

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS
DO JARDIM BOTÂNICO DE PORTO ALEGRE, RS**

**Luís Fernando da Silva
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS
DO JARDIM BOTÂNICO DE PORTO ALEGRE, RS**

LUÍS FERNANDO DA SILVA
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de
Mestre em Ciência do Solo.

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2014

CIP - Catalogação na Publicação

SILVA, LUIS FERNANDO DA
GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DO JARDIM
BOTÂNICO DE PORTO ALEGRE, RS / LUIS FERNANDO DA
SILVA. -- 2014.
85 f.

Orientador: PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-
RS, 2014.

1. Relação solo-paisagem. 2. processos
pedogenéticos. 3. lessivagem. 4. ferrólise. 5.
gleização. I. NASCIMENTO, PAULO CÉSAR DO, orient. II.
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

LUÍS FERNANDO DA SILVA

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DO JARDIM BOTÂNICO DE PORTO
ALEGRE, RS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em
Ciência do Solo.

Aprovada em 06 de março de 2014.

Homologada em 29 de setembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Alberto Vasconcellos Inda Junior
UFRGS

Prof. Carlos Alberto Bissani
UFRGS

Profa. Nina Simone Vilaverde Moura
UFRGS

Orientador – Prof. Paulo César do Nascimento
UFRGS

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu amor que permanece para sempre.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo espaço cedido para a realização deste trabalho.

À Capes e ao CNPq, pela bolsa de estudos.

Ao professor Paulo César do Nascimento, pela amizade e pelo ganho de conhecimento nesse período de trabalho. Aos demais professores do PPG pelos ensinamentos.

Ao Jáder e ao Adão Luís, pela disposição em atender nossas solicitações e pela ajuda nos trabalhos de laboratório.

Um agradecimento especial à equipe de trabalho do Jardim Botânico: Robberson, Walmir, Rosane, Ângela e Danilo; pelo empenho para a realização deste trabalho. Aos demais colaboradores do JB-PoA, pelo auxílio durante a abertura das trincheiras.

Aos bolsistas: Edsleine, Evandro e Leonardo, pelo auxílio nos trabalhos de laboratório.

Ao Michael e ao Fernando, pelo auxílio nos experimentos de física e química do solo. À Paula, à Tatiana e à Catiline, pelo auxílio nos experimentos de química e mineralogia do solo. Aos demais colegas do PPG, em especial aos do setor da Gênese do Solo, pelos momentos de estudo e de parceria.

A minha família, pelo apoio para a realização dos meus estudos e também por estar comigo nos momentos mais difíceis. A minha mãe Vera Lúcia, por sua dedicação e orações.

Aos professores que me instruíram desde a minha formação primária. Sem seus ensinamentos, não seria possível o meu progresso e crescimento nessa caminhada.

GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DO JARDIM BOTÂNICO DE PORTO ALEGRE, RS¹

Autor: Luís Fernando da Silva

Orientador: Prof. Dr. Paulo César do Nascimento

RESUMO

O conhecimento das características dos recursos naturais em áreas onde se desenvolvem atividades relacionadas ao meio ambiente é condição fundamental para o estabelecimento de formas sustentáveis de utilização destes recursos. No Jardim Botânico de Porto Alegre (JB-PoA) não existem estudos detalhados que investiguem a caracterização e processos de formação do solo. O objetivo do estudo foi caracterizar e classificar perfis representativos da ocorrência de solos no JB-PoA, bem como relacionar a sua distribuição na paisagem às características do ambiente. Para a descrição morfológica e coletas de amostras de solo foram selecionados quatro perfis localizados no terço superior, terço médio, sopé e várzea. A granulometria dos perfis P1 e P3 indicou gradiente textural acentuado, com horizonte B textural e B plânico, respectivamente. A relação Fed/Fes foi maior nos perfis da posição superior (P1 e P2), indicando maior intemperismo. A relação Feo/Fed aumentou nos perfis P3 e P4, com maior participação dos óxidos de ferro de baixa cristalinidade em ambiente redutor. No Argissolo (P1), a cerosidade e o aumento da relação argila fina/argila total em profundidade confirmam o processo de lessivagem. No Cambissolo (P2), o relevo mais inclinado influenciou o menor desenvolvimento pedogenético deste, com solum pouco espesso e maior presença de minerais primários alteráveis. No Planossolo (P3), a drenagem imperfeita favoreceu o processo de ferrólise e a ocorrência de mudança textural abrupta. No Gleissolo (P4), a permanência da água imprimiu as cores acinzentadas relacionadas à gleização. O predomínio do relevo em forma de colina resultou no maior intemperismo e desenvolvimento pedogenético dos solos estudados.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (75 p.) Março, 2014. Trabalho realizado com apoio financeiro da Capes, CNPq e FZB-RS.

SOIL GENESIS AND CLASSIFICATION OF PORTO ALEGRE (RS) BOTANIC GARDEN¹

Author: Luís Fernando da Silva

Adviser: Prof. Dr. Paulo César do Nascimento

ABSTRACT

Knowledge of natural resources characteristics in areas where activities related to the environment are developed is a fundamental condition for establishing sustainable ways of using these resources. In the Porto Alegre Botanic Garden (JB-PoA) there are not more detailed studies that investigate the characterization and the processes of soil formation. The objective of this study was to characterize and classify representative profiles of the occurrence of soils in the JB-PoA, as well as relate their distribution on the landscape according to environmental characteristics. For the morphological description and collecting soil samples were selected four profiles located in the summit-shoulder transition, backslope, footslope and toeslope. Granulometric distribution of the profiles P1 and P3 indicated sharp textural gradient, with presence of textural and plânico B horizons, respectively. The Fed/Fes relationship was greater in the profiles located in the upper position (P1 and P2), indicating greater weathering. The Feo/Fed relationship increased in P3 and P4 profiles, indicating greater participation of iron oxides of low crystallinity in reducing environment. The results confirmed the occurrence of lessivage pedogenic process in Ultic Hapludalf (P1), with presence of clay skins and increased fine clay/total clay ratio in greater depth. In Oxic Dystrudept (P2) greater slope influenced less pedogenic development, showing little thick and greater presence of weatherable primary minerals. In Oxyaquic Hapludalf (P3) profile, poor drainage favored the process of ferrolysis and the formation of abrupt textural change. In Humaqueptic Endoaquent (P4), greater water residence contributed to grey colors related to gleization. The predominance of moderately steep relief resulted in increased weathering and soil development.

¹ M.Sc Dissertation in Soil Science - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (75 p.) March, 2014. Research work sponsored by Capes, CNPq and FZB-RS.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Formação do solo influenciada pelo relevo	3
2.2 Geologia e solos do município de Porto Alegre.....	4
2.3 Processos pedogenéticos	7
2.3.1 Solos bem drenados com horizonte B textural	7
2.3.2 Solos hidromórficos com horizonte B plânico ou horizonte glei.....	9
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	11
3.1 Hipóteses	11
3.2 Objetivos	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 Caracterização da área de estudo	12
4.2 Seleção dos perfis estudados	14
4.3 Análises físicas.....	16
4.4 Análises químicas	17
4.5 Análises mineralógicas.....	18
4.6 Classificação taxonômica dos solos.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 Morfologia e classificação dos solos	21
5.2 Características físicas dos solos	28
5.3 Características químicas dos solos	37
5.4 Ataque sulfúrico e dissoluções seletivas	43
5.5 Mineralogia dos solos.....	49
5.6 Aspectos sobre a formação e classificação dos solos	55
5.6.1 Nomenclatura no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos	55
5.6.2 Nomenclatura no “Keys to Soil Taxonomy”	57
6. CONCLUSÕES	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
8. APÊNDICES	68

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Características morfológicas dos solos	24
Tabela 2. Atributos físicos dos solos	30
Tabela 3. Atributos químicos dos solos	41
Tabela 4. Valores de óxidos do ataque sulfúrico, óxidos extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), óxidos extraídos pelo oxalato ácido de amônio (OXA), na fração TFSA dos solos	47

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de solos do município de Porto Alegre e classes encontradas na região do JB-PoA.....	6
Figura 2. Imagem de satélite da área do JB-PoA.....	12
Figura 3. Mapa geológico do município de Porto Alegre, com destaque para as formações geológicas da região do JB-PoA.....	13
Figura 4. Mapa topográfico do JB-PoA, com a legenda das classes de solo encontradas no parque.....	15
Figura 5. Representação esquemática da localização topográfica dos perfis de estudo.....	15
Figura 6. Perfil do Argissolo (P1), mostrando a sequência de horizontes A, AB, Bt1 e Bt2.....	26
Figura 7. Perfil do Cambissolo (P2), mostrando a sequência de horizontes A, A/B, Bi e Cr.....	26
Figura 8. Perfil do Planossolo (P3), mostrando a sequência de horizontes A, E, EB e Btg.....	27
Figura 9. Perfil do Gleissolo (P4), mostrando a sequência de horizontes A, AC e Cg.....	27
Figura 10. Relação areia fina/areia total dos perfis P1 (Argissolo), P2 (Cambissolo), P3 (Planossolo) e P4 (Gleissolo).....	32
Figura 11. Valores de argila natural (ADA) e argila total do solo.....	34
Figura 12. Relação argila fina/argila total dos perfis P1 (Argissolo), P2 (Cambissolo), P3 (Planossolo) e P4 (Gleissolo).....	36
Figura 13. Difractogramas de raios X da areia, silte e argila do Perfil 1.....	50
Figura 14. Difractogramas de raios X da areia, silte e argila do Perfil 2.....	51
Figura 15. Difractogramas de raios X da areia, silte e argila do Perfil 3.....	53
Figura 16. Difractogramas de raios X da areia, silte e argila do Perfil 4.....	54

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Apêndice 1. Descrição morfológica dos perfis	69
Apêndice 2. Imagens dos locais de estudo dos solos	74

1. INTRODUÇÃO

O Jardim Botânico de Porto Alegre (JB-PoA) é um órgão público de pesquisa fundado no ano de 1953 e que ao longo de sua história vêm se dedicando à conservação de espécies da flora nativa do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Nos anos iniciais, as atividades do Jardim Botânico estavam concentradas nas expedições de exploração botânica, na localização de espécies vegetais e na caracterização de ecossistemas visitados, como também na construção de um cactário. Somente a partir da década de 1970, período em que passou a integrar a Fundação Zoobotânica do Estado do RS, é que a instituição passou a contar com estufas para a produção de mudas, sendo uma mudança essencial para a multiplicação de espécies ameaçadas da flora regional.

Atualmente, entre as atividades desenvolvidas cita-se: a coleção de espécies arbóreas e arbustivas que representam os ecossistemas naturais do Estado; a propagação de sementes e o cultivo de mudas que apresentam aspecto ornamental ou que tenham risco de extinção; a visitação de escolas, com a criação de atividades voltadas para a educação ambiental (FZB, 2009).

O conhecimento das características dos recursos naturais em áreas onde se desenvolvem atividades relacionadas ao meio ambiente é condição fundamental para o estabelecimento de formas sustentáveis de utilização destes recursos. Nestes, os solos ocupam uma posição de destaque, pelo fato de ser expressão dos fatores ambientais ligados a sua formação, bem como pela interação com a biosfera e a hidrosfera (Buol et al., 2003). Em áreas destinadas a Unidades de Conservação, a classificação de solos constitui-se em subsídio para o planejamento com vistas à otimização da utilização deste recurso, dentro das atividades inerentes a estes locais. Em áreas urbanas, o estabelecimento destas unidades e a definição destes planos de manejo adquirem importância especial, em virtude do acelerado processo de urbanização e adensamento

populacional, aumentando os riscos de processos de degradação dos recursos naturais.

O estudo da gênese do solo permite identificar aspectos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, com impacto no potencial de uso do solo. Assim, são conhecidas as características do solo que interferem no desenvolvimento das plantas como, por exemplo, a profundidade efetiva, a textura, a condição de drenagem e a fertilidade química natural. As informações obtidas nesse estudo, também podem ser usadas para outras finalidades, como a definição de áreas prioritárias em atividades de pesquisa e extensão, de educação ambiental, de lazer e recreação, entre outras. Cabe destacar que no JB-PoA não existem estudos mais detalhados que investiguem a caracterização e os processos de formação do solo. Além disso, outro fator limitante é a escala do mapa de solos de Porto Alegre, que não permite o detalhamento das características e da localização destes dentro da Unidade de Conservação. Nesse sentido, o estudo detalhado torna a informação mais aplicável para esta área como também contribui para o manejo e o uso adequado do solo.

Com base nestes pressupostos, justifica-se a execução desta pesquisa como subsídio para o planejamento e gestão do JB-PoA e também para melhor compreensão das interações entre solo e demais fatores do ambiente em áreas de colinas no município de Porto Alegre.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Formação do solo influenciada pelo relevo

No século XIX o pesquisador russo Vasili Dokuchaev reconheceu que o solo é função do material de origem, do clima, do relevo, dos organismos vivos, atuando ao longo do tempo (Bockheim et al., 2005). Na década de 1940, Jenny adotou um modelo equacional para explicar os fatores de formação do solo observados por Dokuchaev, com a possibilidade de incorporação de aspectos quantitativos na pedologia. Porém, foram visualizadas restrições desse modelo. Wilding (1994) destaca entre as limitações iniciais a minimização da interação desses fatores e a pouca atenção proporcionada ao fator relevo. Mais adiante, estas questões contribuíram para a evolução do diálogo científico e influenciaram a execução de muitos trabalhos. Nessa perspectiva, considera-se que a ação combinada dos fatores de formação do solo ao longo do tempo, em maior ou menor grau, interfere nas reações químicas, físicas e biológicas, possibilitando a formação de solos com características distintas a partir de um mesmo material de origem (Buol et al., 2003; Fanning & Fanning, 1989).

As formas do relevo exercem influência sobre a direção e fluxos da água nas vertentes da paisagem, atuando indiretamente sobre a infiltração de água no perfil do solo, produzindo diferenças em atributos químicos, físicos e morfológicos do solo, como também explicam as altas taxas de erosão do solo em superfícies retilíneas com maior declividade. Na segmentação de uma paisagem, observa-se a ocorrência de solos profundos e bem drenados nas posições altas de interflúvio, proporcionando maior grau de infiltração da água e maior grau de pedogênese. Na posição de terço superior da paisagem passam a existir fluxos laterais da água em subsuperfície e, à medida que aumenta a inclinação no terço médio da paisagem, a aceleração da água acentua a erosão superficial do solo. Por outro lado, nas posições mais baixas e côncavas da paisagem (sopé e várzea), há predomínio de solos mal drenados, podendo haver

a acumulação de sedimentos transportados das porções superiores (origem coluvionar) ou a deposição pela dinâmica hídrica de rios e lagos (origem aluvionar) (Vidal-Torrado et al., 2005).

Embora a influência do relevo seja evidenciada na variação dos atributos morfológicos e nos processos de transporte, o material de origem ao mesmo tempo atua neste por meio de sua permeabilidade, cuja condição forma superfícies mais declivosas ou mais suaves, características importantes no avanço do intemperismo. Teramoto et al. (2001), estudando a formação de solos sobre diferentes substratos geológicos, não apenas perceberam que o material de origem produziu variações nos atributos químicos e físicos dos solos. Além disso, constataram que as diferentes formas topográficas da região tinham relação com a porosidade e resistência à erosão do substrato geológico local.

2.2 Geologia e solos do município de Porto Alegre

No município de Porto Alegre, observa-se a ocorrência de três províncias geomorfológicas presentes no Estado do RS: o Escudo Sul-riograndense, a Depressão Periférica e a Planície Costeira. Com cobertura expressiva no município, o Escudo Sul-riograndense e a Planície Costeira apresentam substratos geológicos que diferem quanto ao tempo de evolução. No Escudo Sul-riograndense, ocorrem as maiores altitudes do município, localizadas nos morros da região sudeste de Porto Alegre, que são formados por granitos com idade superior a 600 milhões de anos (idade do Pré-Cambriano) (Philipp & Machado, 2001). Nas áreas mais baixas do município, ocorrem depósitos sedimentares mais recentes, formados há menos de 350 mil anos (idade do Quaternário), que representam a Planície Costeira. Estas áreas são formadas por depósitos de sedimentos lagunares e fluviais resultantes das últimas regressões marinhas (Hasenack et al., 2008).

