-escuro (7,5 YR 2,5/2); argilo-arenosa cascalhenta; fraca composta de grãos simples e blocos subangulares pequena e média; ligeiramente dura, solta, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana clara; raízes finas a médias muitas.

BA 15-50 cm; vermelho (2,5 YR 4/6); argilosa muito cascalhenta; fraca composta de grãos simples e bloco subangular pequena; ligeiramente dura, solta, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes finas a médias muita.

Bt 50-90 cm; vermelho (2,5 YR 4/8); argilosa cascalhenta; moderada composta de bloco subangular média e grande e granular muito pequena; ligeiramente dura/dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes finas e médias comum.

C 90-160 cm (aloterita); vermelho (2,5 YR 5/6); franco-argilosa com cascalho; moderada bloco subangular muito grande; macia, friável, ligeiramente plástica, não pegajosa/ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual; raízes finas muitas.

Cr1 (isalterita) 160 a 210 cm; saprolito amarelo-avermelhado (5 YR 6/6), xistosa terrosa, siltosa micácea com cascalho, solta/macia, solta, raízes finas comum, transição inclinada difusa.

Cr2 (isalterita) 210-400 cm; saprolito bruno-amarelado (10 YR 5/4), siltosa com cascalho, xistosa terrosa, siltosa micácea, solta, solta, transição não observada, raízes fina comum.

RCr* (isalterita); rocha alterada xistosa de coloração cinza muito-escuro (Gley 1 N 3/) com pontuações vermelho-amarelada (5 YR 5/8).

R* rocha xistosa de coloração preto-acinzentada (Gley 1 N 2,5/) com pontuações vermelho-amarelada (5 YR 5/8)

Observações: presença de linha de quartzo no Hz B, encharcamento no limite entre horizontes C e CR1 e estratos escuros no Hz CR1; *profundidade indeterminada, material coletado na superfície, próximo ao perfil

P5-relevo e vegetação

P5-solo

P5- uso (pastagem)

P5-solo e saprolito

PERFIL 6 – Talco xisto-Passos MG**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 22/02/2012

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, substrato talco-xisto.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Passos MG a Bom Jesus da Penha MG, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0331328 mE, 7694489 mS, altitude de 900 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio de elevação com aproximadamente 20% de declive, sob vegetação graminosa.

LITOLOGIA: talco-xisto

MATERIAL DE ORIGEM: talco-xisto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Greenstone Belt Fortale

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: vegetação nativa

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Paulo César Lage Guerra

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

AB 0-15 cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4); argilosa; cerosidade moderada pouca; moderada, bloco subangular granular pequena e média; ligeiramente dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição descontínua gradual; raízes finas comum.

BtA 15-50 cm; bruno-acinzentado-escuro (2,5 Y 4/2) com mosqueado abundante pequeno proeminente vermelho (2,5 YR 4/8); argilo-arenosa cascalhenta; moderada, bloco subangular grande; macia/ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição descontínua clara; raízes finas e médias comum.

Bt1 50-90 cm; internamente amarelo-brunado (10 YR 6/6) e com bordas cinza-claro (10 YR 7/2); argilosa; cerosidade forte abundante; forte composta de prismática grande e blocos angulares média; dura/muito dura, firme, muito plástica, pegajosa; transição ondulada gradual; raízes médias e grossas comum.

Bt2 90-140 cm; variegado composto pelas cores cinza-claro (2,5 Y 7/1) e amarelo-brunado (10 YR 6/8); argilosa com cascalho; cerosidade forte abundante; forte prismática muito grande; muito dura, muito firme, plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa; transição inclinada (45°) gradual; raízes médias rara.

Cr1 (isalterita) 140 a 170 cm; saprolito oliva-claro-acinzentado (5 Y 6/3) com mosqueado abundante grande distinto bruno-amarelado (10 YR 5/8), xistosa contínua, com inclinação horizontal de 50°, argilo-siltosa, dura, friável, imperfeitamente drenado, transição inclinada (50°) clara.

Cr2 (isalterita) 170-250 cm; saprolito composto pelas cores bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/6), bruno-amarelado (10 YR 5/8) e cinza-claro (2,5 Y 7/2), xistosa fraturada, composta por blocos angulares (8 a 20 cm de comprimento), com fraturamento de inclinação horizontal de 50° e subvertical, areno-siltosa com argilões esbranquiçados nas fraturas, dura, firme, bem drenado, transição inclinada a 50° gradual.

Cr3 (isalterita) 250-320 cm; saprolito composto pelas cores cinzento-oliváceo-claro (5 Y 6/2) com mosqueado abundante grande proeminente bruno-amarelado (10 YR 5/8) e branco (5 Y

8/1) com mosqueado abundante grande proeminente bruno-amarelado (10 YR 5/8); xistosa fraturada, composta por blocos angulares (20 a 50 cm de comprimento), com fraturamento de inclinação horizontal de 50° e subvertical, siltosa, dura, firme, bem drenado, transição inclinada (50°) clara.

Cr4 (isalterita) 320-400+ cm; saprolito variegado composto pelas cores verde-acinzentado-claro (5 GY 6/2), bruno-amarelado (10 YR 5/8) e cinza-muito-escuro (2,5 Y 3/1); xistosa fraturada, composta por blocos angulares (10 a 15 cm de comprimento), com fraturamento de inclinação horizontal de 40° e 70°, siltosa, dura, firme, bem a excessivamente drenado; transição não observada.

Observações: presença de maior número de raízes médias na transição do BgA para o Bg1 e ocorrência de bolsões escurecidos por matéria orgânica no BgA

P6-relevo e vegetação

P6-solo

P6-uso (pastagem e café)

P6-saprolito

PERFIL 7 – Gnaiss melanocrático - Passos MG**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 10/10/2011, revisado dia 24/02/2013

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006): ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico chernossólico, floresta tropical caducifólia, relevo forte ondulado, substrato gnaiss melanocrático.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Passos a São João Batista do Glória – MG, próximo ao Rio Grande, em pedreira de gnaiss, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0339645 mE, 7713270 mS, altitude de 760 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de pedreira, no terço médio de elevação com aproximadamente 40% de declive, sob vegetação nativa (aroeiral).

LITOLOGIA: paragnaisse melanocrático (mergulho da rocha 60% ao contrário da declividade)

MATERIAL DE ORIGEM: gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo Araxá

PERÍODO: Neoproterozóico

RELEVO LOCAL: forte-ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia

USO ATUAL: vegetação nativa

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-15 cm; constituído por material pédico (80%) preto-avermelhado (7,5 R 2,5/1, úmida), argilo arenoso, moderada a forte grumosa pequena média, macia/ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e; por material saprolítico (20%) vermelho-claro (7,5 R 6/8, úmida) e branco (7,5 YR 8/1, úmida), gnáissica fragmentada, formada por blocos angulares (5 a 15 cm), fanerítica, extremamente dura, inquebrável, transição plana e gradual; raízes médias finas comuns.

Bt 15-80 cm; vermelho muito escuro-acinzentado (10 R 2,5/2, úmida); argilosa com cascalho; moderada a forte blocos angulares grande e muito grande; cerosidade fraca comum; duro/muito duro, friável, plástica, pegajosa; transição plana inclinada e clara; raízes médias grandes comuns;

BC 80-160 cm; constituído por material pédico (70%) vermelho-escuro (2,5 YR 10 R 3/4, úmida); argilosa muito cascalhenta, cerosidade fraca e pouca, moderada pequena e média blocos angulares, ligeiramente dura, friável, muito plástica, pegajosa e; por material saprolítico (30%) cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmida) e vermelho-amarelado (5 YR 5/8, úmida) internamente, gnáissica fragmentada, formada por blocos subangulares (5 a 10 cm), arenosa, muito dura, extremamente firme, transição plana gradual; raízes finas médias poucas.

C1 (aloterita) 160-210 cm; constituído por material pédico (50%) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida), argilo-siltosa muito cascalhenta, cerosidade moderada comum, moderada prismática pequeno e médio, macia/ligeiramente duro, friável, não plástico/ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso e; por material saprolítico (50 %) bandado cinzento muito escuro (2,5 Y 3/1, úmida) e oliva (5 Y 4/4, úmida) na parte interna, e preto (7,5 YR 2,5/1, úmida) na parte externa; gnáissica fragmentada, formada por blocos subangulares (3 a 10 cm), areno-siltosa, muito dura, muito firme, excessivamente drenado, transição plana e difusa; raízes finas e poucas .