Geograficamente, o JB-PoA está localizado sobre a província geomorfológica do Escudo Sul-riograndense, composta por rochas ígneas e metamórficas do Cinturão Orogênico Dom Feliciano, cuja formação relaciona-se ao choque dos antigos continentes sul-americano e africano. No município, o Escudo Sul-riograndense apresenta quatro padrões de relevo: em forma de morros, em forma de morros associados com colinas, em forma de morros

isolados e em forma de colinas, esta última sobre a qual está situada a área de estudo. O relevo em forma de colinas é compreendido por rochas graníticas e gnáissicas, com textura permeável que favorece a formação de um relevo mais suave e com menor altitude, fruto da boa infiltração de água e do intenso intemperismo. Na região norte do município, predominam as colinas de interflúvios amplos e de vale plano, com altitude entre 20 a 60 m e declividade entre 0 a 2%. Ainda podem ocorrer depósitos eluvionares com areias grossas e presença de matriz siltico-argilosa (Moura & Dias, 2012).

No município de Porto Alegre, levantamentos pedológicos preliminares identificaram a predominância de quatro unidades de solo: Podzólico Vermelho e Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo), Cambissolo, Litólico (Neossolo), solos Hidromórficos/Aluviais (Brasil, 1973; Schneider et al., 1974; Hasenack et al., 2008). De acordo com o Levantamento de Reconhecimento de Solos do município, na região onde está situado o JB-PoA (Figura 1) predominam os seguintes tipos de solo:

PV1 – Grupo indiferenciado de Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, ambos com caráter distrófico; PV2 – Associação de Argissolo Vermelho ou Argissolo Vermelho-Amarelo com Cambissolo Háplico; SG1 – Associação de Planossolo Hidromórfico, Gleissolo Háplico e Plintossolo Argilúvico; SG2 – Associação de Planossolo Hidromórfico, Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico, com caráter eutrófico ou distrófico.

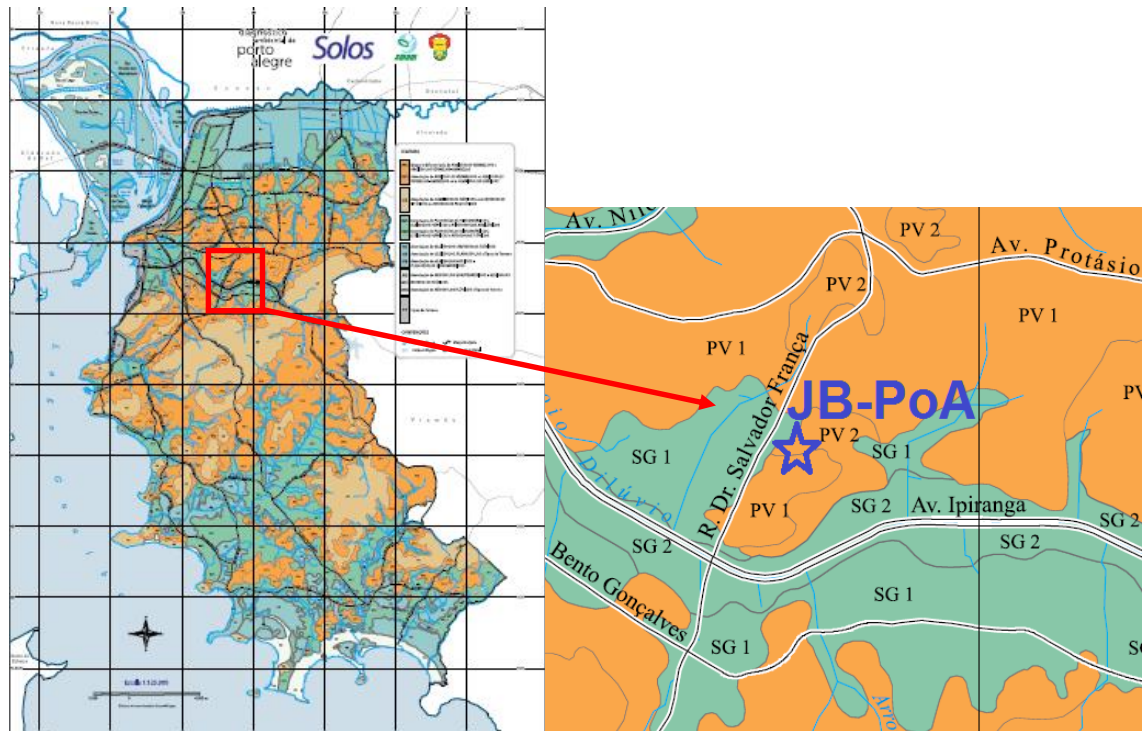


Figura 1. Mapa de solos do município de Porto Alegre e classes encontradas na região do JB-PoA. Levantamento de Reconhecimento de Solos de Média Intensidade. Escala do mapa: 1:125.000. Adaptado de Hasenack et al., (2008).

Os Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos ocorrem nos topos e encostas de elevações em áreas de relevo suave ondulado e ondulado. Caracterizam-se por ser solos profundos e com drenagem boa a moderada, com aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B. Em áreas de maior declividade o gradiente textural aumenta a suscetibilidade à erosão. Outra limitação é o caráter distrófico, indicando a baixa disponibilidade de nutrientes nestes solos.

Os Neossolos e Cambissolos ocorrem predominantemente nas áreas de morro com relevo forte ondulado a montanhoso. Os Neossolos não apresentam horizonte B, sendo em geral arenosos, com alta porcentagem de cascalho, bem drenados e rasos; enquanto os Cambissolos variam de rasos a profundos, apresentando cores mais vermelhas ou mais amarelas no horizonte B de acordo com a condição de drenagem. Dessas classes, os Neossolos têm aptidão mais restrita e devem ser destinados à preservação, devido a pequena profundidade efetiva para o desenvolvimento de raízes e por ocorrerem em áreas com afloramento rochoso, dificultando a mecanização.

Os Planossolos e os Gleissolos são encontrados nas cotas mais baixas da paisagem, em relevo plano a suave ondulado. São solos imperfeitamente a mal drenados, que apresentam risco de inundação em épocas mais chuvosas. Devido ao acúmulo de água, observam-se perfis de solo com cores escuras e acinzentadas ou mesmo mosqueados (ou variegados) quando há oscilação do lençol freático. As cores refletem a composição e as condições de drenagem do solo, assim como a ação dos fatores de formação do solo (Schneider et al., 2007b). Para Klamt et al. (1985), as cores acinzentadas, resultantes da umidade excessiva nestas áreas, têm relação com a forma do relevo e a presença de camada com granulometria muito fina em subsuperfície, reduzindo a capacidade de infiltração da água.

Além da observação da cor do solo, outras características morfológicas, como a textura, teor de matéria orgânica, sequência e espessura dos horizontes, são subsídios importantes para compreender a formação do solo. A definição de uma classe de solo, em nível de ordem, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) é feita a partir das características morfológicas e da identificação dos processos de formação associados a sua gênese. Dessa forma, o estudo dos processos pedogenéticos constitui uma informação indispensável para a definição de uma classe de solo. A seguir, são citadas características de processos pedogenéticos relacionados ao desenvolvimento de diferentes classes solos.

2.3 Processos pedogenéticos

2.3.1 Solos bem drenados com horizonte B textural

A pouca expressividade de um processo pedogenético no horizonte diagnóstico B ou a ausência de horizonte B no perfil de solo pode ser associada às condições desfavoráveis para a evolução pedogenética como, por exemplo, altas declividades que facilitam a ocorrência de processos erosivos e afetam o transporte e armazenamento de água no solo (Campos et al., 2010). Por outro lado, um relevo mais suave promove o equilíbrio entre erosão e acumulação, refletindo na evolução da pedogênese e na formação de solos mais espessos (Espindola, 2010).

Segundo Bockheim et al. (2005), um dos primeiros conceitos de formação do solo foi observado no processo de eluviação e iluviação, onde há remoção de material em suspensão de um horizonte A ou E e a deposição do produto do intemperismo no horizonte B. Santos et al. (2010), estudando perfis de solo numa topossequência gnáissica de Mar de Morros no RJ, relacionaram a topografia e a declividade para explicar o grau de pedogênese e a ocorrência de eluviação e iluviação da argila na formação de gradiente textural em Argissolo. Medeiros et al. (2013), estudando a gênese de solos graníticos no município de Porto Alegre, inferiram que a textura mais grosseira do material de origem favoreceu a ocorrência do processo pedogenético de lessivagem na formação do horizonte B textural. Portanto, percebe-se que características do ambiente além do intemperismo do material de origem, como a forma de relevo e a inclinação criam condições para diferenciação morfológica e formação de horizontes no solo (Simonson, 1959).

A migração vertical da argila, associada ao aumento da razão argila fina/argila total em profundidade, indica a ocorrência do processo de lessivagem, particularmente referida à formação de Argissolos com horizontes E e Bt. O entupimento dos poros de menor diâmetro pela argila dificulta a infiltração da água, podendo causar fluxo lateral de compostos em subsuperfície ou criar condições favoráveis para que ocorram processos sucessivos de oxidação-redução nos horizontes subjacentes (Buol et al., 2003).

Quénard et al. (2011), destacam algumas condições de solo e de clima favoráveis à ação da lessivagem. A mobilização das partículas é favorecida pelo baixo grau de flocculação do solo. Nesse sentido, a predominância de minerais com alta superfície de troca (argilominerais 2:1) e de cátions monovalentes com maior raio hidratado (Na^+) ocupando o complexo de troca do solo, facilitam a dispersão das argilas. Com efeito oposto, altos teores de cátions com menor raio hidratado (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ocupando o complexo de troca, a hidrofobicidade da matéria orgânica e os altos teores de óxidos de ferro no solo, aumentam a estabilidade dos agregados. O transporte vertical das argilas é favorecido em uma superfície mais plana e em um clima úmido com temperaturas amenas (com precipitação superior à evapotranspiração), acentuando o movimento descendente das argilas pelo fluxo vertical da água. A deposição final das argilas em um horizonte iluvial ocorre à medida que os poros

de menor tamanho são preenchidos pelas partículas transportadas da porção superior do perfil, de forma a ocasionar o impedimento físico do movimento descendente da argila no solo.

Durante a formação do solo os processos pedogenéticos podem ocorrer de forma associada. Almeida (1992) e Mafra et al. (2001) identificaram a lessivagem e a ferrólise como processos atuantes na formação de solos com gradiente textural. Porém, devido às condições dos fatores de formação do solo, pode haver o predomínio de um processo sobre outro. Em cotas altas e bem drenadas, a mudança textural abrupta com presença de cerosidade, associada ao fluxo vertical da água, são evidências da ação de lessivagem.

2.3.2 Solos hidromórficos com horizonte B plânico ou horizonte glei

Em solos imperfeitamente drenados, ciclos alternados de umedecimento e secagem podem ser responsáveis pela formação de gradiente textural. Esta condição é encontrada nas áreas planas e baixas da paisagem, em locais próximos a rios ou estuários, ou em encostas suaves com relevo côncavo, que permite a inundação periódica dos solos (Van Ranst et al., 2011).

Brinkman (1970), estudando solos alagados, concluiu que a ferrólise é um processo pedogenético com expressiva atuação em solos com baixa permeabilidade. Durante a fase anaeróbica, o Fe^{3+} é reduzido para forma solúvel Fe^{2+} , que em excesso na solução do solo desloca os cátions dos sítios de troca dos argilominerais, sendo estes, passíveis de lixiviação. Posteriormente, com a secagem do solo, o Fe^{2+} em solução é oxidado a Fe^{3+} , o qual é hidrolisado e precipita a $Fe(OH)_3$, liberando nesse processo íons H^+ (Van Breemen et al., 1983; Douglas, 1990). Os íons H^+ , em excesso na solução do solo, desestabilizam a lâmina octaedral dos argilominerais, originando sílica amorfa e liberando Al^{3+} . Como produto final da ferrólise, observa-se a formação progressiva de horizontes arenosos, com baixa CTC e menor saturação por bases (Brinkman, 1979). Neste estudo, o autor observou que este processo era frequentemente correlacionado, de modo equivocado, com outros processos pedogenéticos, como a gleização e a lessivagem. Segundo Almeida (1992), ainda que haja claras diferenças entre processos, considera-se que mais de um processo pode ocorrer no solo, seja ele de caráter pretérito ou concomitante.

Tais condições podem ser identificadas fazendo-se, por exemplo, um balanço das perdas e ganhos de argila nos horizontes eluviais e iluviais do solo.

Em ambientes mal drenados ou com lençol freático oscilante, as cores mosqueadas ou variegadas resultam da oxirredução dos oxi-hidróxidos de ferro (Costa & Bigham, 2009). A classe dos Planossolos apresenta uma desargilização acentuada da porção mais superficial e aumento do teor de argila no horizonte subsuperficial B plânico (Embrapa, 2013), com evidência de processos de oxiredução repetitivos em ambiente imperfeitamente drenado, condição esta favorável à atuação do processo de ferrólise. Além da atuação dos processos pedogenéticos, a formação de solos com gradiente textural pode ocorrer devido à presença de descontinuidade litológica no perfil, erosão seletiva de partículas ou remoção/neoformação de argilominerais (Phillips, 2004).

De acordo com Klamt et al. (1985), os Gleissolos diferem dos Planossolos por ocorrer nas microdepressões ou nas áreas mais baixas da paisagem, não apresentando mudança textural ou transição abrupta entre os horizontes A e B. Nestes locais, o acúmulo permanente de água origina horizontes com cores acinzentadas e esbranquiçadas relacionadas à dissolução e remoção dos óxidos de ferro e à presença de minerais claros como caulinita, carbonatos e quartzo (Streck et al., 2008; Schneider et al., 2007b). A gleização é o processo pedogenético relacionado à manifestação de atributos morfológicos do horizonte glei (Embrapa, 2013), devido à respiração anaeróbica de bactérias do solo, oxidando a matéria orgânica e reduzindo componentes do solo. Como consequência desse processo, os íons NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} e SO_4^{2-} são reduzidos para as formas N_2 , Mn^{2+} , Fe^{2+} e H_2S (Ponnamperuma, 1972).

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.1 Hipóteses

a) As características de solos no JB-PoA, bem como a ocorrência das classes taxonômicas, também seguem o padrão observado para os solos de Porto Alegre, ocorrendo solos mais profundos e bem drenados na porção superior da paisagem, solos menos espessos em local mais declivoso e solos hidromórficos na porção mais baixa da paisagem.

b) Características específicas de relevo e material de origem implicam na ocorrência de processos de formação em maior intensidade, resultando em solos com características específicas: maior grau de desenvolvimento pedogenético, expresso em atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos.

3.2 Objetivos

a) Estabelecer a gênese dos solos do JB-PoA a partir da descrição morfológica e de análises físicas, químicas e mineralógicas.

b) Classificar os perfis representativos da ocorrência das unidades taxonômicas no JB-PoA, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) e com o “Keys to Soil Taxonomy” (Soil Survey Staff, 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O Jardim Botânico de Porto Alegre (JB-PoA), localizado na Av. Salvador França, ocupa atualmente uma área de 39 hectares (Figura 2), circunscrito às coordenadas UTM 6675000 e 6675950 (latitude) e 482600 e 483500 (longitude), na região urbana do município de Porto Alegre (FZB, 2009).

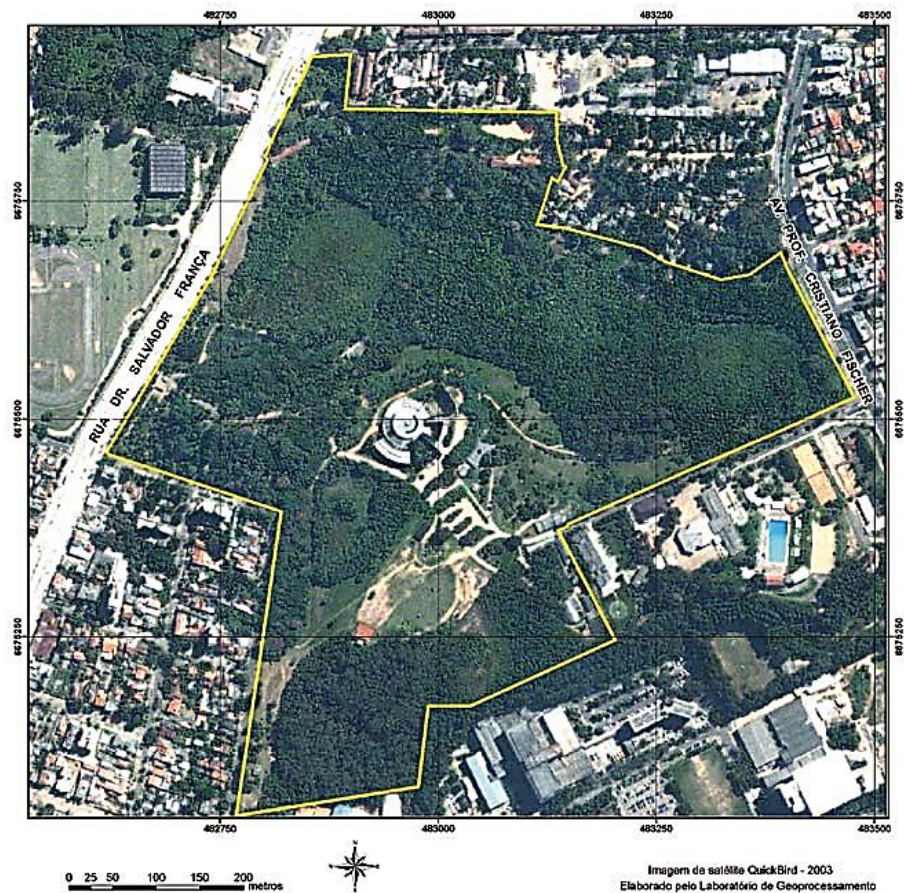


Figura 2. Imagem de satélite da área do JB-PoA. Laboratório de Geoprocessamento. FZB, (2003).

O clima da região é do tipo subtropical úmido, com temperatura média anual de 19,5°C e precipitação média anual de 1.300 mm, sendo os meses mais

chuvosos entre maio e setembro (Embrapa, 2014). A vegetação do JB-PoA é composta por espécies nativas e espécies exóticas que ocorrem em diferentes condições de solo e de clima no parque. Nas áreas mais altas, observa-se a predominância de espécies de porte arbóreo a subarbustivo, com destaque para *Mimosa bimucronata* (maricá), *Butia capitata* (butiá), *Dodonaea viscosa* (vassoura-vermelha), *Eryngium pandanifolium* (gravatá) e *Schizachyrium microstachyum* (capim-rabo-de-burro). Compondo as áreas de campo, evidenciam-se as espécies rasteiras *Paspalum plicatulum* (grama-cinza), *Parodi* sp. (capim cabelo-de-porco) e *Desmodium incanum* (pega-pega). Nas áreas mais baixas, ocorrem principalmente *Juncus microcephalus* (junco-do-banhado), *Ischaemum minus* (grama-do-banhado) e *Pontederia lanceolata* (aguapé) (FZB, 2004).

Na Figura 3 são visualizadas as três formações geológicas que ocorrem na região do JB-PoA: os Gnaisses de Porto Alegre e os Depósitos eluviais do Escudo Sul-rio-grandense, descritos por Schneider et al. (1974) como Migmatitos Heterogêneos e Alterito Serra de Tapes, respectivamente; com alguma influência do Granito Independência.

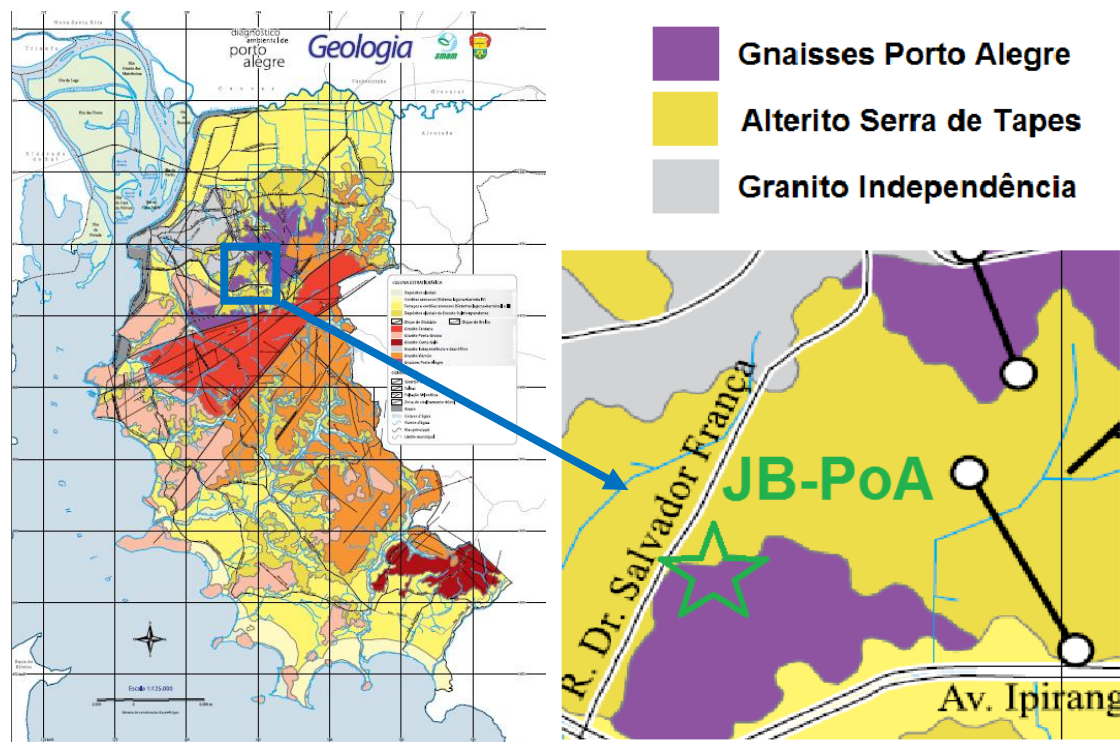


Figura 3. Mapa geológico do município de Porto Alegre, com destaque para as formações geológicas da região do JB-PoA. Escala do mapa: 1:125.000. Adaptado de Hasenack et al., (2008).

Os Gnaisses de Porto Alegre (Pré-Cambriano) são rochas metamórficas originadas a partir da deformação das rochas graníticas por alta temperatura e pressão, apresentando contato mais ao norte do JB-PoA com o Granito Independência. Possuem poucos afloramentos no município, onde mostram coloração escura a preta e características de expressivo intemperismo. A mineralogia predominante é quartzo, feldspato e biotita. O Granito Independência (Pré-Cambriano), de origem ígnea intrusiva, é encontrado mais a noroeste do JB-PoA. Apresenta cor cinza-clara a esbranquiçada e é composto principalmente por feldspato-K (ortoclásio), com menor proporção de plagioclásio, quartzo e biotita. O Alterito Serra de Tapes (Quaternário), ocupando expressiva área na região do JB-PoA, é um depósito elúvio-coluvionar formado a partir de sedimentos do Escudo Sul-riograndense que foram transportados nos últimos eventos transgressivo-regressivos marinhos. De constituição argilo-silto-arenosa, tem predomínio de caulinita e óxidos de ferro (IBGE, 1986; Leinz & Amaral, 1998; Hasenack et al., 2008). O relevo predominante da região é o de colinas, com influência de terraços aluviais do Arroio Dilúvio (FZB, 2004).

4.2 Seleção dos perfis estudados

Com o auxílio de um mapa topográfico da área de estudo, foi realizada a prospecção inicial associando características de relevo, drenagem e vegetação a determinados tipos de solo, o que permitiu a elaboração da legenda preliminar com observação de 26 pontos (Figura 4). Após esta etapa, foram escolhidos os perfis representativos da distribuição de solos no parque, com a definição de quatro perfis de solo, localizados nas seguintes posições da paisagem e composição de vegetação: terço superior (campo nativo); terço médio (espécies tropicais); sopé (espécies leguminosas) e várzea (espécies nativas e higrófilas) (Figura 5).

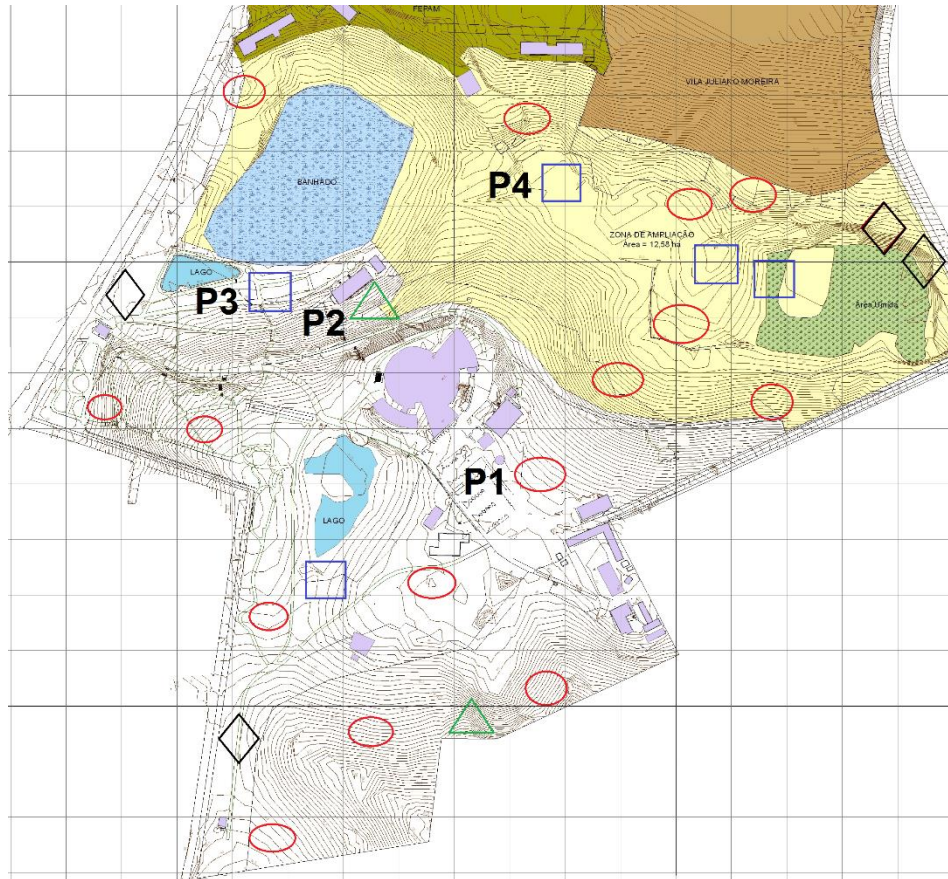


Figura 4. Mapa topográfico do Jardim Botânico-PoA, com a legenda das classes de solo encontradas no parque. Elipse – Argissolo; Triângulo – Neossolo e Cambissolo; Quadrado – Planossolo e Gleissolo; Losângo – Tipos de terreno (área alterada por ação antrópica).

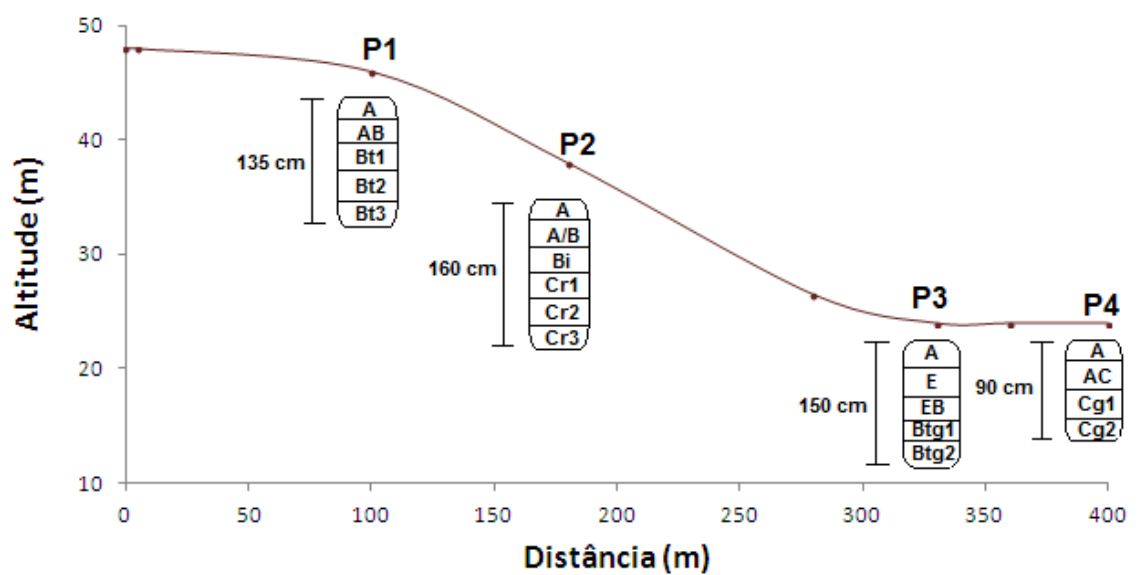


Figura 5. Representação esquemática da localização topográfica dos perfis de estudo.

Em cada ponto selecionado foi realizada a abertura de trincheira e gradagem para a descrição morfológica e coleta de amostras deformadas e indeformadas dos principais horizontes pedogenéticos, de acordo com a metodologia proposta por Santos et al. (2005), propondo aplicar estudos detalhados de caracterização, classificação e aspectos de influência do ambiente, por meio dos processos de formação.

As amostras de solo coletadas foram secadas ao ar livre em casa-de-vegetação, passando posteriormente por destorroamento e separação com peneira de malha 2 mm para determinação da quantidade de cascalho e obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA). As análises físicas e químicas dos solos foram realizadas na TFSA.

4.3 Análises físicas

As análises físicas foram conduzidas de acordo com a metodologia da Embrapa (1997) e de Jackson (1956), nos Laboratórios de Física e Química do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. A quantificação do cascalho foi determinada em amostras de 200 g de solo, com a pesagem da fração 2 mm a 20 mm. A composição granulométrica do solo foi determinada em amostras de 50 g de solo, sendo submetidos à dispersão com solução NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação mecânica por 16 horas. A areia foi separada por tamisação úmida com peneira de malha 0,053 mm, sendo posteriormente diferenciada nas classes areia grossa (2-0,25 mm) e areia fina (0,25-0,05 mm). O conteúdo de argila foi determinado pelo método do densímetro de Boyoucos e o silte calculado por diferença. Para a obtenção da argila fina (<0,2 µm) e argila grossa (2-0,2 µm), a argila foi coletada por sifonamento e submetida à centrifugação a 2.500 rpm durante 30 min, quantificando-se a fração sobrenadante (argila fina) em relação ao material total. Para a determinação da argila dispersa em água (ADA) foi repetido o procedimento utilizado para a composição granulométrica, porém sem a adição de dispersante químico (NaOH), permitindo o cálculo do grau de floculação deste material. A coleta de amostras indeformadas de solo foi realizada nos principais horizontes superficiais e subsuperficiais com anel de aço de volume interno 285 cm³, permitindo estimar a densidade e a porosidade do solo. A densidade do solo (DS

= massa da amostra seca a 105 °C / volume da amostra) foi obtida após a secagem da amostra indeformada por 48 horas em estufa a 105 °C. A densidade de partículas (D_p = massa da amostra seca a 105 °C / [50 - volume de álcool gasto]) foi estimada pelo método do balão volumétrico, registrando o volume de álcool etílico usado para completar um balão volumétrico de 50 mL com 20 g de solo seco. A porosidade total foi calculada por meio da equação: $P_t = 1 - (D_s / D_p)$. A macro e microporosidade do solo foram obtidas após a pesagem da amostra indeformada em condição de saturação, condicionamento em mesa com tensão de 60 cm de altura da coluna d'água e secagem a 105 °C.

Com estes dados, foi possível calcular alguns parâmetros como: a relação silte/argila, indicativa de intemperismo; a relação argila fina/argila total, indicativa do processo de iluviação de argilas; o grau de floculação de argila ($[\text{argila total} - \text{argila dispersa em água} / \text{argila total}] * 100$); a relação areia fina/areia total (AF/AT) e o valor de uniformidade ($VU = [(\text{silte} + AF) / (AT - AF)]_{\text{HORIZONTE SUPERFICIAL}} / [(\text{Silte} + AF) / (AT - AF)]_{\text{HORIZONTE SUBJACENTE}} - 1,0$), usados para identificar a mudança de material de origem no perfil do solo (Schaeztl, 1998).