Cr (isalterita) 210 a 250+ cm; saprolito vermelho amarelado (5 YR 5/8, úmida), siltosa com cerosidade moderada comum, gnáissica terrosa, formada por prismas (5 a 10 cm), ligeiramente dura, macia, excessivamente drenado, transição não observada;

RCr*; saprolito vermelho claro (2,5 YR 7/8, úmida) nas bordas de alteração, amarelo (2,5 Y 8/4, úmida) no seu interior e cinzento muito escuro (2,5 Y 3/1, úmida) nas fraturas verticais, gnáissica fraturada, fanerítica, muito dura, muito firme/extremamente firme, excessivamente drenado;

R *: cm; gnaiss melanocrático, fanerítico, fraturado e com dobras.

*coletadas na frente de lavra

P7-relevo e vegetação

P7-solo

P7-uso (pedreira e mata nativa)

P7-solo e saprolito

PERFIL 8 – Gnaiss leucocrático - Itaú de Minas MG
DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 18/02/2012, revisado em 15/02/2013

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico típico, floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado a forte ondulado, substrato gnaiss tonalítico.

LOCALIZAÇÃO: as margens de estrada rural que liga a sede do município de Itaú de Minas MG à localidade denominada Areia Branca, em corte de cascalheira desativada, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0317557 mE, 7702017 mS, altitude de 770 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de cascalheira, no terço médio de elevação com aproximadamente 20% de declive, sob vegetação nativa (aroeiral).

LITOLOGIA: ortognaiss tonalítico

MATERIAL DE ORIGEM: gnaiss

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Campos Gerais

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado a forte ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: fortemente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL: vegetação nativa

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Paulo César L. Guerra

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-20 cm; preto (7,5 YR 2,5/1); argilo-arenosa com cascalho; moderada, bloco subangular; ligeiramente dura/dura, firme, ligeiramente plástica/plástica, não pegajosa/ligeiramente pegajosa; transição plana gradual; raízes finas a grossas comum.

BA 20-40 cm; bruno-acinzentado (10 YR 5/2, úmida); argilo-arenosa cascalhenta; moderada/forte prismática grande; dura, muito firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual marcada por veio de quartzo; raízes finas a grossas pouca.

Bt1 40-70 cm; cinzento-brunado-claro (10 YR 6/2); argilosa com cascalho; moderada/forte prismática média; dura/muito dura, muito firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual marcada por veio de quartzo; raízes médias raras.

Bt2 70-110 cm; bruno-claro-acinzentado (2,5 Y 7/3); argilosa muito cascalhenta; moderada prismática média; ligeiramente dura/dura, firme/friável, plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa; transição ondulada clara; raízes finas e médias raras.

C1 (aloterita) 110 a 140 cm; bruno-claro-acinzentado (2,5 Y 7/4); argilo-arenosa com cascalho; moderada prismática média; ligeiramente dura, firme/friável, ligeiramente plástica/plástica, não pegajosa; transição ondulada gradual; raízes finas a grossas comum.

Cr1 (isalterita) 140-220 cm; saprolito bruno-claro-acinzentado (2,5 Y 8/4), gnáissica fraturada, composta por blocos angulares quartzosos (2 a 10 cm de comprimento) e grãos simples, com fraturamento de inclinação horizontal de 25° e subvertical, rudácea-arenosa, inquebrável e solta, extremamente firme e solta; bem a excessivamente drenado, transição inclinada (60%) difusa;

Cr2 (isalterita) 220-320+ cm; saprolito amarelo (2,5 Y 7/6), gnáissica contínua, com fraturamento a cada 50 cm subvertical orientado a 45° NE, arenosa, solta/ligeiramente dura, solta, bem drenado, transição não observada;

RCr* (isalterita-*saprock*) 500 cm; saprolito variegado composto pelas cores amarelo (10 YR 7/6, úmida), branco (WHITE N 9,5/) e preto (Gley 1 2,5/N); gnáissico contínuo, extremamente dura, inquebrável; transição não observada.

R* rocha cinza-claro (5 Y 7/2) com pontuações biotíticas pretas (5 Y 2,5/1); estrutura gnáissica; com fraturamento horizontal e subvertical.

Observações: forte adensamento na transição entre os horizontes A e BtA; transições entre os horizontes são normalmente marcadas por veios de quartzo angulosos; *coletadas nas proximidades

P8-relevo e vegetação

P8- solo

P8-uso (eucalipto e pastagem)

P8-saprolito

PERFIL 9 – Gnaisse mesocrático-Passos MG**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 23/02/2012, revisado em 16/02/2013

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado, substrato biotita-gnaisse

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Passos MG a Bom Jesus da Penha MG, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0333703 mE, 7690324 mS, altitude de 1050 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço superior de elevação com aproximadamente 30% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: biotita-ortognaisse

MATERIAL DE ORIGEM: biotita-ortognaisse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Campos Gerais

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: forte ondulado

RELEVO REGIONAL: forte ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, José Reis

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-10 cm; bruno (7,5 YR 5/3); argilosa cascalhenta; moderada/forte bloco subangular pequena e média; dura, firme, muito plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana clara; raízes finas e médias comum.

Bt1 10-30 cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/8); muito argilosa; moderada/forte bloco angular grande; dura/muito dura; firme, muito plástica, ligeiramente pegajosa/pegajosa; transição ondulada gradual; raízes finas e médias pouca.

Bt2 30-70 cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/8) com mosqueado comum pequeno distinto amarelo (2,5 Y 7/6); muito argilosa; forte bloco subangular grande e muito grande; dura, muito firme, muito plástica, pegajosa; transição ondulada difusa; raízes finas a grossas comum.

BtC 70-100 cm; vermelho-claro (2,5 YR 6/8); argilo-siltosa; moderada bloco subangular grande e muito grande; ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição inclinada gradual; raízes finas e médias pouca.

C (aloterita) 100 a 150 cm; vermelho-claro (2,5 YR 6/8) com mosqueado comum médio distinto branco-rosado (2,5 YR 8/2); siltosa; fraca composta de bloco subangular grande e granular muito pequena; macia, friável, ligeiramente plástica/não plástica, não pegajosa; transição inclinada a (55°) gradual.

CrC (isalterita/aloterita) 150-230 cm; constituído por material pédico (60%) vermelho-claro (2,5 YR 6/8), siltosa, fraca grãos simples, solta, solta, ligeiramente plástica/não plástica; e por saprolito composto pelas cores rosado (5 YR 8/3) e amarelo-avermelhado (7,5 YR 5/6), gnáissica terrosa com inclinação horizontal de 55°, siltosa, macia, friável, bem drenado; transição inclinada difusa;

Cr (isalterita) 230-350+ cm; saprolito variegado composto pelas cores rosado (5YR 8/4), branco-rosado (7,5 YR 8/2) e com veios vermelho escuro-acinzentado (7,5 R 3/4), gnáissica terrosa com inclinação horizontal de 55°, areno-siltosa, solta, solta, bem drenado, transição não observada;

R*; rocha com estrutura gnáissica com mergulho de aproximadamente 55° ao contrário da declividade do terreno e direção Leste-Oeste

Observações: *coletado nas proximidades com mergulho de aproximadamente 55° ao contrário da declividade do terreno; transição entre CRC e CR é marcada por presença de veio de saprolito muito argiloso, provavelmente oriundo de veios anfíbolíticos e composto de minerais ferromagnesianos alterados.

P9-relevo e vegetação

P9-solo

P9-uso (pastagem e cafeicultura)

P9-saprolito

PERFIL 10 – Arenito Pirambóia**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 06/12/2011

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, arenito.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Piracicaba SP a Anhembi SP, próximo ao distrito de Água Boa, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0214695 mE, 7483888 mS, altitude de 490 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio/superior de elevação com aproximadamente 20% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: arenitos finos a médios com matriz siltico-argilosa, estratificação cruzada de médio a grande porte cor vermelho-claro(mergulho da rocha 10 %).

MATERIAL DE ORIGEM: arenito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo São Bento, formação Pirambóia

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Maria Vitória Vasconcelos; Leandro Goya; Fábio Visses

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-30 cm; bruno-amarelado (10 YR 5/4), franco-arenosa, fraca/moderada blocos subangulares média a grande, ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição plana e gradual; raízes finas poucas.

Bi 30-50 cm; bruno-amarelado (10 YR 5/6) com mosqueado bruno (10 YR 4/3) bruno-escuro (10 YR 3/3) e bruno-forte (7,5 YR 5/8) comum médio distinto; franco-argilo-arenosa; fraca/moderada blocos subangulares pequeno e médio; ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana inclinada difusa; raízes finas raras.

C 50-80 cm; composto por material pédico (60%) amarelo (2,5 Y 7/6), franco-argilo-arenosa muito cascalhenta, fraca/moderada blocos subangulares média e grande; ligeiramente dura, muito friável/friável, não plástica, ligeiramente pegajosa e; por material saprolítico (40%) bruno-amarelado (10 YR 5/8) e bruno-acinzentado-escuro (2,5 Y 4/2), areno-argilosa, laminar grande, dura, firme/friável, transição plana inclinada gradual; raízes finas raras.

Cr1 80-140 cm; saprolito variegado composto pelas cores amarelo-brunado (10 YR 6/8, úmida), bruno-oliváceo-escuro (2,5 Y 3/3), amarelo (2,5 Y 7/8) e branco (2,5 Y 8/1), areno-argilosa, plano-paralela contínua, muito dura, firme; transição plana inclinada clara; raízes médias poucas na transição.

Cr2 140-210 cm; saprolito variegado composto pelas cores branco (2,5 Y 8/1), vermelho (2,5 YR 4/8), vermelho-claro (5 YR 6/6), rosado (7,5 YR 8/4), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6) e preto (10 YR 2/1), areno-argilosa, plano-paralela contínua, muito dura, firme; transição plana clara.

Cr3 210 a 300 cm; saprolito bruno-claro-acinzentado (2,5 Y 8/3) com mosqueado branco (2,5 Y 8/1) e vermelho (2,5 YR 4/6) comum grande distinto; areno-argilosa, plano-paralela contínua, extremamente dura, muito firme/extremamente firme.

R *-; arenito vermelho-acinzentado (7,5 R 4/3, úmida).

*coletada na fazenda do Senhor André Prezoto

P10- relevo e vegetação

P10-solo

P10- uso (cana-de-açúcar)

P10-saprolito

PERFIL 11 – Arenito lamítico (roxo)-Piracicaba SP
DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 25/01/2012

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, substrato arenito lamítico (roxo).

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Piracicaba SP a Americana SP, em corte de estrada rural que acessa o horto de Tupi, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0240416 mE, 7483374 mS, altitude de 490 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada rural, no terço médio/inferior de elevação com aproximadamente 20% de declive, sob reflorestamento de *Pinus* sp. com subbosque de vegetação nativa em regeneração.

LITOLOGIA: arenitos lamíticos (roxo) com raras lentes de calcário

MATERIAL DE ORIGEM: arenito lamítico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo Tubarão

PERÍODO: Carbonífero-Permiano

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: reflorestamento de *Pinus* sp. com subbosque de vegetação nativa em regeneração.

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Fábio Visses, Marston Francheschini, Leandro Goya

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-30 cm; vermelho escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2); argilo-arenosa; moderada, blocos subangulares pequena e média; ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes grossas a finas muitas.

Bi 30-50 cm; composto por material pédico (70%) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3), argilo-arenosa, moderada, blocos subangulares média e granular pequena, macia/ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e; por material saprolítico (30%) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3), argilo-arenosa, bloco angular média a grande, muito dura, extremamente firme, transição ondulada gradual; raízes médias e grossas muitas.

C 50-100 cm (aloterita); composto por material saprolítico (80%) bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/3), areno-argilosa, fragmentada, blocos angulares muito grande; extremamente dura, extremamente firme e; por material pédico (20%) bruno-avermelhado (2,5 YR 4/3) areno-siltosa, fraca, granular muito pequena, macia/ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição ondulada gradual; raízes finas muitas nas fraturas.

Cr 100-300 cm (isalterita); saprolito bruno-avermelhado (2,5 YR 4/3) com finos estratos bruno (7,5 YR 4/4), areno-argilosa, plano-paralela contínua, extremamente dura, muito firme.

R*- rocha bruno-avermelhada (2,5 YR 3/3) com finos estratos cinzento-avermelhado (2,5 YR 6/1); maciça estratificada com lentes de calcário; extremamente dura, inquebrável, difícil.

*coletado nas proximidades

P11-relevo e vegetação

P11-solo

P11-uso (cana-de-açúcar e pastagem)

P11-saprolito

PERFIL 12 – Arenito Botucatu (quartzoso)-Anhembi SP
DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 26/01/2012

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, substrato arenito.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Piracicaba SP a Anhembi SP, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 22K, 0806761 mE, 7483042 mS, altitude de 560 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço superior de elevação com aproximadamente 15% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: arenitos finos a médios com estratificação cruzada de grande porte, cores creme e vermelho

MATERIAL DE ORIGEM: arenito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo São Bento, Formação Botucatu

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Lucas Sartor, Fábio Visses, Antônio C. Azevedo

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-30 cm; bruno escuro (7,5 YR 3/4, úmida); areia franca; fraca granular pequena; macia, muito friável, não plástica, não pegajosa; transição ondulada e gradual; raízes finas muitas.

Bi 30-50 cm; bruno (7,5 YR 4/4, úmida); franco-arenosa com cascalho (seixos de quartzo); fraca/moderada bloco subangular e granular pequena e média; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada difusa; raízes finas comum.

BC 50-70 cm; constituído por material pédico (60%) bruno-forte (5 YR 4/6, úmida); franco-arenosa; fraca granular pequena; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e; por material saprolítico (40%) vermelho (2,5 YR 4/8, úmida), arenosa, bloco subangular médio e grande, ligeiramente dura, solta; transição ondulada difusa; raízes finas poucas.

C 70-90 cm (aloterita); composto por material saprolítico (60%) variegado composto pelas cores rosado (7,5 YR 8/3, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8, úmida) e vermelho (2,5 YR 4/8, úmida), arenosa, fragmentada, bloco angular muito grande, dura, solta e; por material pédico (40%) bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida) com mosqueado amarelo-brunado (10 YR 6/6, úmida), franco-arenosa, moderada bloco subangular pequena e média, macia, friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição plana clara; raízes finas raras.

Cr1 90 a 180 cm (isalterita); saprolito branco (2,5 Y 4/8, úmida) com estratos amarelos (10 YR 7/6, úmida) e bruno-escuros (7,5 YR 3/2, úmida); arenosa, plano-paralela contínua, dura, solta; transição plana gradual.

Cr2 180-250 cm (isalterita); saprolito rosado (7,5 YR 7/3, úmida), arenosa, plano-paralela contínua, dura, solta; transição plana gradual;

Cr3 250-300 cm (isalterita); saprolito bruno-avermelhado-claro (2,5 YR 6/3, úmida); arenosa, plano-paralela contínua, dura, solta, fácil; transição plana gradual;

Cr4 300-500 cm (isalterita); saprolito vermelho (10 R 4/6, úmida); plano-paralela contínua, dura, solta.

Observações: presença de linha de seixos no Hz B e encharcamento no limite dos horizontes C e Cr1 e estratos escuros no Hz Cr1

P12-relevo e vegetação

P12-solo e saprolito

P12-uso (cana-de-açúcar)

P12-saprolito

PERFIL 13 – Siltito Tatuí**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 26/07/2011

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado, substrato siltito.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Luiz de Queiroz, km 17, sentido Piracicaba-Campinas SP, sob as coordenadas WGS 84, 23K, 0244648 mE, 7481618 mS, altitude de 514 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio de elevação com aproximadamente 15% de declive, sob cerca-viva sansão do campo.

LITOLOGIA: siltito

MATERIAL DE ORIGEM: siltito arenoso

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo Tubarão, formação Tatuí

PERÍODO: Carbonífero-Permiano

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL: cerca-viva e plantio de cana-de-açúcar

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Leandro Goya

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-30 cm; *peds* bruno (7,5 YR 5/2); argilosa com cascalho; moderada a fraca blocos subangulares pequeno e médio; ligeiramente dura/dura, solta, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes grossas a finas comuns.

Bi 30-60 cm; 80% de *peds* bruno (7,5 YR 5/4); argilo-siltosa cascalhenta; moderada, blocos subangulares médio e grande; dura, firme/friável, muito plástica, pegajosa; 20% de saprolito amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8) pequeno e médio dispersos ao longo do horizonte; extremamente dura, firme, moderadamente difícil; transição plana e clara; raízes médias a finas comuns.