4.4 Análises químicas

A determinação do pH do solo com água e com KCl foi realizada por meio da medição de eletrodo imerso na suspensão solo-líquido na proporção de 1:2,5. Os teores de sódio e potássio trocáveis no solo foram obtidos com solução diluída de HCl e posterior determinação em espectrofotometria de chama (Embrapa, 1997).

O teor de fósforo disponível foi obtido pela solução de Mehlich-1, sendo determinado no extrato por colorimetria (Tedesco et al., 1995). Os teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis no solo foram obtidos por solução de KCl (1 mol L^{-1}), sendo os teores dos dois primeiros determinados com solução diluída de EDTA e indicador calcon. O teor de alumínio trocável foi obtido no extrato por titulação do Al^{3+} com solução diluída de NaOH e indicador azul de brometamol. A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) a pH 7,0 foi obtida por extração de acetato de cálcio e determinação com potenciômetro na solução (Embrapa, 1997).

O teor de enxofre disponível foi determinado por turbidimetria do sulfato solúvel ($S-SO_4^{2-}$), sendo o enxofre extraído do solo com solução de fosfato de cálcio e a leitura feita por colorimetria (Tedesco et al., 1995).

A condutividade elétrica do solo foi determinada na relação solo-água 1:1, com agitar intermitente por 1 hora e centrifugação a 2.000 rpm por 15 minutos. A leitura foi realizada por condutivímetro no líquido sobrenadante (Tedesco et al., 1995).

O teor de carbono orgânico do solo foi obtido pela oxidação do carbono da matéria orgânica, com redução do dicromato de potássio em meio ácido e com aquecimento (Embrapa, 1997).

A partir destes dados foram calculados: a capacidade de troca de cátions [$CTC_{pH\ 7,0} = S+(Al+H)$]; a atividade da fração argila ($ATA = CTC_{pH\ 7,0} * 1000 / \text{conteúdo de argila g kg}^{-1}$); a saturação por alumínio ($m = Al^{3+} * 100 / S+Al^{3+}$); a porcentagem de sódio trocável ($PST = Na^+ * 100 / CTC_{pH\ 7,0}$) e a saturação por bases ($V = S * 100 / CTC_{pH\ 7,0}$) (Embrapa, 1997).

Os teores de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 e MnO foram determinados pelo ataque sulfúrico na proporção ácido-água de 1:1, segundo procedimentos preconizados em Embrapa (1997). O SiO_2 foi determinado a partir da solubilização do resíduo do ataque sulfúrico e submetido até o início da fervura com solução de $NaOH$ 30 %. A determinação de Si, Fe, Al, Ti e Mn nos extratos foi feita por espectrofotometria de absorção atômica, e a de K por fotometria de chama. Assim, obteve-se índices indicativos do grau de intemperismo do solo por meio das seguintes expressões: $K_i = (1,7 * SiO_2) / Al_2O_3$; $K_r = [(1,70 * SiO_2)] / [Al_2O_3 + (Fe_2O_3 * 0,6375)]$.

Foram também realizadas as dissoluções seletivas com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) de sódio a 80 °C com duas extrações sucessivas, com a finalidade de determinar o teor de ferro presente nas formas pedogênicas dos óxidos. Nesta solução o citrato é o agente complexante, o bicarbonato é tamponante a pH 7,0 e o ditionito é o agente redutor (Mehra & Jackson, 1960; Inda Jr. & Kampf, 2003). O oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ a pH 3,0, em ausência de luz, teve a função de dissolver os minerais e complexar os elementos dos óxidos de baixa cristalinidade (Schwertmann, 1964). A partir destas dissoluções, foram obtidas as relações Fe_o/Fed e Fed/Fes , que podem ser usadas para

relacionar a cristalinidade dos óxidos e o grau de intemperismo dos solos, respectivamente.

4.5 Análises mineralógicas

A composição mineralógica dos solos estudados foi determinada por difratometria de raios X. A fração areia foi separada por peneiramento úmido. A fração argila foi coletada por sifonamento em proveta de 1 L após tempo necessário para a sedimentação do silte, obedecendo a Lei de Stokes. A argila foi floculada com HCl 2 mol L⁻¹ e lavada com solução água-álcool 1:1, posteriormente sendo seca em estufa a 60 °C e moída em almofariz de ágata. O silte foi coletado e seco a 60 °C, após ser submetido à agitação (com tempo de 5 min para a sedimentação do silte) e sucessivas lavagens para a eliminação da argila restante na proveta.

As análises mineralógicas foram realizadas em um equipamento D2 Phaser Bruker, sendo as frações areia e silte irradiadas no intervalo de 4 a 50° 2θ, com velocidade de varredura de 2° 2θ min⁻¹. Para a fração argila a irradiação foi no intervalo 2 a 50° 2θ, com velocidade de 2° 2θ min⁻¹. A identificação dos minerais a partir das reflexões obtidas foi realizada considerando-se as tabelas de identificação de Brindley & Brown (1980). Foi feita uma análise qualitativa da composição mineralógica do solo a partir das feições cristalográficas.

4.6 Classificação taxonômica dos solos

Os resultados obtidos permitiram o enquadramento destes perfis representativos em classes estabelecidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS - Embrapa, 2013) e no “Keys to Soil Taxonomy” (KST - Soil Survey Staff, 2010).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013) ocorre a classificação até o quarto nível categórico, baseado nos processos de formação e nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas do solo. No primeiro nível (ordem), a classificação baseou-se nos horizontes diagnósticos que definem a classe, com a identificação de características que incluem sequência, espessura, cor, granulometria, estrutura, consistência e

transição dos horizontes. A classificação no segundo nível (subordem) foi baseada nas variações importantes que caracterizam a gênese da classe de solo, na identificação de processos pedogenéticos secundários que atuam expressivamente no solo ou na ausência de diferenciação de horizontes diagnósticos. No terceiro nível (grande grupo), os solos foram nomeados a partir do tipo e arranjo dos horizontes e das características químicas relacionadas à fertilidade do solo e ao desenvolvimento das plantas (saturação por bases, atividade da fração argila, saturação por sódio e por alumínio). No quarto nível (subgrupo), a classificação baseou-se em atributos centrais que definem a classe, em atributos intermediários para outras classes de solo ou a partir da não identificação de outras características importantes (Jacomine, 2009).

O “Keys to Soil Taxonomy” (Soil Survey Staff, 2010) permite a classificação taxonômica do solo até o sexto nível categórico (série), pois este foi elaborado a partir do mapeamento e da coleta de informações a campo em um nível de detalhamento maior do que o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Lepsch, 2013). No primeiro nível (“order”), os solos foram classificados com base nos processos de formação e também por meio da definição dos horizontes diagnósticos característicos de cada classe. No segundo nível de classificação (“suborder”), receberam destaque o regime hídrico e a temperatura em determinadas seções do solo, que influenciam a disponibilidade de água para as plantas. No terceiro nível (“great group”), o solo foi classificado a partir de atributos químicos ou da expressão de características morfológicas específicas que afetam o desenvolvimento das plantas ou o movimento de água no solo. No quarto nível (“subgroup”), foram enfatizadas as propriedades subordinadas aos processos dominantes que definem uma mesma classe ou que são intermediárias para outra classe de solo (Soil Survey Staff, 1999).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia e classificação dos solos

As características morfológicas dos quatro perfis (P1, P2, P3 e P4) são apresentadas na Tabela 1 e a descrição morfológica completa dos perfis consta no Apêndice 1. Os perfis foram classificados no SiBCS (Embrapa, 2013) a partir das características morfológicas, físicas e químicas.

O primeiro perfil (P1-Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico), localizado na posição de terço superior da paisagem, em declive ondulado (13-15% de declividade), apresenta sequência de horizontes A, AB, Bt1, Bt2 e Bt3 (Figura 6). A transição é gradual (alteração das características morfológicas em distância entre 7,5-12,5 cm, no perfil do solo) e plana entre os horizontes A, AB e Bt1; clara (2,5-7,5 cm) e plana de Bt1 para Bt2. Como característica marcante desse perfil, observa-se o incremento de argila do horizonte A para Bt. Neste perfil, predominam as cores vermelho-amareladas, caracterizadas pelos matizes 5YR e 7,5YR. De acordo com Kampf & Schwertmann (1983), as cores vermelhas e amarelas indicam a presença de óxidos de ferro, como hematita (Fe_2O_3) e goethita ($FeOOH$), em solos bem drenados. No entanto, a hematita apresenta-se em maior quantidade em ambientes secos e com altas temperaturas, enquanto a goethita predomina em ambientes mais úmidos e com menores temperaturas. A concentração destes minerais é maior em solos com alto teor de ferro no material de origem e também constituem bons indicadores da intensidade de intemperismo do solo (Inda Jr. & Kampf, 2003). No horizonte Bt2, observa-se a presença de cerosidade comum e moderada, podendo ser indicativo da ação da água no transporte vertical da argila dos horizontes mais superficiais, e posterior acúmulo no horizonte B. A cor 5YR 4/6, caracterizada pelo croma maior que 4 na maior parte do horizonte Bt, caracteriza-o no nível de subordem como sendo um Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013).

O segundo perfil (P2-Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico), localizado no terço médio da paisagem, em declive com transição de relevo ondulado a forte ondulado (18-20% de declividade), apresenta sequência de horizontes A, A/B, B incipiente (com espessura de 25 cm), Cr1, Cr2 e Cr3 (Figura 7). A transição entre os horizontes é clara; sendo irregular e ondulada, de A para A/B e de A/B para Bi, respectivamente. O solum é menos espesso em relação ao perfil P1, havendo contato com Cr a 80 cm. A menor espessura deste horizonte pode estar relacionada com a alta declividade do relevo, que diminui a infiltração da água e, portanto, reduz a intensidade do intemperismo químico (Kampf et al., 2009). O horizonte Cr3 parece se prolongar até mais de 160 cm, mostrando uma grande espessura de material de intemperismo intermediário. Diferentemente de P1, o Perfil 2 mostra pequena variação textural entre os horizontes A e B. Quanto à cor, no horizonte A observa-se a cor mais brunada (10YR 3/4). Em A/B as cores brunada (10YR 3/6) e avermelhada (2,5YR 4/8) representam a parte superficial de A e a subsuperficial de Bi. No horizonte Bi, a cor mais avermelhada (2,5 YR 4/8) e variegada (7,5YR 4/6), em condição de boa drenagem, indica uma matriz argilosa intemperizada, misturada com minerais em diferentes estágios de alteração (Schneider et al., 2007b).

O terceiro perfil (P3-Planossolo Háplico Distrófico gleissólico), localizado no sopé da paisagem, em relevo plano (0-2% de declividade), apresenta sequência de horizontes A, E, EB, Btg1 e Btg2 (Figura 8). A transição entre horizontes é clara e ondulada de A para E; gradual e plana/ondulada de E para EB; clara e plana de EB para Btg1. Este perfil mostra variação textural do horizonte E, predominantemente arenoso e de coloração clara (10YR 4/4) para o horizonte Btg, mais argiloso e de coloração acinzentada (10YR 6/1). Além da matriz acinzentada, o perfil apresenta mosqueados amarelos em Btg2 (10YR 5/8). Estas características foram encontradas por Klamt et al. (1985), identificando solos de várzea do Estado do RS, que consideraram como característica marcante na classe dos Planossolos a presença de horizonte E, com cores mais claras e arenoso, situado acima do horizonte subjacente Btg, acinzentado e argiloso, condição que implica na elevação do lençol freático em períodos mais chuvosos.

O quarto perfil (P4-Gleissolo Melânico Tb Eutrófico típico), situado na várzea da paisagem, com declive plano a suave ondulado (2-3% de declividade), apresenta sequência de horizontes A, AC, Cg1 e Cg2 (Figura 9). A transição entre A, AC e Cg1 é clara e plana, não sendo observada variação granulométrica significativa entre os horizontes. Quanto à cor, o escurecimento dos horizontes A e AC (valor igual a 3) expressa maior contribuição da matéria orgânica, uma tendência também observada nos horizontes superficiais dos demais perfis estudados. No Perfil 4, também se destaca a ocorrência de cores gleizadas, principal característica de um ambiente muito mal drenado. De acordo com Ponnampertuma (1972), para que ocorra a redução no solo é necessária, além de um ambiente com pouco oxigênio, a presença de matéria orgânica disponível para a atividade anaeróbica bacteriana. Assim, a observação de cromas iguais ou menores que 2 nesse perfil sugere um ambiente intensamente reduzido.

Os horizontes superficiais dos perfis P1, P2, P3 apresentam estrutura fraca ou moderada, pequena a média, granular, enquanto o Perfil 4 apresenta forma grumosa relacionada com a atividade biológica, e presença abundante de matéria orgânica e raízes. No horizonte Bt2 do Perfil 1, a presença de cerosidade revestindo a superfície dos agregados e a estrutura em blocos pode estar relacionada à ilúviação das argilas (Costa & Libardi, 1999). Nos horizontes pedogenéticos do Perfil 2, foi observada a estrutura moderada, pequena a grande (aumentando a classe em profundidade), granular e em blocos subangulares. No Perfil 3, a estrutura é pequena a grande, moderada, granular e em blocos subangulares. No Perfil 4, a estrutura do horizonte AC é fraca, média, granular e em blocos subangulares. A observação da estrutura maciça nos horizontes mais profundos dos perfis P2 (Cr), P3 (Btg1) e P4 (Cg1) evidencia a pouca alteração pedogenética.

Quanto à consistência molhada do solo, os solos apresentaram relação da plasticidade e da pegajosidade de acordo com a classe textural, notando-se maior plasticidade e pegajosidade nos horizontes subsuperficiais mais argilosos, e o contrário sendo observado nos horizontes superficiais mais arenosos.

Tabela 1. Características morfológicas dos solos.

Hor ⁽¹⁾	Prof ⁽²⁾	Cor úmida		Transição	Estrutura ⁽⁴⁾	Consistência molhada ⁽⁵⁾	Classe textural
		Matriz	Mosq ⁽³⁾				
P1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico							
A	0-15	7,5YR 4/3	-	gradual e plana	fr/mo, pq/me, gra	lg.pla. e lg.peg.	franco-arenosa
AB	15-46	7,5YR 3/3	-	gradual e plana	mo, pq/me, bsa	lg.pla e peg.	franco-argilo-arenosa
Bt1	46-68	7,5YR 4/6	-	clara e plana	mo, me/gr, gra	pla. e peg.	franco-argilosa
Bt2	68-102	5YR 4/6	-	-	mo, me/gr, bsa	pla. e peg.	franco-argilosa
Bt3*	102-135+	5YR 4/6	10 YR 5/6	-	-	-	franco-argilosa/argila
P2 – Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico							
A	0-25/30	10YR 3/4	-	clara e irregular	mo, pq, gra	lg.pla. e lg.peg.	franco-argilo-arenosa
A/B	25/30-55/60	10YR 3/6	2,5YR 4/8	clara e ondulada	mo, pq/me, bsa	lg.pla. e peg.	franco-argilosa
Bi	55/60-80/85	2,5YR 4/8	va 7,5YR 4/6	gradual e ondulada	mo, me/gr, bsa	lg.pla. e peg.	franco-argilosa
Cr1	80/85-120	5YR 5/8	10YR 6/8 e 10YR 5/8	-	maciça	lg.pla. e lg.peg.	franco-argilo-arenosa
Cr2*	120-140	5YR 4/6	2,5Y 8/1	-	-	-	franco-argilo-arenosa
Cr3*	140-160+	7,5YR 8/4	-	-	-	-	franco-argilo-arenosa

(1) Hor: horizonte. (2) Prof: profundidade. (3) Mosq: mosqueado; va: variegado. (4) fr: fraca; mo: moderada; fo: forte; pq: pequena; me: média; gr: grande; bsa: blocos subangulares; gra: granular; gru: grumosa. (5) n: não; lg: ligeiramente; mt: muito; pla: plástica; peg: pegajosa. *Horizonte coletado por tradagem.

Tabela 1. Continuação.