Cr1 60-100 cm (aloterita/isalterita); constituído por 70 % de material saprolítico bruno muito claro-acinzentado (10 YR 8/3, úmida), silto-argilosa, cerosidade fraca e pouca, plano-paralelo fragmentado, composto por blocos angulares médio e grande, extremamente duro, firme e; por material pédico (30%) bruno (7,5 YR 5/4, úmida), argilo-siltosa muito cascalhenta, moderada, blocos subangulares pequeno, muito duro, friável, plástica, pegajosa; transição ondulada e gradual; raízes médias e finas comuns nas fraturas e torrões.

Cr2 100-160 cm (isalterita); constituído por 90 % de saprolito amarelo (10 YR 8/6, úmida) internamente e vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida) nas fraturas, silto-arenosa, plano-paralela fraturada, composto por blocos angulares médio a grande, extremamente duro, muito firme e; por 10% de material pédico amarelo (10 YR 8/6, úmida), argilo-siltosa, moderada blocos angulares médio, duro, friável, difícil; transição plana clara; raízes finas comuns nas fraturas.

Cr3 160-190 cm (isalterita); saprolito bruno claro acinzentado (2,5Y 8/3, úmida) internamente e cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmida) nas fraturas, plano-paralela fraturada, composto por blocos angulares blocos angulares muito grande, extremamente duro, extremamente firme; transição plana e clara;

RCr 190-220+ cm; siltito amarelo-esverdeado (10 YR 6/3, úmida), com estratificação plano-paralela

P13-relevo

P13-solo e saprolito

P13-uso (cana-de açúcar)

P13-saprolito e rocha

PERFIL 14 – Siltito Corumbataí– Artemis**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 14/11/2011

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, siltito.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Piracicaba SP a São Pedro SP, próximo ao distrito de Artemis, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0216069 mE, 7489602 mS, altitude de 510 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço superior de elevação com aproximadamente 20% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: siltito roxo (mergulho da rocha 5 %)

MATERIAL DE ORIGEM: siltito roxo

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: grupo Passa Dois, formação Corumbataí

PERÍODO: Permiano

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado colinoso

EROSÃO: ligeira

DRENAGEM: excessivamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Maria Vitória Vasconcelos; Leandro Goya

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-10 cm; *peds* vermelho muito escuro acinzentado(7,5 R 2,5/2); argilo-siltosa; forte blocos angulares muito pequena a pequena; ligeiramente dura, firme, muito plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes finas e médias muitas.

Bi 10-30 cm; *peds* preto-avermelhado (7,5 R 2,5/2); argilo-siltosa cascalhenta; moderada blocos angulares pequeno e médio; ligeiramente dura/dura, firme, muito plástica, ligeiramente pegajosa; 20% saprolito vermelho-acinzentado (7,5 R 4/3); laminar grande; extremamente dura, extremamente firme, moderadamente difícil; transição ondulada difusa; raízes finas muitas.

Cr 30-80 cm (isalterita); constituído por 60% de material saprolítico vermelho-acinzentado (10 R 4/3), silto-argilosa, plano-paralela fragmentada, laminar muito grande; extremamente dura, extremamente firme e; por material pédico vermelho-escuro-acinzentado (7,5 R 3/2) argilo-siltosa muito cascalhenta, moderada, blocos angulares muito pequena, ligeiramente dura, firme/friável, plástica/muito plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada difusa; raízes finas muitas nas fraturas.

RCr1 80-110 cm; constituído por 90% de material saprolítico vermelho-acinzentado (10 R 5/4), silto-argilosa, plano-paralela fraturada, laminar muito grande, extremamente dura, extremamente firme/inquebrável e; por material pédico vermelho-escuro-acinzentado (7,5 R 3/4), argilo-siltosa muito cascalhenta, fraca, grãos simples; difícil; transição plana e clara; raízes finas muitas nas fraturas.

RCr2 110 a 140 cm; constituído por 95% de material saprolítico vermelho-acinzentado (10 R 4/3), silto-argilosa, plano-paralela fraturada, blocos angulares de 20 a 30 cm de lado, extremamente dura, inquebrável e; por material pédico vermelho-acinzentado (7,5 R 4/3), argilo-siltosa muito cascalhenta, forte a moderada, blocos angulares pequeno; raízes finas poucas nas fraturas; transição plana difusa.

RCr3 140 a 200 cm; saprolito vermelho-escuro-acinzentado (7,5 R 3/3); silto-argilosa, plano-paralela fraturada, extremamente dura, inquebrável

R *; siltito vermelho-acinzentado (7,5 R 4/3, úmida), com estratificação plano-paralela e reação ao ácido em blocos maiores.

*coletada na pedreira do Bongue

P14-relevo e vegetação

P14-solo e saprolito

P14- uso (pastagem e cana-de-açúcar)

P14- saprolito

PERFIL 15– Siltito Itararé-Capivari SP**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA: 12/12/2011

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2013): ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Ta Distrófico típico, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado, substrato siltito.

LOCALIZAÇÃO: as margens da rodovia Capivari SP a Monte Mor SP, em corte de estrada, sob as coordenadas: WGS 84, 23K, 0250123 mE, 7454477 mS, altitude de 545 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: descrito e coletado em corte de estrada, no terço médio/superior de elevação com aproximadamente 15% de declive, sob pastagem.

LITOLOGIA: siltitos e arenitos do Subgrupo Itararé

MATERIAL DE ORIGEM: siltito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: subgrupo Itararé

PERÍODO: Triássico-Cretáceo

RELEVO LOCAL: ondulado

RELEVO REGIONAL: ondulado

EROSÃO: moderada

DRENAGEM: moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: pastagem

CLIMA: Cwa, da classificação de Köppen

DESCRITO POR: Adriano R. Guerra, Maria Vitória Vasconcelos

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-20 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2); argilo-arenosa; moderada blocos subangulares média; dura, firme/friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes médias e finas muitas.

E 20-35 cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4); franco-argilo-arenosa; moderada blocos subangulares média e grande; dura, firme/friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual; raízes finas comum.

Bt 35-70 cm; bruno-amarelado (10 YR 5/6) com mosqueado amarelo-brunado (10 YR 6/6) comum pequeno difuso; franco-argilo-siltosa com cascalho concrecionário; cerosidade fraca e pouca; forte, blocos angulares muito grande; dura/muito dura, firme/muito firme, muito plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual; raízes finas raras.

C 70-90 cm (aloterita); composto por 60% de material pédico bruno-amarelado (10 YR 5/6) com mosqueado amarelo-brunado (10 YR 6/6) comum pequeno difuso, siltosa; cerosidade fraca e pouca, moderada blocos angulares média e grande, dura, firme, plástica, e ligeiramente pegajosa e; por 40% de fragmentos saprolíticos variegado composto pelas cores vermelho-amarelado (5 YR 5/8) e amarelo (10 YR 7/6), silto-arenosa, plano-paralela fragmentada, blocos angulares, muito dura, extremamente firme, transição plana difusa, raízes finas raras.

Cr1 90-170 cm (isalterita); saprolito variegado composto pelas cores vermelho-amarelado (5 YR 5/8), vermelho (2,5 YR 5/8) e amarelo (10 YR 7/6), silto-arenosa, plano-paralela contínua, que se desfaz em laminar grande, dura, firme, transição plana difusa, raízes finas comum nas fraturas.

Cr2 170 a 220 cm (isalterita); saprolito externamente bruno muito claro-acinzentado (10 YR 8/3) e internamente variegado composto pelas cores vermelho (2,5 YR 4/8) e bruno-amarelado (10 YR 5/6), silto-arenosa, plano-paralela contínua, que se desfaz em laminar muito grande, dura, firme, transição plana clara, raízes finas raras nas fraturas.

Cr3 220-300 (isalterita); saprolito amarelo-brunado (10 YR 6/6) com mosqueado bruno muito claro-acinzentado (10 YR 8/2), silto-arenosa, plano-paralela contínua, muito dura, firme, difícil

Observações: presença de linha de concreções a 60 cm de profundidade

P15- relevo e vegetação

P15-solo

P15- uso (cana-de açúcar e pastagem)

P15- Solo e saprolito

Anexo B - Resultados analíticos

Tabela B.1 - Atributos físicos de horizontes de solo e saprolito de perfis desenvolvidos a partir de rochas metamórficas xistosas

Perfis	Hor.	Prof. cm	TFSA g kg ⁻¹	Ds/sap	Dp ^{TFSE} Mg m ⁻³	Dp ^{sap}	Dp ^{total}	Por. total %
P1	A	0-25	948	1,05	2,55	-	2,55	59
Biotita	Bi	25-70	511	1,43	2,65	2,70	2,68	47
xisto	C1	70-150	954	1,13	2,69	2,68	2,68	58
feldspático	C2	150-200	925	1,19	2,70	2,68	2,70	56
	Cr1	200-300	803	1,31	2,68	2,72	2,69	51
	Cr2	300-400+	526	1,41	2,67	2,69	2,68	47
	R	500	0	2,71	-	2,69	2,69	-
P2	A	0-20	1000	0,99	2,56	-	2,56	61
Clorita	Bt	20-40	926	1,15	2,64	-	2,64	56
muscovita	BC	40-70	924	1,26	2,68	-	2,68	53
xisto	Cr1	70-140	302	1,36	2,72	2,70	2,71	50
	Cr2	140-200	829	1,30	2,71	2,71	2,71	52
	Cr3	200-300	618	1,31	2,71	2,70	2,70	51
	RCr	300-400+	0	2,61	-	2,66	2,66	9
	R	500	0	2,72	-	2,65	2,65	-
P3	A	0-30	783	1,19	2,61	2,65	2,61	54
Muscovita	Bi	30-50	599	1,42	2,66	2,66	2,66	47
xisto	C	50-90	704	1,34	2,71	2,70	2,71	51
	CR	90-130	388	1,59	2,73	2,76	2,75	42
	RCr1	130-200	0	1,73	-	2,76	2,76	37
	RCr2	200-280+	0	1,73	-	2,72	2,72	36
	R	500	0	2,76	-	2,77	2,77	-
P4	A	0-70	348	1,07	2,70	2,85	2,80	62
Tremolita	Bt	70-130	547	1,32	2,82	2,83	2,82	53
xisto	C	130-170	445	1,33	2,77	2,80	2,79	52
	Cr	170-270+	0	1,06	-	2,80	2,80	62
	R	500	0	2,84	-	2,86	2,86	-
P5	A	0-15	606	1,35	2,56	3,03	2,74	51
Xisto	BA	15-50	254	1,63	2,63	2,90	2,83	42
granatífero	Bt	50-90	585	1,47	2,66	2,98	2,79	48
	C	90-160	813	1,37	2,66	2,99	2,72	50
	Cr1	160-210	0	1,23	-	2,70	2,70	54
	Cr2	210-400+	0	1,10	-	2,69	2,69	59
	R	500	0	2,70	-	2,83	2,83	-
P6	A	0-15	942	1,46	2,59	-	2,59	44
Talco	BA	15-50	768	1,53	2,60	2,65	2,61	42
xisto	Bt1	50-90	959	1,70	2,61	-	2,61	35
	Bt2	90-140	873	1,73	2,62	2,62	2,62	34
	Cr1	140-170	0	1,55	-	2,63	2,63	41
	Cr2	170-250	0	1,51	-	2,68	2,68	44
	Cr3	250-320	0	1,42	-	2,63	2,63	46
	Cr4	320-400+	0	1,65	-	2,76	2,76	40
	RCr	500	0	2,05	-	2,68	2,68	-

Tabela B.2 - Atributos físicos de horizontes de solo e saprolito de perfis desenvolvidos a partir de rochas metamórficas gnáissicas

Perfis	Hor.	Prof. cm	TFSA g kg ⁻¹	Ds/sap	Dp ^{TFSE} Mg m ⁻³	Dp ^{sap}	Dp ^{total}	Por. total %
P7	A	0-15	694	1,24	2,61	2,62	2,61	52
Gnaiss melanocrático	Bt	15-80	935	1,45	2,73	2,79	2,73	47
	BC	80-160	393	1,52	2,74	2,71	2,72	44
	C1	160-210	763	1,42	2,79	2,91	2,82	50
	C2	210-300+	905	1,37	2,79	2,83	2,80	51
	RCr	400	0	2,48	-	2,65	2,65	4
	R	500	0	2,93	-	2,95	2,77	-
P8	A	0-20	948	1,38	2,52	-	2,52	45
Gnaiss leucocrático	BA	20-40	788	1,56	2,57	-	2,57	39
	Bt1	40-70	945	1,57	2,56	-	2,56	39
	Bt2	70-110	590	1,45	2,57	-	2,57	43
	C	110-140	893	1,47	2,58	-	2,58	43
	Cr1	140-220	0	1,58	-	2,61	2,61	39
	Cr2	220-320	0	1,68	-	2,62	2,62	36
	RCr	320-500	0	2,53	-	2,66	2,66	2
	R	500	0	2,61	-	2,64	2,64	-
P9	A	0-10	514	1,27	2,55	2,64	2,59	51
Gnaiss mesocrático	Bt1	10-30	930	1,48	2,59	-	2,59	43
	Bt2	30-70	987	1,37	2,60	-	2,60	47
	CBt	70-100	1000	1,39	2,62	-	2,62	47
	C	100-150	990	1,28	2,63	-	2,63	52
	CrC	150-230	990	1,19	2,64	-	2,64	55
	Cr	230-350	0	1,27	-	2,65	2,65	52
	R	500	0	2,62	-	2,69	2,69	-

Tabela B.3 - Concentração dos principais elementos nos horizontes de solo e saprolito e na rocha de perfis desenvolvidos a partir de rochas metamórficas xistosas

Perfil	Elem.	Al	Fe	Ti	Na	K	Ca	Mg	P
	L.D.	0,02	0,02	0,001	0,002	0,02	0,02	0,02	0,001
	Hoz.				%				
P1	A	6,00	3,51	0,400	0,159	1,41	0,17	0,56	0,028
Biotita	Bi	8,04	4,46	0,463	0,152	2,51	0,06	1,02	0,013
Xisto	C1	9,74	5,03	0,539	0,412	1,97	0,08	1,30	0,014
	C2	6,98	5,60	0,539	0,414	1,98	0,09	1,29	0,014
	Cr1	6,01	3,76	0,364	0,637	2,35	0,16	1,24	0,008
	Cr2	6,74	3,35	0,337	1,175	2,32	0,47	1,17	0,006
	R	6,11	2,93	0,275	1,997	3,52	0,58	0,65	0,048
P2	A	8,29	4,81	0,445	0,023	1,33	0,01	0,31	0,020
Clorita	Bt1	8,79	5,39	0,504	0,023	1,38	0,01	0,33	0,014
Xisto	Bt2	9,02	5,34	0,521	0,026	1,64	0,01	0,34	0,017
	Cr1	6,86	3,78	0,361	0,028	2,00	0,01	0,34	0,016
	Cr2	9,29	5,69	0,534	0,023	1,65	0,01	0,33	0,024
	Cr3	9,81	5,43	0,578	0,026	1,80	0,01	0,34	0,026
	RCr	4,68	2,05	0,221	0,028	2,11	0,01	0,34	0,006
	R	7,71	4,79	0,468	1,824	1,39	0,37	1,68	0,075
P3	A	5,09	3,51	0,353	0,061	1,59	0,01	0,28	0,025
Muscovita	Bi	4,45	2,89	0,261	0,051	1,35	0,01	0,25	0,018
Xisto	C	7,00	4,08	0,314	0,086	2,45	0,01	0,39	0,025
	Cr	6,52	3,68	0,239	0,108	3,01	0,01	0,45	0,021
	RCr1	5,95	3,29	0,196	0,104	3,15	0,01	0,46	0,020
	RCr2	3,37	1,97	0,103	0,072	1,89	0,01	0,45	0,018
	R	4,69	2,85	0,166	0,068	3,51	0,05	0,65	0,040
P4	A	6,94	12,41	0,387	0,029	0,02	1,68	8,73	0,027
Tremolita	Bt	7,74	15,69	0,583	0,009	0,07	0,18	0,65	0,042
Xisto	C	8,19	13,69	0,590	0,008	0,10	0,13	0,42	0,053
	Cr	10,47	17,31	1,057	0,008	0,14	0,22	0,84	0,044
	R	3,14	6,47	0,140	0,020	0,01	2,21	15,45	0,006
P5	A	6,49	10,92	0,234	0,052	0,43	0,34	0,50	0,085
Biotita	BA	5,99	12,38	0,194	0,029	0,24	0,31	0,29	0,074
Xisto	Bt	8,03	10,96	0,284	0,033	0,41	0,28	0,45	0,060
Granatífero	C	11,26	7,70	0,344	0,039	1,05	0,20	1,16	0,047
	Cr1	12,46	6,68	0,376	0,045	1,31	0,11	1,77	0,037
	Cr2	11,68	5,45	0,377	0,127	1,49	0,14	2,08	0,035
	R	6,42	4,73	0,297	1,979	1,71	1,92	1,73	0,093
P6	A	4,39	1,50	0,205	0,190	1,66	0,05	0,24	0,011
Talco	BA	3,81	1,85	0,172	0,151	1,57	0,06	0,23	0,007
Xisto	Bt1	5,77	1,75	0,226	0,114	1,54	0,06	0,24	0,005
	Bt2	6,67	1,82	0,253	0,348	1,88	0,10	0,34	0,005
	Cr1	8,88	2,98	0,353	1,112	2,25	0,22	0,69	0,006
	Cr2	8,08	6,49	0,507	1,119	2,43	0,37	1,22	0,017
	Cr3	8,51	4,67	0,432	2,005	1,96	0,25	0,70	0,023
	Cr4	6,55	6,20	0,599	0,978	1,82	2,44	3,45	0,028
	RCr	6,10	3,71	0,280	1,885	2,43	0,39	2,50	0,023