Hor ⁽¹⁾	Prof ⁽²⁾	Cor úmida		Transição	Estrutura ⁽⁴⁾	Consistência molhada ⁽⁵⁾	Classe textural
		Matriz	Mosq ⁽³⁾				
P3 – Planossolo Háplico Distrófico gleissólico							
A	0-20/27	10YR 3/3	-	clara e ondulada	mo, pq/me, gra e bsa	n.pla. e lg.peg.	areia franca
E	20/27-60/62	10YR 4/4	-	gradual e plana/ondulada	mo, pq, gra e bsa	n.pla. e lg.peg.	areia
EB	60/62-105	7,5YR 4/3	-	clara e plana	mo, me/gr, bsa	lg.pla. e lg.peg.	franco-arenosa
Btg1	105-120	10YR 4/3	-	-	maciça	pla. e peg.	franco-argilo-arenosa
Btg2*	120-150+	10YR 6/1	10YR 5/8	-	-	mt.pla. e peg.	argila
P4 – Gleissolo Melânico Tb Eutrófico típico							
A	0-15	7,5YR 3/2	-	clara e plana	mo, me, gru	n.pla. e lg.peg.	franco-argilo-arenosa
AC	15-40	10YR 3/2	5YR 4/6	clara e plana	fr, me, bsa e gra	lg.pla. e lg.peg.	franco-argilo-arenosa
Cg1	40-60	10YR 3/1	-	-	maciça	lg.pla. e lg.peg.	franco-argilo-arenosa
Cg2*	60-90+	10YR 4/2	10YR 5/6	-	-	mt.pla. e peg.	franco-argilosa

(1) Hor: horizonte. (2) Prof: profundidade. (3) Mosq: mosqueado; va: variegado. (4) fr: fraca; mo: moderada; fo: forte; pq: pequena; me: média; gr: grande; bsa: blocos subangulares; gra: granular; gru: grumosa. (5) n: não; lg: ligeiramente; mt: muito; pla: plástica; peg: pegajosa. *Horizonte coletado por tradagem.

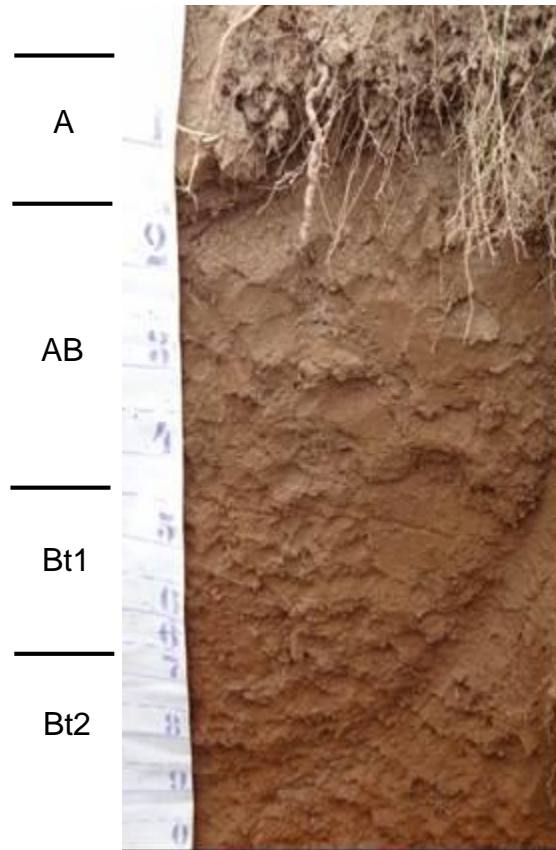


Figura 6. Perfil do Argissolo (P1), mostrando a sequência de horizontes A, AB, Bt1 e Bt2.

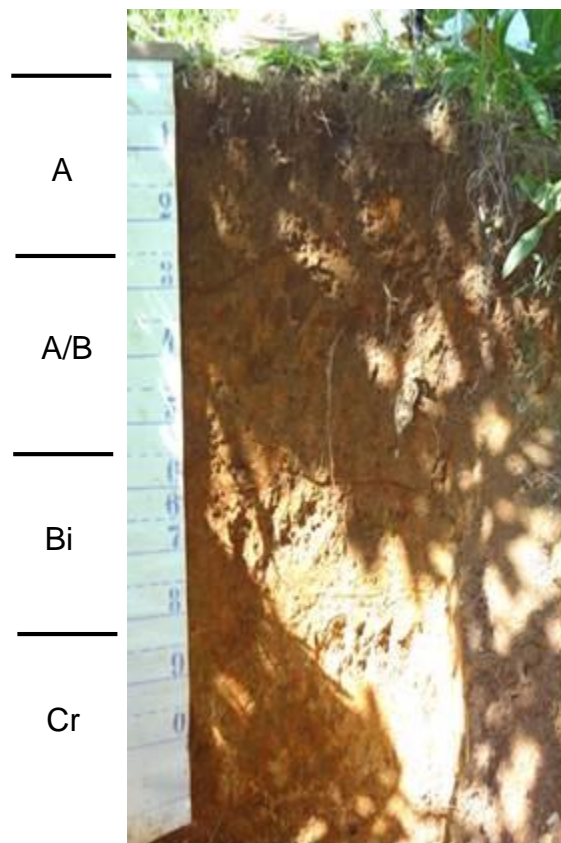


Figura 7. Perfil do Cambissolo (P2), mostrando a sequência de horizontes A, A/B, Bi e Cr.



Figura 8. Perfil do Planossolo (P3), mostrando a seqüência de horizontes A, E, EB e Btg.

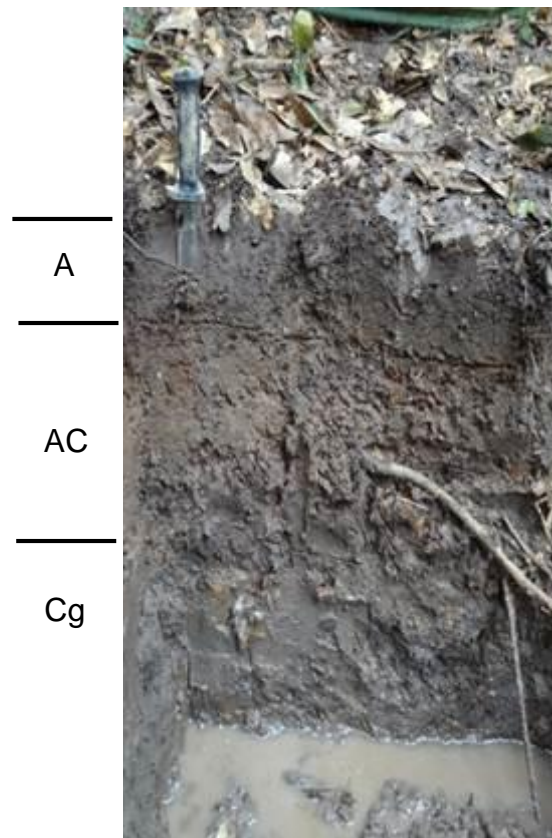


Figura 9. Perfil do Gleissolo (P4), mostrando a seqüência de horizontes A, AC e Cg.

5.2 Características físicas dos solos

A análise granulométrica dos perfis (Tabela 2) mostra um expressivo gradiente textural em P1 e P3, conforme foi percebido durante a descrição morfológica de campo.

O Perfil 1 mostra aumento significativo de argila do horizonte A (franco-arenoso) para o Bt (franco-argiloso a argila). A divisão da média aritmética de argila total do horizonte B ($Bt_1+Bt_2+Bt_3$) pela média de argila total de A ($A+AB$) foi de 1,88, suficiente para o enquadrar como horizonte B textural, característico da classe dos Argissolos. A presença de gradiente textural no solo propicia o acúmulo de água sobre o horizonte mais argiloso, podendo ocasionar armazenamento de água nos períodos de chuva prolongada. Contudo, solos com gradiente textural, localizados em áreas de declividade acentuada (maior que 8%), têm seu potencial de uso limitado devido ao alto risco de erosão. Assim, a recomendação para o uso deste tipo de solo nessas áreas é a manutenção da cobertura vegetal e o menor revolvimento do solo (Schneider et al., 2007a).

No Perfil 3, destacam-se os horizontes A, E e EB com altos teores de areia, entre 740 g kg^{-1} e 660 g kg^{-1} , caracterizando a classe textural areia franca a franco-arenosa. Também é observado o contraste no teor de argila em pequena distância ($< 7,5 \text{ cm}$), do horizonte transicional EB (110 g kg^{-1}) para o subjacente Btg1 (230 g kg^{-1}), com relação do cálculo de argila total do horizonte Btg1 pelo EB de 2,1. A mudança textural abrupta entre o horizonte transicional EB e o primeiro sub-horizonte de B (Btg1), associado ao matiz 10YR e croma igual ou menor que 3 no horizonte B, caracterizam-no como horizonte B plânico, diagnóstico da classe dos Planossolos (Embrapa, 2013).

Diferentemente de P1 e P3, os perfis P2 e P4 apresentam pequena variação textural entre horizontes. Entretanto, no Perfil 2 se destaca a textura mais argilosa em relação aos demais perfis da paisagem, não descartando a possibilidade de mudança no substrato geológico local, pois, conforme Teramoto et al. (2001), diferenças acentuadas na textura do solo em uma transeção topográfica podem indicar a variação do material de origem. O teor de argila total desse perfil fica entre 410 e 510 g kg^{-1} nos horizontes Cr, e 570 g kg^{-1} , no horizonte Bi.

Quanto à quantidade de cascalho (Tabela 2) os perfis P1, P3 e P4 não apresentam conteúdo de cascalho superior a 5%. Já o Perfil 2 apresenta quantidade de cascalho superior, compondo a granulometria mais argilosa, com textura cascalhenta (17%) no horizonte Bi. Características texturais semelhantes foram observadas por Bastos & Dias (1995) em áreas de menor declividade, na encosta inferior dos morros de Porto Alegre. Estes autores observaram que solos formados a partir de depósitos coluvionares do Alterito Serra de Tapes têm como característica principal a presença de grãos grosseiros discordantes com a matriz mais argilosa no horizonte C.

A relação silte/argila (Tabela 2), usada para avaliar o grau de intemperismo do solo, foi menor nos perfis P1 e P2, com relação inferior a 0,6 nos horizontes Bt e Bi, o que indica maior grau de intemperismo em solos sujeitos a boa drenagem. Os perfis P3 e P4, com relação superior a 1,0 têm um grau de intemperismo inferior relacionado a menor drenagem destes nas cotas mais baixas da paisagem.

A compactação do solo causa redução no crescimento radicular das plantas, na aeração do solo e na permeabilidade da água, dificultando também a absorção de nutrientes. Conforme Reichert et al. (2003), a densidade crítica para solos de textura média (20 a 55% de argila) é de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto em solos arenosos (menos que 20% de argila) é de $1,70 \text{ g cm}^{-3}$. Embora os valores de densidade do solo dos perfis P1, P2 e P3 estejam abaixo da faixa limitante, estes encontram-se próximo do nível crítico, entre $1,56$ e $1,31 \text{ g cm}^{-3}$, influenciando moderadamente a penetração das raízes e a aeração do solo. No Perfil 4, a baixa densidade do solo (entre $1,01$ e $0,93 \text{ g cm}^{-3}$) é resultado do maior conteúdo de matéria orgânica, o que também ocasionou a diminuição da densidade de partículas. Os valores de densidade de partículas dos perfis estão entre $2,3$ e $2,5 \text{ g cm}^{-3}$, tendendo a ser um pouco menores nos horizontes superficiais mais arenosos em comparação aos subsuperficiais mais argilosos, o que pode estar relacionado ao maior conteúdo de quartzo em superfície, pois este tem densidade de partícula inferior aos óxidos presentes na fração argila (Giarola et al., 2002). A redução da macroporosidade e consequente aumento da microporosidade em profundidade está relacionada à diminuição da estrutura granular e aumento da estrutura em blocos nos horizontes subsuperficiais (Ferreira et al., 1999).

Tabela 2. Atributos físicos dos solos.

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹ -----g kg ⁻¹ -----	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %	Silte/Argila	VU ⁵	Densidade		Porosidade		
											Part. ----g cm ⁻³ ----	Solo cm ³ cm ⁻³	Total cm ³ cm ⁻³	Macro ⁶ ----cm ³ cm ⁻³ ----	Micro ⁷ ----cm ³ cm ⁻³ ----
P1 – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico															
A	0-15	5	680	396	284	150	170	29	0,88	-0,41	2,55	1,31	0,48	0,25	0,23
AB	15-46	4	500	251	249	220	280	11	0,79	0,04	-	-	-	-	-
Bt1	46-68	4	410	214	196	190	400	16	0,48	-0,06	2,56	1,50	0,41	0,10	0,31
Bt2	68-102	3	340	181	159	190	470	21	0,40	0,22	-	-	-	-	-
Bt3	102-135+	3	420	232	188	180	400	100	0,45	-	-	-	-	-	-
P2 – Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico															
A	0-25/30	11	390	213	177	200	410	13	0,49	-0,03	2,52	1,47	0,42	0,13	0,29
A/B	25/30-55/60	12	280	166	114	190	530	82	0,36	0,33	-	-	-	-	-
Bi	55/60-80/85	17	250	181	69	180	570	97	0,32	0,51	2,58	1,45	0,44	0,04	0,40
Cr1	80/85-120	8	380	288	92	170	450	100	0,38	-0,08	-	-	-	-	-
Cr2	120-140	8	320	246	74	170	510	94	0,33	0,14	-	-	-	-	-
Cr3	140-160+	6	430	315	115	160	410	100	0,39	-	-	-	-	-	-

¹Areia total; ²Areia grossa; ³Areia fina; ⁴Grau de floculação: $([Argila-Argila \text{ dispersa em água}/Argila]*100)$; ⁵Valor de uniformidade: $\{[(Silte+AF)/(AT-AF)]_{HORIZONTE \text{ SUPERFICIAL}} / [(Silte+AF)/(AT-AF)]_{HORIZONTE \text{ SUBJACENTE}} - 1,0\}$; ⁶Macroporosidade do solo; ⁷Microporosidade do solo.

Tabela 2. Continuação.

Hor.	Prof. cm	Cascalho %	AT ¹ -----g kg ⁻¹ -----	AG ²	AF ³	Silte	Argila	GF ⁴ %	Silte/Argila	VU ⁵	Densidade		Porosidade		
											Part. ----g cm ⁻³ ----	Solo -----	Total cm ³ cm ⁻³	Macro ⁶ ----cm ³ cm ⁻³ ----	Micro ⁷ -----
P3 – Planossolo Háptico Distrófico gleissólico															
A	0-20/27	1	740	478	262	160	100	30	1,60	-0,32	2,54	1,54	0,39	0,17	0,22
E	20/27-60/62	2	730	397	333	180	90	28	2,00	0,24	-	-	-	-	-
EB	60/62-105	1	660	431	229	230	110	14	2,09	-0,56	2,47	1,56	0,33	0,08	0,25
Btg1	105-120	1	410	232	178	360	230	9	1,57	0,23	-	-	-	-	-
Btg2	120-150+	1	470	270	200	320	210	5	1,52	-	-	-	-	-	-
P4 – Gleissolo Melânico Tb Eutrófico típico															
A	0-15	2	520	288	232	270	210	26	1,29	0,09	2,35	0,93	0,60	0,14	0,46
AC	15-40	5	530	307	223	270	200	33	1,35	0,26	-	-	-	-	-
Cg1	40-60	4	620	356	264	190	190	26	1,00	-0,35	2,47	1,01	0,59	0,12	0,47
Cg2	60-90+	4	430	240	190	280	290	3	0,97	-	-	-	-	-	-

¹Areia total; ²Areia grossa; ³Areia fina; ⁴Grau de flocação: $([Argila-Argila\ dispersa\ em\ água/Argila]*100)$; ⁵Valor de uniformidade: $\{[(Silte+AF)/(AT-AF)]_{HORIZONTE\ SUPERFICIAL} / [(Silte+AF)/(AT-AF)]_{HORIZONTE\ SUBJACENTE} - 1,0\}$; ⁶Macroporosidade do solo; ⁷Microporosidade do solo.

De acordo com Bortoluzzi et al. (2008) tanto a relação areia fina/areia total (Figura 10) como o valor de uniformidade (Tabela 2) podem ser usados para identificar a presença de descontinuidade litológica no perfil. Uma expressiva variação da relação areia fina/areia total conjugada com valor de uniformidade maior que 0,60 dentro da seção vertical de um perfil, caracterizam horizontes formados a partir de diferente material de origem. Este critério é importante, por exemplo, para a identificação do horizonte B textural, pois não admite-se que este seja formado exclusivamente por descontinuidade litológica (Embrapa, 2013).