Tabela B.4 - Concentração dos principais elementos nos horizontes de solo e saprolito e na rocha de perfis desenvolvidos a partir de rochas metamórficas gnaissicas

Perfil	Elem.	Al	Fe	Ti	Na	K	Ca	Mg	P
		%							
	L.D. Hoz.	0,02	0,02	0,001	0,002	0,02	0,02	0,02	0,001
P7	A	6,06	5,19	0,739	0,880	3,30	0,57	0,65	0,053
Gnaisse	Bt	8,09	9,00	1,349	0,524	1,97	0,82	0,92	0,062
Melanocrático	BC	6,15	6,45	0,811	0,522	1,81	0,35	0,57	0,039
	C1	8,80	10,90	1,661	0,920	1,16	1,53	1,45	0,077
	C2	8,31	10,72	1,577	0,425	0,91	1,08	1,05	0,074
	Cr	5,27	2,50	0,140	1,842	3,35	0,05	0,03	0,004
	R	5,29	5,05	0,346	0,462	4,05	0,69	0,98	0,027
P8	A	5,97	0,52	0,060	1,069	2,60	0,36	0,08	0,006
Gnaisse	BA	6,55	0,66	0,054	1,010	2,55	0,28	0,07	0,003
Leucocrático	Bt1	7,16	0,75	0,048	0,991	2,23	0,25	0,06	0,002
	Bt2	7,85	0,51	0,044	1,290	1,25	0,34	0,06	0,002
	C	7,98	0,80	0,074	1,094	2,73	0,29	0,09	0,002
	Cr1	7,95	0,93	0,060	2,500	2,95	0,46	0,06	0,001
	Cr2	7,77	1,13	0,093	2,655	2,89	0,47	0,10	0,003
	RCr	7,08	0,92	0,063	3,682	2,33	0,80	0,10	0,003
	R	6,65	0,97	0,064	3,225	2,92	0,88	0,12	0,010
P9	A	6,11	1,71	0,161	0,766	2,29	0,26	0,18	0,016
Gnaisse	Bt1	7,39	1,95	0,213	0,032	1,53	0,02	0,14	0,007
Mesocrático	Bt2	8,31	2,14	0,238	0,029	1,51	0,01	0,15	0,007
	CBt	8,66	2,04	0,253	0,030	1,75	0,01	0,21	0,005
	C1	8,46	1,73	0,225	0,035	2,45	0,01	0,36	0,005
	CrC	8,20	1,73	0,224	0,034	2,22	0,01	0,30	0,006
	RCr	8,09	1,65	0,184	0,046	2,45	0,01	0,34	0,009
	R	6,67	2,59	0,255	3,287	2,21	1,34	0,46	0,055

Tabela B.5: Atributos de fertilidade da TFSA presente em horizontes de solo e camadas de saprolito de perfis derivados de rochas metamórficas e sedimentares

Perfis	Hor	Prof. cm	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH	P mgkg ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al mmol _c kg ⁻¹	SB	CTC _{ef}	CTC _{pH7}	Ta	V %	m g kg ⁻¹	MOS
Perfil 1	A	0_25	5,5	4,4	-1,1	10,5	2,1	11,0	43,5	20,9	0,0	54,4	77,5	77,5	131,9	506,9	59	0	75,9
Xisto	B	25_70	4,9	3,7	-1,2	0,5	1,3	3,3	4,8	5,9	9,8	29,8	15,4	25,2	45,2	254,2	34	39	24,8
feldspático	C1	70_150	5,5	3,9	-1,6	0,0	0,7	2,3	4,6	10,5	5,0	10,6	18,1	23,1	28,7	757,7	63	22	8,3
	C2	150_200	5,1	3,7	-1,4	0,0	0,7	2,2	2,5	10,2	12,7	22,8	15,5	28,2	38,3	605,3	40	45	8,3
	Cr1	200_300	5,4	3,7	-1,7	0,0	0,8	5,4	2,1	9,9	10,4	17,6	18,2	28,6	35,8	947,8	51	36	6,6
	Cr2	300_400	5,7	3,9	-1,8	0,0	0,7	4,1	5,6	12,9	0,2	5,6	23,3	23,5	28,9	2300,9	81	1	6,6
Perfil 2	A	0_20	4,5	3,7	-0,8	2,2	1,4	3,1	4,6	2,7	18,8	73,0	11,7	30,5	84,7	253,9	14	62	61,1
Clorita	Bt1	20_40	4,7	3,8	-0,9	0,5	0,9	1,5	0,9	0,4	14,6	41,6	3,7	18,3	45,3	147,3	8	80	35,8
Xisto	Bt2	40_70	5,3	4,0	-1,3	0,0	1,0	0,8	2,0	0,7	10,3	24,4	4,4	14,7	28,8	94,0	15	70	17,6
	C1	70_140	5,3	4,1	-1,2	0,0	0,5	0,7	0,5	0,1	7,3	14,8	1,7	9,0	16,5	329,0	10	81	11,0
	C2	140_200	5,8	4,1	-1,7	0,0	0,5	0,7	0,5	0,1	12,1	24,4	1,8	13,9	26,2	207,8	7	87	7,2
	C3	200_300	6,1	4,1	-2,0	1,1	1,0	0,6	0,5	0,1	12,3	20,4	2,3	14,6	22,7	150,0	10	84	1,1
Perfil 3	A	0_30	5,0	3,9	-1,1	3,6	0,4	2,6	2,5	5,1	9,4	57,8	10,7	20,1	68,5	316,7	16	47	41,8
Muscovita	Bi	30_50	4,8	3,9	-0,9	0,8	0,4	1,4	0,4	2,0	9,8	40,5	4,3	14,1	44,8	176,1	10	70	21,5
Xisto	C	50_90	4,9	3,9	-1,0	0,3	0,4	0,8	1,4	2,2	6,7	34,5	4,9	11,6	39,4	173,4	12	58	11,0
	Cr	90_130	5,1	4,1	-1,0	0,3	0,3	0,7	0,3	1,0	3,7	15,2	2,4	6,1	17,6	199,6	13	61	8,3
Perfil 4	A	0_70	6,7	5,6	-1,1	1,5	0,5	0,8	109,8	59,1	0,0	17,0	170,2	170,2	187,2	627,0	91	0	66,6
Tremolita	Bt	70_130	6,8	5,8	-1,0	0,0	0,7	1,5	66,7	25,2	0,0	5,2	94,1	94,1	99,3	232,6	95	0	18,7
Xisto	C	130_170	6,7	5,5	-1,2	0,0	0,6	0,9	48,7	18,7	0,0	12,6	68,9	68,9	81,5	288,7	85	0	13,2
Perfil 5	A	0_15	6,6	5,3	-1,3	9,9	1,8	4,4	34,0	15,4	0,0	20,2	55,6	55,6	75,8	328,1	73	0	49,5
Xisto	BA	15_50	5,9	4,5	-1,4	1,2	0,8	2,7	13,8	3,7	0,0	24,6	21,1	21,1	45,7	189,7	46	0	31,4
granatífero	Bt	50_90	6,6	5,7	-0,9	0,0	0,7	2,1	12,4	5,1	0,0	6,4	20,2	20,2	26,6	87,0	76	0	16,5
	C	90_160	6,4	5,4	-1,0	0,1	0,4	1,7	15,3	8,4	0,0	2,0	25,8	25,8	27,8	182,7	93	0	8,8

(continua)

(continuação)