Em P1, ocorre o aumento da areia fina do horizonte A para AB, e consequente diminuição na transição para o horizonte Bt, mais argiloso e com menor tamanho de poro. A variação da relação areia fina/areia total deste perfil foi de 0,08, a qual combinada com o VU entre -0,41 e 0,22, indicam que este perfil foi formado a partir de um mesmo material de origem. O Perfil 2 apresentou uma maior variação da relação areia fina/areia total do horizonte A/B (0,41) para Bi (0,28), porém concomitante com o VU entre -0,08 e 0,51, afastando a possibilidade de ocorrência de descontinuidade litológica no perfil. Em P3 e P4, a relação areia fina/areia total com amplitude não superior a 0,1 e o VU inferior a 0,60 em todos os horizontes também indicam que não houve mudança de material de origem nestes perfis.

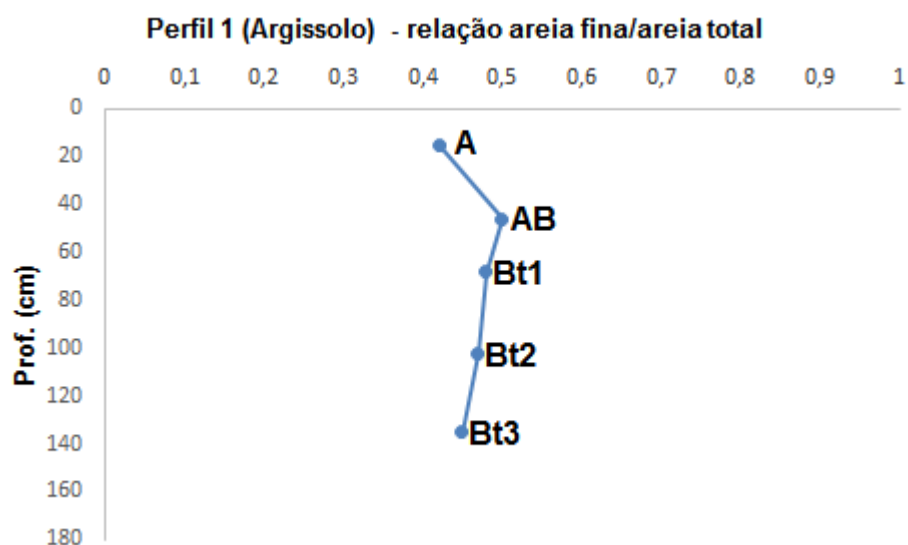


Figura 10. Relação areia fina/areia total dos perfis P1 (Argissolo), P2 (Cambissolo), P3 (Planossolo) e P4 (Gleissolo).

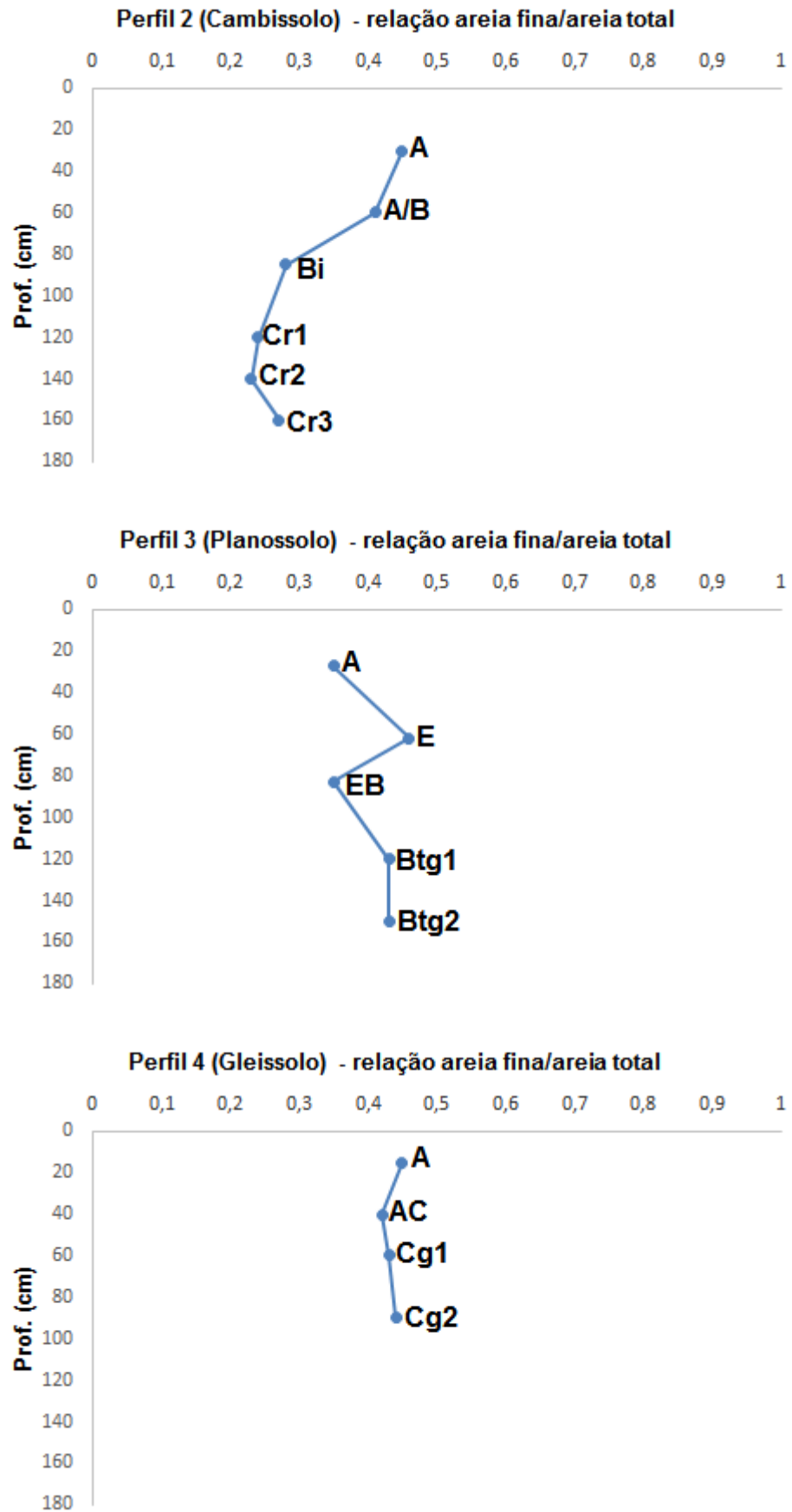


Figura 10. Continuação.

Quanto ao grau de flocculação da argila, observa-se na Figura 11 que, em geral, os perfis apresentaram baixo grau de flocculação e conseqüentemente altos valores de argila dispersa em água (argila natural) nos horizontes superficiais. O Perfil 1 apresenta alto teor de argila dispersa em água nos horizontes A e AB. Para Santos et al. (2010), o baixo grau de flocculação nos horizontes superficiais favorece a transferência de argila pelo transporte vertical da água, acentuando a formação do horizonte Bt em Argissolos. O alto grau de flocculação no Perfil 2 pode indicar uma maior presença de cátions polivalentes com potencial de flocculação (Al^{3+} e Ca^{2+}) ou que o pH do solo está próximo do ponto de carga zero, ocorrendo, neste caso, a máxima atração das partículas devido às quantidades iguais de cargas positivas e negativas do solo (Fontes et al., 2001).

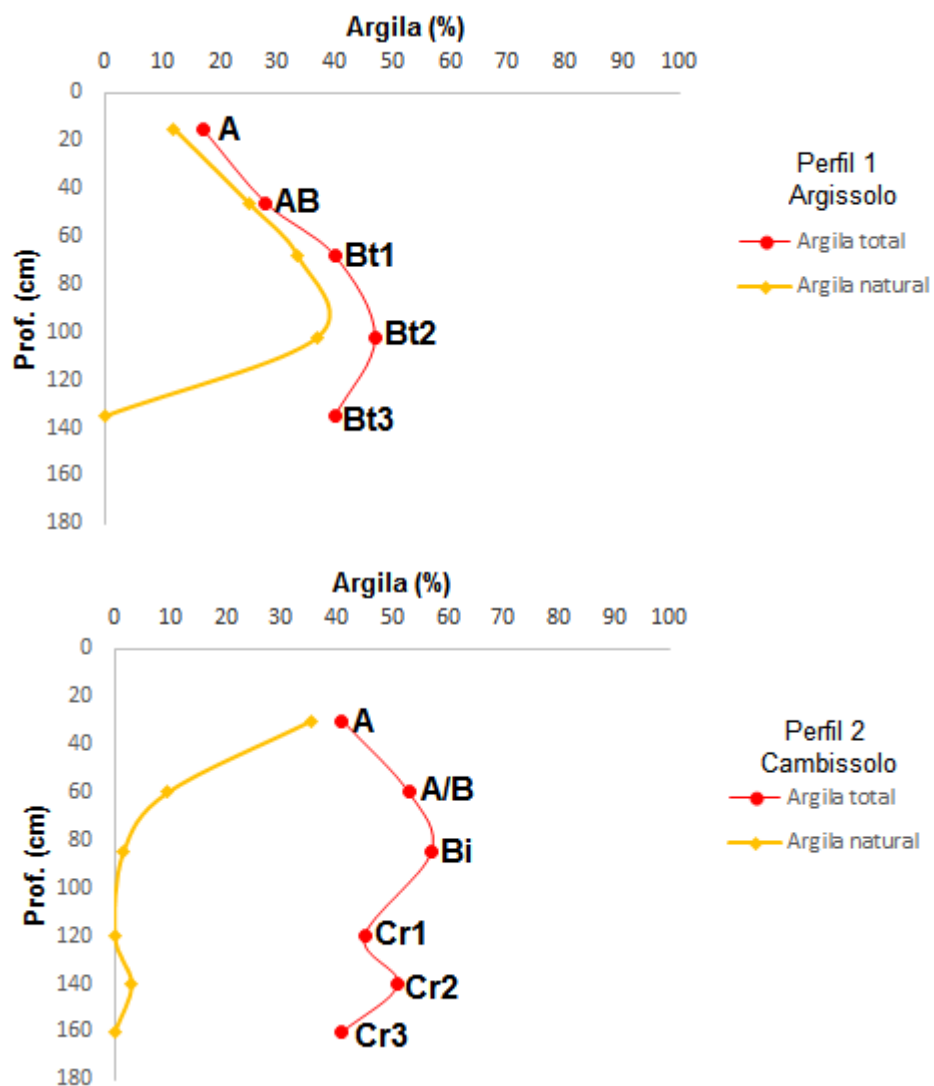


Figura 11. Valores de argila natural (ADA) e argila total do solo.

Os baixos graus de flocculação da argila nos perfis P3 e P4 estão relacionados ao ambiente de formação destes solos, uma vez que os processos de oxirredução frequentes causam a redução para Fe^{2+} , o que permite a dissociação das argilas silicatadas e a desestabilização dos agregados (Lepsch et al., 1977).

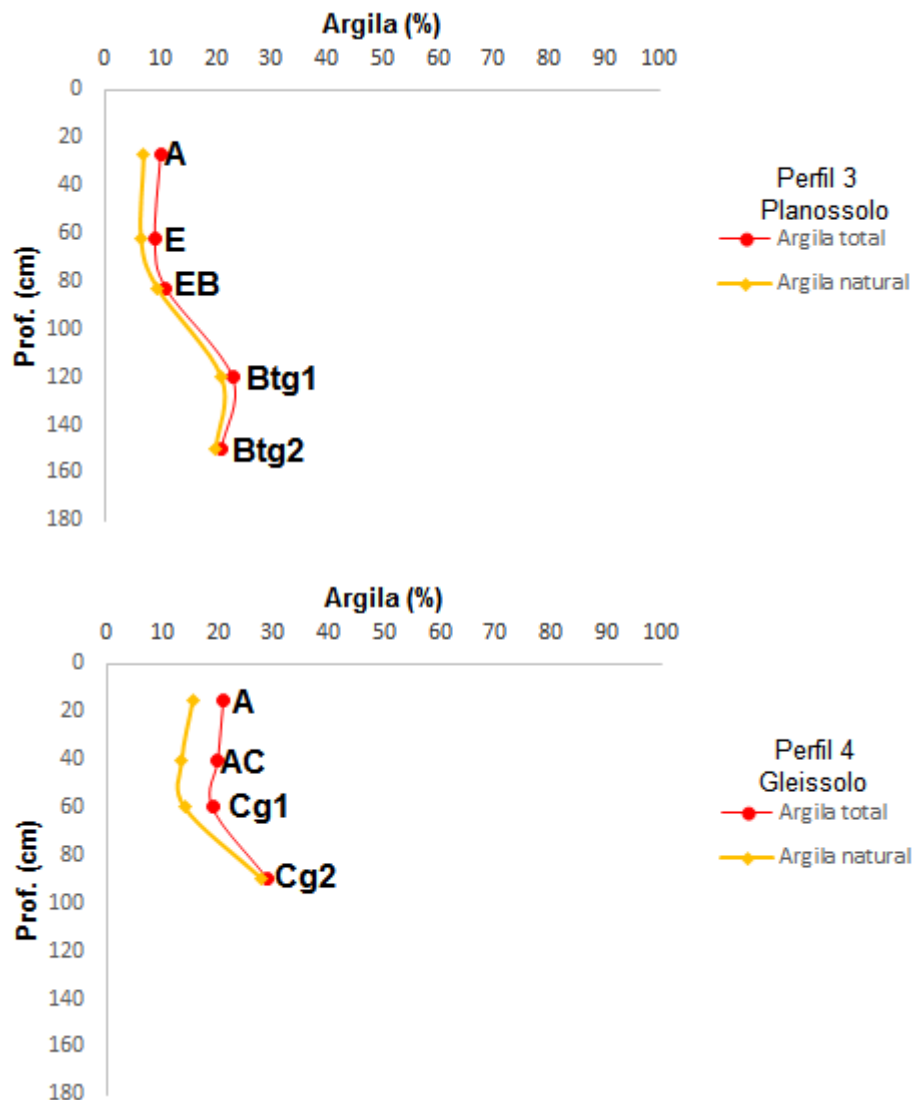


Figura 11. Continuação.

Na Figura 12, observa-se que os resultados da relação argila fina/argila total do Perfil 1 cresceram do horizonte A para Bt1, estabilizando no horizonte Bt2 e diminuindo em Bt3. Este padrão, citado por Almeida (1992), caracteriza o movimento descendente das partículas mais finas da argila ($< 0,2 \mu m$) pelo transporte da água, das porções mais superficiais do solo com posterior

acumulação e entupimento dos poros no horizonte subsuperficial (iluvial). Desta forma, a combinação do alto conteúdo de argila dispersa em água nos horizontes superficiais com o aumento expressivo da argila fina em profundidade sustenta que a origem do horizonte B textural do Perfil 1 está associada ao desenvolvimento do processo pedogenético da lessivagem. Em P3, não se verifica o aumento expressivo da argila fina em profundidade, indicando menor influência da lessivagem na formação do horizonte B plânico. Similarmente a P3, nos perfis P2 e P4 o aumento da argila fina em profundidade não é acentuado, portanto, indicando pouca ação da lessivagem no incremento de argila dos horizontes subsuperficiais.

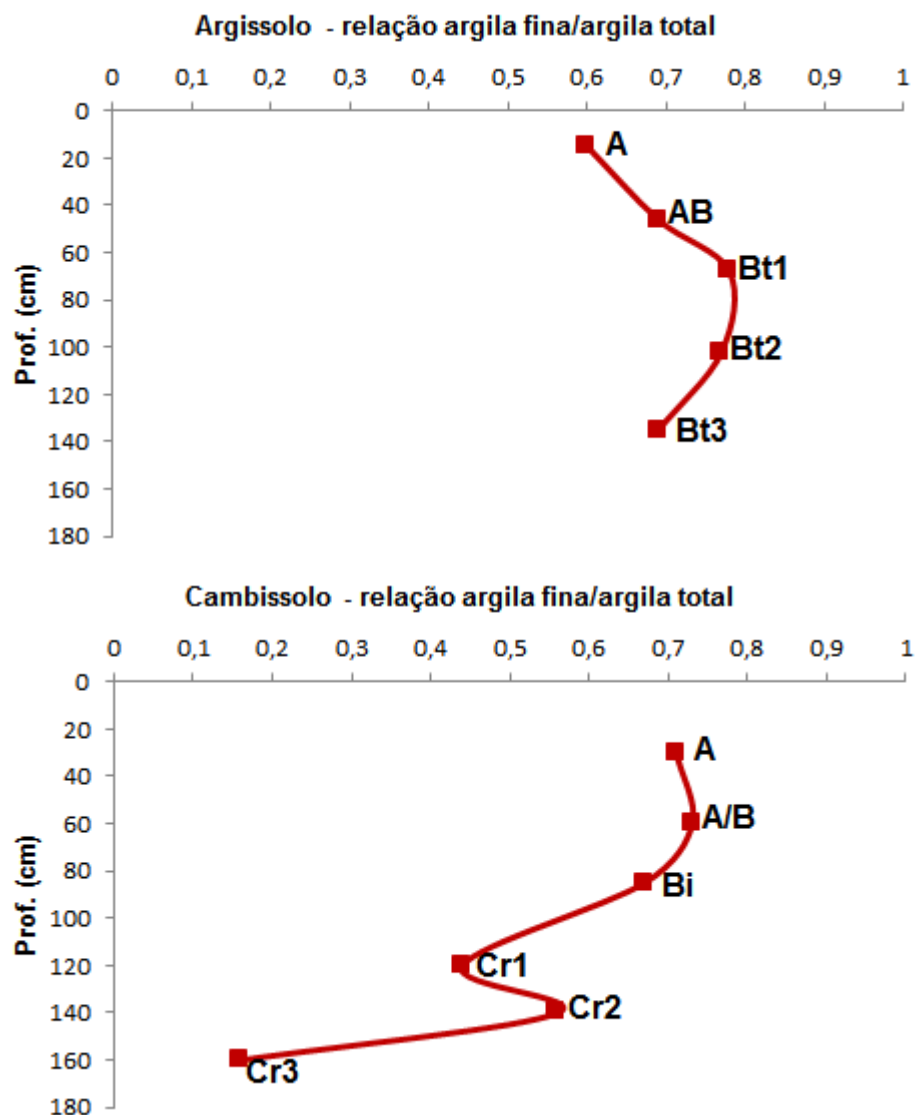


Figura 12. Relação argila fina/argila total dos perfis P1 (Argissolo), P2 (Cambissolo), P3 (Planossolo) e P4 (Gleissolo).

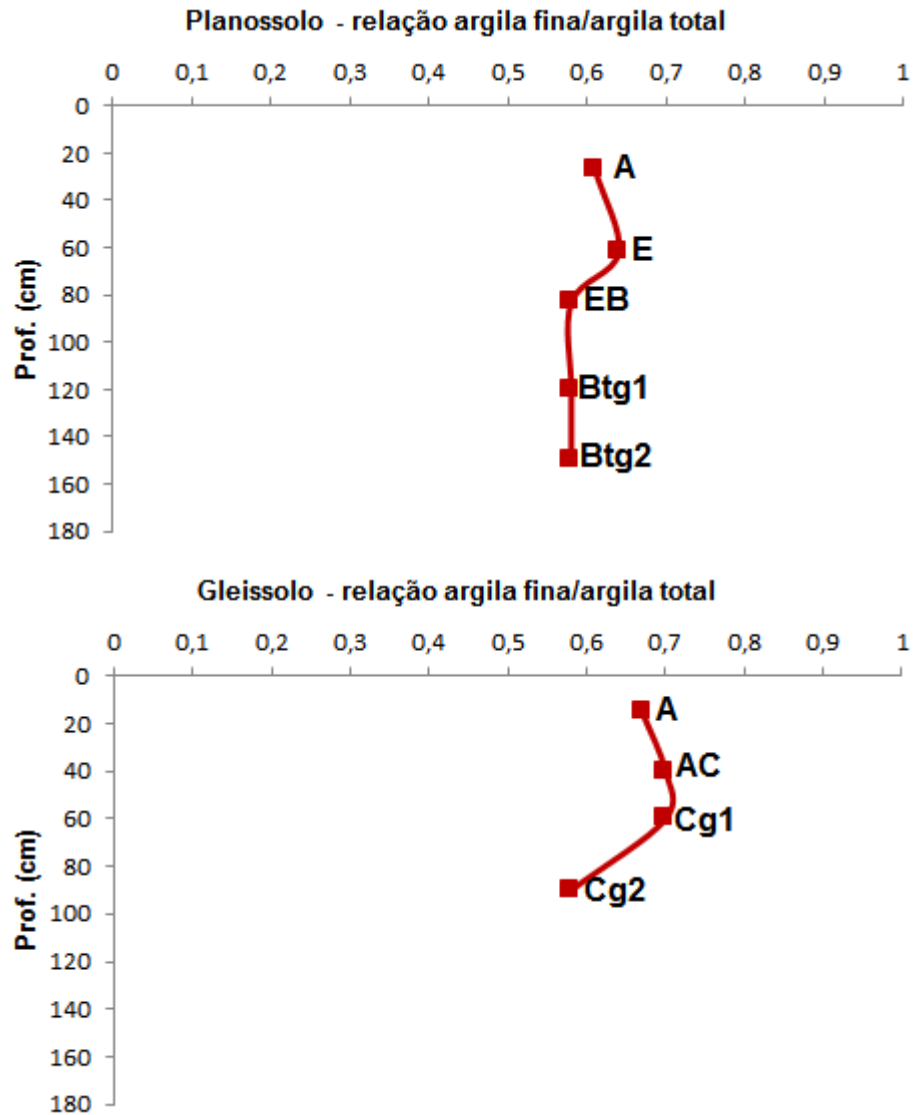


Figura 12. Continuação.

5.3 Características químicas dos solos

As características químicas dos perfis estudados são apresentadas na Tabela 3. Os resultados de atividade da fração argila, carbono orgânico, porcentagem de saturação por alumínio, porcentagem de sódio trocável, saturação por bases e condutividade elétrica, são interpretados com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). O pH do solo, os teores de enxofre e fósforo disponível, os elementos do complexo sortivo (incluindo a CTC do solo), são interpretados com base no Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS,

2004). Os perfis apresentam níveis de pH em água baixo a muito baixo, com valores menores que 5,4. Os valores de pH em KCl são menores que 5,0 em todos os perfis, e conjugados com o ΔpH ($\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$) negativo, indicam a inexistência de caráter ácrico e, portanto, o predomínio de cargas negativas em todos os perfis.

De acordo com Sparks (2003), o alumínio em pH acima de 5,5 encontra-se precipitado no solo em formas pouco solúveis. Nos perfis estudados, os teores de alumínio trocável variam de 0,1 a 3,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, verificando-se a relação inversa do teor de alumínio trocável em relação ao pH do solo. No Perfil 2 são encontrados os maiores valores de alumínio trocável, chegando a 3,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte Cr2. Os menores teores de alumínio trocável são observados nos horizontes A e Cg2 do Perfil 4, com valor igual a 0,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Estes resultados concordam com Carballo (2004), que observou menores teores de alumínio trocável em solos com maiores valores de pH. Apesar de alguns horizontes apresentarem saturação por alumínio superior a 50%, os teores de alumínio trocável nos horizontes B ou C dos perfis estudados não foram iguais ou maiores que 4 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, portanto, não apresentando caráter alítico ou aluminico.

O Perfil 1 apresenta CTC do solo média a baixa, com valores entre 6,82 e 4,78. Os teores de Ca trocável são baixos em todos os horizontes. A baixa atividade da fração argila e os valores de saturação por bases menores que 50% caracterizam este perfil pelo seu caráter distrófico no terceiro nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

O Perfil 2 apresenta na maior parte dos horizontes CTC média, com maiores valores nos horizontes A e A/B. O alumínio trocável ocupa boa parte da CTC, o que contribui para a alta flocculação das argilas neste perfil. Os teores de cálcio e magnésio trocável são superiores aos observados no Perfil 1, e a saturação por bases é maior que 40% nos horizontes A e B. O horizonte Bi caracterizou-se pelo caráter distrófico, com saturação por bases de 41%. O baixo pH concomitante com baixos valores de CTC, a baixa atividade da fração argila e o caráter distrófico ocorrendo nos perfis P1 e P2 indicam para uma condição de intemperismo moderado a avançado, com ambiente lixiviante que promove a perda de cátions do solo. No entanto, os maiores valores de CTC e de saturação por bases do Perfil 2, em relação ao Perfil 1, podem estar relacionados ao menor

grau de intemperismo nesta posição da paisagem. Estes resultados foram encontrados por Campos et al. (2009), onde os solos mais intemperizados e pobres quimicamente ocupavam superfícies mais aplainadas e de topo, enquanto solos menos intemperizados e mais férteis ocupavam posições mais baixas ou inclinadas da paisagem.

No Perfil 3, o pH em água mostra acentuada acidez (pH igual a 4,5) nos horizontes E e EB, e a CTC é menor do que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, com baixos valores para Ca^{2+} e Mg^{2+} . De acordo com Brinkman (1970), horizontes ferrolisados são caracterizados pelo baixo pH, baixo conteúdo de argila e baixa CTC. Em razão do alto conteúdo de areia, que é composta comumente por quartzo (SiO_2), este perfil apresentou a menor CTC dos perfis estudados. O horizonte Btg2 apresentou saturação por bases de 66% indicando ser um horizonte menos intemperizado, provavelmente causado pelo aumento de argila em pequena distância que dificulta a infiltração de água em profundidade e, portanto, diminuindo a lixiviação dos cátions básicos. Apesar de apresentar caráter eutrófico no horizonte Btg2, foi classificado como distrófico no terceiro nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, por apresentar saturação por bases baixa ($V < 50\%$) na maior parte do horizonte B, dentro de 120 cm da superfície do solo.

Estes resultados ratificam os obtidos por Mafra et al. (2001), observando que a ferrólise manifesta-se em condições extremamente ácidas (pH 3,0 e 4,0), tendo como produto horizontes arenosos. Barbiero et al. (2010) monitoraram mudanças no pH e na condutividade elétrica do solo em diferentes épocas do ano para explicar a ocorrência da ferrólise. Durante a estação chuvosa, observaram um decréscimo no potencial redox e aumento no pH devido às reações de redução que consomem íons H^+ . Ao mesmo tempo, o Fe^{2+} em excesso deslocou as bases para a solução do solo, comprovado pelo aumento na condutividade elétrica. No final da estação chuvosa ocorreu o máximo intemperismo, representado pela diminuição do pH, onde as reações de oxidação no solo produzem prótons H^+ que penetram na estrutura octaedral dos argilominerais, desestabilizando-os.

No perfil P4, observa-se a maior fertilidade natural entre os perfis, com CTC de $11,75 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte A, sendo atribuída ao maior conteúdo de matéria orgânica (Carvalho et al., 2013). A alta saturação por bases nos

horizontes A e Cg2 do Perfil 4 parece indicar a interferência do relevo no comportamento de atributos químicos do solo, havendo o transporte de cátions solúveis pelo fluxo da água das posições superiores e deposição na posição baixa e estável da paisagem (Montanari et al., 2010). A alta atividade da argila na maior parte do perfil indica um grau de intemperismo menos avançado e também a menor intensidade de lixiviação, comum nesta posição do relevo. A saturação por bases de 77%, na maior parte do horizonte C do Perfil 4, permitiu enquadrá-lo como eutrófico no terceiro nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. O maior teor de matéria orgânica nos horizontes A e AC deste perfil favorece a atividade das bactérias anaeróbicas em um ambiente muito mal drenado, intensificando a redução de compostos oxidados do solo.

Os altos teores de potássio trocável verificados em todos os perfis podem ser atribuídos à contribuição de minerais primários como os feldspatos potássicos e as micas, presentes em grande quantidade no material de origem granítico-gnáissico. Em geral, os teores de fósforo disponível são muito baixos em todos os perfis, indicando a baixa disponibilidade deste elemento no material de origem. No horizonte Cg1 do Perfil 4, o incremento no teor de sulfato solúvel ($S-SO_4^{2-}$) concomitante com a diminuição do pH pode indicar a oxidação de sulfetos, que contribui para a formação de ácido sulfúrico e aumento da condutividade elétrica da solução do solo pela dissolução dos minerais. No entanto, neste horizonte não se observa uma correlação positiva entre os teores de sulfato solúvel ($S-SO_4^{2-}$) e a condutividade elétrica do solo, indicando que as atuais condições pedoambientais não são favoráveis para uma intensa oxidação de sulfetos, de forma a caracterizar a acidez no solo pelo processo pedogenético de sulfurização (Inda et al., 2010).

Em todos os perfis estudados, a condutividade elétrica é baixa, com valores entre 0,04 a 0,55 dS m^{-1} . O mesmo ocorre com os teores de sódio trocável, com valores entre 0,01 e 0,22 cmol_c kg^{-1} . Assim, nenhum perfil apresenta alta concentração de sais solúveis em água sendo, portanto, uma condição comum de solos em regiões tropicais e subtropicais com altas precipitações pluviométricas que possibilitam a percolação de íons no perfil.

Tabela 3. Atributos químicos dos solos.

Hor.	pH		-----Complexo Sortivo-----									Enxofre	Fósforo					
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S ¹	Al ³⁺	H+Al	CTC ²	ATA ³		S-SO ₄ ²⁻	P	C org. ⁴	m ⁵	PST ⁶	V ⁷
-----cmol _c kg ⁻¹ -----												mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	-----%-----			dS m ⁻¹
P1 – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico																		
A	5,2	4,2	1,3	0,6	0,02	0,26	2,18	0,2	2,6	4,78	28	6,5	3,6	9,7	8	0,4	46	0,16
AB	5,2	4,1	2,0	0,5	0,02	0,20	2,72	0,6	3,0	5,72	20	2,8	1,8	5,0	18	0,3	47	0,07
Bt1	5,0	3,8	1,4	0,7	0,01	0,21	2,32	1,8	4,5	6,82	17	4,0	1,8	4,9	44	0,1	34	0,08
Bt2	4,9	4,0	1,1	1,2	0,02	0,10	2,42	1,1	3,0	5,42	12	43,0	2,6	2,2	31	0,4	44	0,04
Bt3	5,0	3,9	1,1	1,3	0,02	0,09	2,51	1,2	3,1	5,61	14	56,0	2,2	1,8	32	0,4	45	0,05
P2 – Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico																		
A	5,2	4,3	2,5	1,8	0,03	0,73	5,06	0,5	3,9	8,96	22	7,2	2,7	12,0	9	0,3	57	0,13
A/B	4,9	3,9	1,8	1,5	0,03	0,62	3,95	2,1	4,7	8,65	16	42,0	1,9	8,5	34	0,3	46	0,07
Bi	4,9	3,9	1,2	1,6	0,03	0,30	3,13	2,6	4,5	7,63	13	72,0	2,4	2,5	46	0,4	41	0,06
Cr1	5,0	3,9	0,7	1,2	0,03	0,11	2,04	2,2	3,8	5,84	13	39,0	2,4	1,3	52	0,5	34	0,04
Cr2	4,9	3,8	0,5	1,1	0,03	0,09	1,72	3,0	4,3	6,02	12	9,0	1,5	2,7	64	0,5	28	0,05
Cr3	5,0	3,9	0,5	1,0	0,02	0,08	1,60	2,7	2,8	4,40	11	7,1	2,0	1,0	63	0,5	36	0,04

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁴C org.: carbono orgânico; ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50); ⁸CE: condutividade elétrica.

Tabela 3. Continuação.