Perfil 6	A	0_15	5,2	3,9	-1,3	1,6	0,5	3,6	11,8	4,6	3,0	25,8	20,5	23,5	46,3	262,3	44	13	23,1
Talco	BA	15_50	5,5	4,1	-1,4	0,8	0,4	1,1	8,8	3,6	0,6	15,4	14,0	14,6	29,4	194,3	48	4	15,4
Xisto	Bt1	50_90	5,8	4,6	-1,2	0,3	0,6	0,9	16,4	9,1	0,0	11,6	27,0	27,0	38,6	138,7	70	0	11,0
	Bt2	90_140	6,1	4,4	-1,7	0,2	1,2	1,3	26,5	10,1	0,0	7,8	39,1	39,1	46,9	185,3	83	0	8,3
Perfil 7	A	0_15	6,1	5,3	-0,8	126,0	1,0	7,4	99,1	23,4	1,6	29,2	131,0	132,6	160,2	833,1	82	1	64,4
Gnaiss melanoc.	Bt	15_80	5,9	4,7	-1,2	2,7	1,0	1,8	50,0	42,2	0,0	26,6	95,0	95,0	121,6	363,7	78	0	24,8
	BC	80_160	6,4	4,9	-1,5	5,5	1,5	1,6	24,5	59,5	1,2	14,8	87,1	88,3	101,9	282,9	85	1	13,8
	C1	160_210	6,4	4,9	-1,5	5,3	1,4	1,0	29,6	67,8	0,0	16,4	99,8	99,8	116,2	428,6	86	0	11,0
	C2	210_250	6,2	4,6	-1,6	3,2	1,4	1,3	28,1	93,5	0,0	12,8	124,3	124,3	137,1	663,7	91	0	8,3
Perfil 8	A	0_20	6,3	5,2	-1,1	4,6	0,7	1,3	55,3	7,4	0,0	25,5	64,6	64,6	90,1	395,0	72	0	39,1
Gnaiss leucoc.	BA	20_40	6,4	4,9	-1,5	0,8	0,7	0,9	31,5	3,3	0,0	11,0	36,3	36,3	47,3	207,7	77	0	13,8
	Bt	40_70	6,4	4,7	-1,7	0,5	0,8	1,0	26,8	2,4	0,0	12,6	31,1	31,1	43,7	181,7	71	0	15,4
	BC	70_110	6,5	4,9	-1,6	0,3	1,1	1,0	30,4	3,6	0,0	8,2	36,0	36,0	44,2	217,7	81	0	11,0
	C	110_140	6,4	4,7	-1,7	0,7	1,4	0,9	31,6	3,6	0,0	7,6	37,7	37,7	45,3	358,5	83	0	11,0
Perfil 9	A	0_10	5,4	4,5	-0,9	2,7	0,5	2,6	22,3	9,7	0,0	29,2	35,1	35,1	64,3	230,4	55	0	44,0
Gnaiss mesocr.	Bt1	10_30	5,5	4,2	-1,3	0,5	0,6	1,3	5,1	3,6	0,3	21,2	10,6	10,9	31,8	89,8	33	3	21,5
	Bt2	30_70	5,4	4,2	-1,2	0,0	0,3	0,9	2,9	2,4	1,1	17,8	6,6	7,7	24,4	58,5	27	14	17,6
	Bt3	70_100	5,6	4,2	-1,4	0,0	0,3	1,2	2,0	2,2	1,5	14,8	5,6	7,1	20,4	89,8	27	21	11,0
	C1	100_150	5,6	4,1	-1,5	0,0	0,3	1,5	0,2	1,9	4,1	17,8	3,9	8,0	21,7	191,2	18	51	8,3
	C2	150_230	5,8	4,1	-1,7	0,0	0,4	1,7	1,8	2,3	4,6	13,8	6,2	10,8	20,0	158,9	31	43	8,3
Perfil 10	A	0_30	4,8	3,7	-1,1	4,6	0,5	1,9	11,4	7,6	55,1	64,2	21,4	76,5	85,6	655,4	25	72	11,0
Arenito	Bi	30_50	4,9	3,7	-1,2	3,0	0,4	1,0	11,5	10,5	84,6	85,8	23,4	108,0	109,2	845,5	21	78	8,3
Pirambóia	C1	50_80	5,0	3,7	-1,3	1,6	0,5	0,9	25,8	18,4	72,1	68,6	45,6	117,7	114,2	1111,2	40	61	8,3
Perfil 11	A	0_30	4,7	3,8	-0,9	3,6	0,5	0,0	10,1	4,7	18,1	32,2	15,4	33,5	47,6	418,6	32	54	7,7
Arenito	Bi	30_50	4,7	4,0	-0,7	6,7	0,6	0,9	4,3	0,8	14,2	32,6	6,6	20,8	39,2	343,8	17	68	9,4
Tatuí	C	50_100	4,6	3,8	-0,8	3,6	1,0	1,4	6,4	2,5	28,9	46,2	11,3	40,2	57,5	504,4	20	72	5,5

(continua)

(continuação)

Perfil 12	A	0_30	5,1	4,0	-1,1	7,7	0,3	0,8	14,2	5,1	3,9	34,6	20,4	24,3	55,0	—	37	16	11,0
Arenito	Bi	30_50	5,0	4,0	-1,0	1,2	0,4	0,8	12,0	1,7	12,9	39,4	14,9	27,8	54,3	483,8	27	46	11,6
Botucatu	BC	50_70	5,1	3,9	-1,2	0,7	0,3	0,8	7,3	0,7	23,9	51,0	9,2	33,1	60,2	390,3	15	72	5,5
	C	70_90	4,8	3,8	-1,0	1,3	0,3	1,1	5,7	1,1	44,9	62,8	8,2	53,1	71,0	595,2	12	85	3,3
Perfil 13	A	0_30	5,5	4,4	-1,1	128,5	0,7	7,7	36,5	15,1	0,0	30,0	60,1	60,1	90,1	711,4	67	0	22,0
Siltito	B	30_60	5,4	4,0	-1,4	4,1	1,0	2,0	43,2	20,6	0,8	17,8	66,8	67,6	84,6	553,4	79	1	13,8
Tatuí	BC	60_100	5,1	3,7	-1,4	3,3	1,2	2,3	36,4	27,7	9,2	23,0	67,6	76,8	90,6	710,5	75	12	5,0
	C	100_160	5,2	3,5	-1,7	2,3	2,5	3,1	33,8	72,2	13,5	28,2	111,6	125,1	139,8	763,1	80	11	3,9
Perfil 14	A	0_10	5,2	4,1	-1,1	5,3	1,8	2,6	41,0	21,0	14,1	40,4	66,4	80,5	106,8	394,5	62	18	34,1
Siltito	Bi	10_30	5,3	4,1	-1,2	3,8	1,5	1,5	41,5	19,3	3,1	37,8	63,8	66,9	101,6	357,9	63	5	21,5
Corumbat.	C1	30_80	5,0	3,6	-1,4	2,6	1,6	2,0	45,9	42,0	114,1	61,4	91,5	205,6	152,9	344,3	60	55	9,4
	C2	80_110	4,6	3,4	-1,2	5,5	1,4	2,6	21,8	44,5	1,8	112,8	70,3	72,1	183,1	434,6	38	2	4,4
Perfil 15	A	0_20	5,4	4,1	-1,3	6,7	0,4	2,2	21,5	9,0	4,9	30,6	33,1	37,9	63,7	497,8	52	13	26,4
Siltito	E	20_35	5,2	4,0	-1,2	2,0	0,3	1,6	11,0	4,8	3,1	25,0	17,7	20,8	42,7	334,7	41	15	11,0
Itararé	Bt	35_70	5,2	3,9	-1,3	2,5	0,4	2,6	15,1	10,3	8,1	25,0	28,5	36,6	53,5	257,8	53	22	6,1
	BC	70_90	5,0	3,7	-1,3	1,7	0,3	2,3	9,6	11,4	31,2	42,0	23,6	54,8	65,6	320,3	36	57	7,2

(conclusão)

Tabela B.6: Atributos químicos obtidos pelo ataque sulfúrico da TFSA presente em horizontes de solo e camadas de saprolito de perfis derivados de rochas metamórficas e sedimentares

Perfis	Hor	Prof cm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
.....%.....										
Perfil 1	A	0_25	14,47	10,28	5,34	0,66	0,02	2,39	1,80	3,02
Xisto	B	25_70	17,37	12,86	6,45	0,76	0,01	2,30	1,74	3,13
feldspático	C1	70_150	20,69	14,10	7,74	0,75	0,00	2,49	1,85	2,86
	C2	150_200	22,56	14,90	8,66	0,88	0,00	2,57	1,88	2,70
	Cr1	200_300	17,80	10,80	5,04	0,62	0,00	2,80	2,16	3,36
	Cr2	300_400	14,24	8,47	4,33	0,45	0,00	2,86	2,15	3,07
Perfil 2	A	0_20	20,42	17,24	7,26	0,68	0,01	2,01	1,59	3,73
Clorita	Bt1	20_40	21,65	17,99	7,86	0,68	0,01	2,05	1,60	3,59
Xisto	Bt2	40_70	23,34	19,55	7,97	0,76	0,01	2,03	1,61	3,85
	C1	70_140	18,27	13,18	5,53	0,59	0,00	2,36	1,86	3,74
	C2	140_200	24,02	19,49	8,45	0,83	0,01	2,09	1,64	3,62
	C3	200_300	26,06	20,18	8,81	0,93	0,02	2,20	1,72	3,59
Perfil 3	A	0_30	13,69	9,74	6,03	0,59	0,02	2,39	1,71	2,54
Muscovita	Bi	30_50	14,92	12,10	6,06	0,64	0,02	2,10	1,59	3,14
Xisto	C	50_90	14,62	12,87	6,46	0,51	0,02	1,93	1,46	3,13
	Cr	90_130	11,15	9,00	5,14	0,41	0,01	2,11	1,54	2,75
Perfil 4	A	0_70	18,82	8,99	17,13	0,86	0,04	3,56	1,60	0,82
Tremolita	Bt	70_130	21,06	18,57	21,75	1,12	0,03	1,93	1,10	1,34
Xisto	C	130_170	18,92	15,93	18,64	1,18	0,04	2,02	1,15	1,34
Perfil 5	A	0_15	11,21	10,55	5,25	0,45	0,04	1,80	1,37	3,16
Xisto	BA	15_50	11,87	12,94	6,09	0,53	0,03	1,56	1,20	3,34
granatífero	Bt	50_90	15,82	19,45	7,53	0,71	0,02	1,38	1,11	4,06
	C	90_160	20,27	15,49	7,09	0,64	0,02	2,22	1,72	3,43
Perfil 6	A	0_15	10,02	7,74	2,93	0,37	0,01	2,20	1,77	4,14
Talco	BA	15_50	9,10	6,69	2,52	0,39	0,01	2,31	1,86	4,16
Xisto	Bt1	50_90	14,19	13,18	2,84	0,49	0,01	1,83	1,61	7,29
	Bt2	90_140	14,75	11,12	2,74	0,49	0,00	2,25	1,95	6,38
Perfil 7	A	0_15	10,94	7,82	8,38	1,67	0,08	2,38	1,41	1,46
Gnaiss	Bt	15_80	15,96	10,49	11,82	2,03	0,07	2,59	1,50	1,39
melanoc.	BC	80_160	17,00	11,79	12,64	2,03	0,08	2,45	1,45	1,46
	C1	160_210	17,04	13,14	13,50	2,49	0,10	2,21	1,33	1,53
	C2	210_250	20,76	13,13	15,04	2,93	0,10	2,69	1,55	1,37
Perfil 8	A	0_20	12,08	9,05	1,01	0,16	0,01	2,27	2,12	14,01
Gnaiss	BA	20_40	12,99	10,56	1,01	0,12	0,00	2,09	1,97	16,41
leucoc.	Bt	40_70	14,63	12,92	1,32	0,11	0,00	1,93	1,81	15,40
	BC	70_110	18,29	15,51	1,22	0,09	0,00	2,00	1,91	20,02
	C	110_140	14,09	11,58	1,31	0,12	0,00	2,07	1,93	13,86
Perfil 9	A	0_10	11,43	11,87	2,73	0,35	0,01	1,64	1,43	6,82
Gnaiss	Bt1	10_30	13,83	15,21	3,03	0,41	0,01	1,55	1,37	7,87
Mesoc.	Bt2	30_70	16,33	16,71	3,33	0,45	0,01	1,66	1,47	7,89
	Bt3	70_100	17,95	19,28	3,23	0,51	0,00	1,58	1,43	9,38
	C1	100_150	19,65	16,68	2,82	0,45	0,00	2,00	1,81	9,29
	C2	150_230	19,24	15,41	2,52	0,45	0,01	2,12	1,92	9,61

(continua)

(continuação)

Perfil 10	A	0_30	7,42	3,63	1,83	0,35	0,01	3,48	2,63	3,11
Arenito	Bi	30_50	8,93	5,47	1,53	0,28	0,01	2,77	2,35	5,60
Pirambóia	C1	50_80	9,68	5,22	1,23	0,26	0,00	3,15	2,74	6,67
Perfil 11	A	0_30	8,13	6,17	3,03	0,47	0,01	2,24	1,70	3,20
Arenito	Bi	30_50	7,72	5,15	3,03	0,49	0,01	2,55	1,85	2,67
Tatuí	C	50_100	9,71	7,73	2,83	0,55	0,01	2,14	1,73	4,29
Perfil 12	A	0_30	3,66	3,85	1,11	0,33	0,01	1,62	1,37	5,46
Arenito	Bi	30_50	5,12	3,86	1,41	0,31	0,01	2,26	1,83	4,29
Botucatu	BC	50_70	5,96	3,86	1,62	0,24	0,01	2,62	2,07	3,75
	C	70_90	5,13	3,88	1,52	0,22	0,01	2,25	1,80	4,00
Perfil 13	A	0_30	8,15	5,16	2,23	0,33	0,05	2,69	2,11	3,64
Siltito	Bi	30_60	11,88	7,77	3,35	0,43	0,03	2,60	2,04	3,64
Tatuí	BC	60_100	13,92	8,82	3,36	0,51	0,02	2,68	2,16	4,12
	C	100_160	17,46	10,46	4,10	0,70	0,02	2,84	2,27	4,00
Perfil 14	A	0_10	12,69	8,10	5,23	0,47	0,05	2,66	1,88	2,43
Siltito	Bi	10_30	13,81	8,37	5,23	0,47	0,06	2,80	2,00	2,51
Corumb.	C1	30_80	22,94	12,71	5,71	0,54	0,03	3,07	2,38	3,49
	C2	80_110	25,42	14,39	4,81	0,53	0,04	3,00	2,47	4,70
Perfil 15	A	0_20	6,43	5,16	2,43	0,64	0,02	2,12	1,63	3,34
Siltito	E	20_35	6,02	5,14	1,51	0,33	0,01	1,99	1,68	5,34
Itararé	Bt	35_70	9,45	7,74	2,53	0,41	0,01	2,08	1,72	4,80
	BC	70_90	12,32	9,07	3,05	0,30	0,01	2,31	1,90	4,67

(conclusão)

Anexo C - Difratogramas das frações silte e argila de solos derivados de rochas metamórficas

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 1

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 1

Difratogramas da fração argila do horizonte B do perfil 1

Difratogramas da fração argila do horizonte C do perfil 1

Difratogramas da fração argila do horizonte CR1 do perfil 1

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 2

Difratogramas da fração argila do horizonte CR2 do perfil 2

Difratogramas da fração argila do horizonte CR1 do perfil 2

Difratogramas da fração argila do horizonte B do perfil 2

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 2

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 3

Difratogramas da fração argila do horizonte CR1 do perfil 3

Difratogramas da fração argila do horizonte C do perfil 3

Difratogramas da fração argila do horizonte B do perfil 3

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 3

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 4

Difratogramas da fração argila do horizonte C do perfil 4

Difratogramas da fração argila do horizonte B do perfil 4

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 4

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 5

Difratogramas da fração argila do horizonte C do perfil 5

Difratogramas da fração argila do horizonte B do perfil 5

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 5

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 6

Difratogramas da fração argila do horizonte B2 do perfil 6

Difratogramas da fração argila do horizonte B1 do perfil 6

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 6

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 7

Difratogramas da fração argila do horizonte C1 do perfil 7

Difratogramas da fração argila do horizonte B do perfil 7

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 7

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 8

Difratogramas da fração argila do horizonte C do perfil 8

Difratogramas da fração argila do horizonte B1 do perfil 8

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 8

Difratogramas da fração silte de horizontes pedogênicos do perfil 9

Difratogramas da fração argila do horizonte CRC do perfil 9

Difratogramas da fração argila do horizonte C do perfil 9

Difratogramas da fração argila do horizonte B2 do perfil 9

Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil 9