Hor.	pH		-----Complexo Sortivo-----									Enxofre	Fósforo						
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S ¹	Al ³⁺	H+Al	CTC ²	ATA ³		S-SO ₄ ²⁻	P	C org. ⁴	m ⁵	PST ⁶	V ⁷	CE ⁸
-----cmol _c kg ⁻¹ -----												mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	-----%-----	dS m ⁻¹			
P3 – Planossolo Háptico Distrófico gleissólico																			
A	4,9	3,8	0,6	0,3	0,01	0,10	1,01	0,8	3,2	4,21	42	5,3	5,3	6,8	44	0,2	24	0,29	
E	4,5	3,7	0,4	0,1	0,01	0,04	0,55	1,1	2,6	3,15	35	6,1	3,4	1,7	65	0,3	19	0,05	
EB	4,5	3,8	0,4	0,1	0,02	0,05	0,57	1,0	2,8	3,37	28	6,5	2,6	2,3	63	0,6	18	0,06	
Btg1	4,8	3,7	0,7	0,4	0,04	0,05	1,19	1,1	3,2	4,39	20	8,0	1,7	3,2	48	0,9	27	0,06	
Btg2	5,1	3,7	1,2	1,3	0,10	0,08	2,68	0,6	1,7	4,38	21	3,0	2,4	0,8	18	2,3	61	0,06	
P4 – Gleissolo Melânico Tb Eutrófico típico																			
A	5,4	4,8	6,6	1,5	0,22	0,13	8,45	0,1	3,3	11,75	56	25,0	15,6	27,0	1	1,9	72	0,55	
AC	4,8	4,0	2,3	0,7	0,15	0,10	3,25	0,4	5,0	8,25	41	25,0	9,3	18,0	11	1,8	40	0,33	
Cg1	4,4	3,6	0,9	0,5	0,07	0,13	1,60	0,9	3,6	5,20	27	64,0	15,7	6,3	36	1,3	31	0,23	
Cg2	5,7	4,6	1,9	1,8	0,11	0,23	4,04	0,1	1,2	5,24	18	13,0	3,7	2,6	2	2,1	77	0,09	

¹S: soma das bases; ²CTC: capacidade de troca de cátions (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); ³ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); ⁴C org.: carbono orgânico; ⁵m: saturação por alumínio; ⁶PST: porcentagem de sódio trocável; ⁷V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50); ⁸CE: condutividade elétrica.

5.4 Ataque sulfúrico e dissoluções seletivas

Na Tabela 4, podem ser verificados os resultados da extração dos elementos pelo ataque sulfúrico, ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato ácido de amônio. O ataque sulfúrico tem como função dissolver os minerais secundários do solo. Os teores de Fe, Si e Al extraídos pela solução sulfúrica podem ser usados para avaliar o estágio de intemperismo do solo, seja pela determinação da relação do teor de silício e alumínio para indicar o grau de dessilicação do solo, como pela relação entre o ferro total nos argilominerais e o ferro nos óxidos de ferro (extraído por DCB). O método de extração de ferro por DCB pressupõe a redução e a complexação do ferro presente nos óxidos de ferro pedogênicos cristalinos (hematita, goethita, maghemita) e de baixa cristalinidade (ferrihidrita e lepidocrocita). O oxalato ácido complexa apenas o ferro das formas de baixa cristalinidade dos óxidos (Embrapa, 1997; Costa & Bigham, 2009).

Os perfis estudados apresentam maiores teores de SiO_2 em relação aos teores de Al_2O_3 e de Fe_2O_3 , extraídos pelo ataque sulfúrico. Os baixos teores de Fe_2O_3 ($< 80 \text{ g kg}^{-1}$) extraído pelo ataque sulfúrico estão relacionados ao predomínio de minerais félsicos, como quartzo e feldspatos, no material granítico-gnáissico da região, e menor proporção de minerais ferromagnesianos, que contribuem para a formação dos óxidos de ferro como hematita e goethita (Nunes et al., 2001).

O teor de ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed) indica as formas pedogênicas de ferro do solo, sendo constituído por óxidos de ferro cristalinos e de baixa cristalinidade. O efeito comparativo entre os teores das formas pedogênicas de ferro (Fed) com as formas de ferro totais extraídas dos argilominerais pelo ataque sulfúrico (Fes), serve como indicativo para a intensidade de intemperismo do solo (Inda Junior & Kampf, 2003). A relação Fed/Fes mostrou-se mais alta nos perfis P1 e P2 localizados na parte mais elevada da paisagem (terços superior e médio da vertente, respectivamente), indicando maior contribuição de ferro na forma pedogênica. No Perfil 1, a relação Fed/Fes variou de 0,78 a 0,98, indicando grau expressivo de intemperismo. No Perfil 2, a maior relação Fed/Fes nos horizontes A, A/B e Bi caracteriza a frente de intemperismo, com clara diminuição no horizonte Cr1, menos alterado pedogeneticamente. Em contrapartida, o horizonte Cr3 mostrou uma lógica

inversa, com aumento da relação Fed/Fes (0,89), com destaque para a diminuição abrupta do teor de Fes no Cr3. Este dado permite constatar um processo de desferrificação neste horizonte, o que já foi observado nas descrições de campo, pela coloração clara e pouco cromática. Os perfis P3 e P4 apresentaram os menores teores de Fed e Fes, o que para Lima et al. (2006) representam maior mobilidade (remoção) do ferro em ambiente com condições redutoras. Assim, os valores da relação Fed/Fes dos perfis P1 e P2 demonstram um grau de intemperismo moderado a avançado, indicando que o ferro encontra-se principalmente na forma de óxidos. Nos perfis P3 e P4, a menor relação Fed/Fes é um indicador de menor grau de intemperismo, com maior participação de minerais primários com ferro na sua estrutura (Pereira & Anjos, 1999; Santos et al. 2010).

Em P1 e P2, a relação Feo/Fed foi igual ou inferior a 0,1, indicando o predomínio de formas cristalinas, como a hematita e a goethita (Pereira & Anjos, 1999; Meireles, et al., 2012). Esta condição é coerente com a localização dos solos na paisagem, pois estes encontram-se nas posições superiores e em condições de boa drenagem, portanto, situações favoráveis para formação de óxidos cristalinos. Já nos perfis localizados no sopé (P3) e na várzea (P4) foram obtidas as maiores relações Feo/Fed, atingindo o maior valor no horizonte transicional EB do Perfil 3 (0,60). O aumento de argila em pequena distância favorece o acúmulo de água na porção superior do horizonte B plânico e, portanto, aumentam as reações de oxirredução nesta seção, o que resultou no predomínio de formas menos cristalinas. De acordo com Costa & Bigham (2009), em ambientes com restrição de drenagem a rápida oxidação do Fe^{2+} a Fe^{3+} favorece a formação de óxidos de baixa cristalinidade. No Perfil 4, o valor Feo/Fed entre 0,53 e 0,21 indica maior participação de óxidos de ferro de baixa cristalinidade, caracterizando um ambiente com condições redutoras, propícias ao processo pedogenético de gleização. Também nos horizontes Btg2 e Cg2 dos perfis P3 e P4, respectivamente, percebe-se uma diminuição da relação Feo/Fed, indicando maior participação das formas cristalinas de óxidos de ferro, que pode ser atribuída à presença de mosqueados nestes horizontes. Duarte et al. (2000) observaram que em perfis com deficiência de drenagem os minerais de ferro precipitados nos mosqueados possuem um grau de cristalinidade superior em relação aos que estão localizados na matriz do solo.

O extrator DCB pode extrair o alumínio relacionado à substituição isomórfica do ferro por alumínio nos óxidos de ferro (Coelho & Vidal-Torrado, 2003). Os valores da relação A_{lo} e A_{ld} foram menores que 1 em todos os horizontes, mostrando que boa parte do alumínio extraído por DCB (A_{ld}) está compondo a estrutura dos óxidos de ferro. Esta relação pode ser considerada uma vez que o oxalato é mais eficiente na dissolução de aluminossilicatos amorfos, enquanto pela extração com DCB consegue-se determinar o alumínio da substituição isomórfica em óxidos de ferro mais cristalinos (Corrêa, 2005). No Perfil 3, nota-se um expressivo aumento de alumínio extraído com oxalato ácido de amônio (A_{lo}), com relação A_{lo}/A_{ld} de 0,50 no horizonte transicional EB. É possível que a alternância das condições de drenagem favoreça a ferrólise e a consequente desestabilização e formação de aluminossilicatos menos cristalinos no topo do horizonte Btg1 mais argiloso. Coelho & Vidal-Torrado (2003) atribuíram à ferrólise os altos teores de A_{lo} , associando a formação de aluminossilicatos de baixa cristalinidade à desestabilização da caulinita e à dissolução de minerais primários.

A relação K_i representa a relação entre SiO_2 e Al_2O_3 e é usada para avaliar o grau de intemperização do solo, podendo também apontar o grau de dessilicação e a composição mineralógica do solo (Embrapa, 2013). Demattê & Demattê (1993), comparando as propriedades químicas de solos da Amazônia e do cerrado brasileiro, verificaram que o índice K_i tem relação com a CTC do solo, pois os solos mais intemperizados tiveram uma relação K_i de 2,0 e 1,0, indicando a predominância de uma mineralogia caulínica e oxídica, o que refletiu numa baixa atividade da fração argila. Por outro lado, solos menos intemperizados têm relação K_i superior a 2,2, com tendência de maior atividade da argila e maior presença de minerais primários alteráveis. Nunes et al. (2001) estudando a relação solo-paisagem em uma topolitossequência em Minas Gerais, observaram que solos pouco intemperizados tinham relação K_i maior que 2,4, constatado pela maior presença de minerais primários, maior participação de argilominerais 2:1 na fração argila e caráter eutrófico.

Os perfis P1 e P2 apresentaram K_i na faixa de 3,1 a 3,8, o que pode ser considerado um índice alto, já que os resultados de baixa atividade da fração argila e relação F_{ed}/F_{es} moderada a alta, apontam para uma condição de intemperismo intermediário a avançado, com remoção considerável de sílica e

de bases no solo. O Perfil 3 apresentou os maiores índices Ki (4,66 e 5,15) de todos os perfis, cujo valor é considerado muito alto, uma vez que a CTC da argila é muito baixa. Valores altos da relação Ki foram encontrados em solos de alta CTC e alta saturação por bases, em ambiente pouco lixiviante, com quantidade de silício suficiente para a formação de argilominerais 2:1 (Kampf et al., 2009), atributos não encontrados nos perfis estudados. Uma explicação para o alto índice Ki observado nos perfis está na solubilização do silício proveniente das frações silte e areia. A observação do alto índice Ki do Perfil 3 reforça esta hipótese, haja visto que as frações silte e areia têm expressiva participação na textura do solo. Observações dessa natureza foram citadas nos trabalhos de Rolim Neto (2009), Medeiros et al. (2013) e Nascimento et al. (2013).

Os teores de MnO são baixos, resultado da pequena presença de manganês no material de origem granítico-gnáissico. Apesar do material de origem da região ter uma significativa participação de feldspatos potássicos na sua composição mineralógica, os teores de K₂O extraído pelo ataque sulfúrico são baixos, o que pode ser atribuído a grande mobilidade deste elemento no solo. Já os teores de TiO₂ são maiores do que os observados por Santos et al. (2010) em solos gnáissicos com baixa relação Fed/Fes. Logo, maiores valores de TiO₂ encontrados podem indicar o maior intemperismo, pois minerais com titânio são tanto mais presentes quanto maior o grau de desenvolvimento do solo (Kampf et al., 2009).

Tabela 4. Valores de óxidos do ataque sulfúrico, óxidos extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), óxidos extraídos pelo oxalato ácido de amônio (OXA), na fração TFSA dos solos.

Hor.	-----Ataque sulfúrico-----								-----Extração DCB e OXA-----						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	TiO ₂	Ki	Kr	Feo	Fed	Feo/Fed	Fed/Fes	Alo	Ald	Alo/Ald
	-----g kg ⁻¹ -----								-----g kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----		
P1 – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico															
A	44,4	21,6	10,3	0,3	0,6	3,4	3,50	2,68	1,3	8,7	0,15	0,84	1,2	4,8	0,25
AB	97,6	46,1	18,1	0,1	1,1	4,4	3,60	2,88	1,7	17,7	0,10	0,98	2,9	9,6	0,30
Bt1	166,0	82,3	30,6	0,1	2,1	6,4	3,43	2,77	2,2	21,9	0,10	0,72	4,3	13,2	0,33
Bt2	194,1	105,0	35,8	0,1	2,7	6,7	3,14	2,58	2,3	27,6	0,08	0,77	4,3	14,2	0,30
Bt3	171,3	78,4	26,0	0,1	2,1	5,5	3,71	3,07	2,1	20,4	0,10	0,78	3,9	10,7	0,36
P2 – Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico															
A	163,5	72,0	27,5	0,1	2,1	4,9	3,86	3,10	2,0	22,0	0,09	0,80	3,8	11,1	0,34
A/B	221,4	111,1	42,2	0,1	2,7	5,9	3,39	2,73	2,4	39,1	0,06	0,93	4,8	15,7	0,31
Bi	223,4	122,5	40,5	0,1	2,8	5,0	3,10	2,56	2,5	32,0	0,08	0,79	4,9	13,3	0,37
Cr1	195,5	101,1	29,8	0,1	1,8	3,0	3,29	2,77	1,4	17,3	0,08	0,58	3,2	7,2	0,44
Cr2	192,7	98,1	25,0	0,1	2,2	3,0	3,34	2,87	1,7	18,4	0,09	0,74	3,3	8,7	0,38
Cr3	100,3	49,1	7,3	< 0,1	1,3	0,7	3,47	3,17	0,6	6,5	0,09	0,89	1,4	4,6	0,30

*Ki: relação $(1,7 \cdot \text{SiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3$; Kr: relação $[(1,70 \cdot \text{SiO}_2)] / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0,6375)]$; Feo: Fe₂O₃ extraído por oxalato ácido de amônio; Alo: Al₂O₃ extraído por oxalato ácido de amônio; Fed: Fe₂O₃ extraído por ditionito-citrato-bicarbonato; Ald: Al₂O₃ extraído por ditionito-citrato-bicarbonato; Fes: Fe₂O₃ extraído pelo ataque sulfúrico.

Tabela 4. Continuação.

Hor.	-----Ataque sulfúrico-----								-----Extração DCB e OXA-----						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	TiO ₂	Ki	Kr	Feo	Fed	Feo/Fed	Fed/Fes	Alo	Ald	Alo/Ald
	-----g kg ⁻¹ -----								-----g kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----		
P3 – Planossolo Háplico Distrófico gleissólico															
A	37,6	13,7	8,1	0,1	0,3	2,0	4,66	3,38	1,6	7,0	0,23	0,86	0,8	3,3	0,24
E	38,5	16,6	7,4	0,1	0,2	1,5	3,95	3,08	1,5	6,1	0,25	0,82	0,9	3,2	0,28
EB	48,9	16,1	7,9	0,2	0,4	2,0	5,15	3,93	4,5	7,5	0,60	0,95	1,8	3,6	0,50
Btg1	77,1	37,5	19,8	0,1	1,0	4,7	3,50	2,62	3,7	12,4	0,30	0,63	1,6	5,3	0,30
Btg2	83,6	32,3	25,5	0,1	0,9	3,9	4,40	2,93	2,7	16,6	0,16	0,65	0,5	3,7	0,14
P4 – Gleissolo Melânico Tb Eutrófico típico															
A	87,0	35,6	20,8	0,2	1,0	3,8	4,16	3,03	8,9	16,9	0,53	0,81	2,1	5,1	0,41
AC	70,9	39,0	16,6	0,3	1,0	4,0	3,09	2,43	4,7	12,6	0,37	0,76	1,8	4,6	0,39
Cg1	79,4	42,3	13,3	0,1	1,1	4,3	3,19	2,66	2,9	7,5	0,39	0,56	1,7	4,0	0,43
Cg2	119,9	67,1	17,9	0,1	1,8	5,4	3,04	2,60	2,0	9,5	0,21	0,53	2,1	5,5	0,38

*Ki: relação $(1,7 \cdot \text{SiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3$; Kr: relação $[(1,70 \cdot \text{SiO}_2)] / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0,6375)]$; Feo: Fe₂O₃ extraído por oxalato ácido de amônio; Alo: Al₂O₃ extraído por oxalato ácido de amônio; Fed: Fe₂O₃ extraído por ditionito-citrato-bicarbonato; Ald: Al₂O₃ extraído por ditionito-citrato-bicarbonato; Fes: Fe₂O₃ extraído pelo ataque sulfúrico.

5.5 Mineralogia dos solos

Os difratogramas de raios X das frações mostram o predomínio de quartzo e feldspato na areia e no silte, coincidindo com a composição mineralógica do material de origem. Dos minerais primários, o quartzo, devido sua composição química (SiO_2) e arranjo estrutural compacto (tectossilicato) tem alta resistência ao intemperismo, aparecendo em todas as frações granulométricas dos solos estudados. Também há uma tendência de aumento do quartzo em direção aos horizontes superficiais arenosos.

Os feldspatos e as micas apresentam menor estabilidade no solo, devido à substituição isomórfica de Si^{4+} por Al^{3+} na lâmina tetraedral, sendo mais facilmente intemperizados (Kampf et al., 2009; Resende et al., 2005). Por este motivo, sua ocorrência é mais comum próximo à rocha ou em horizontes pedogenéticos de solos menos intemperizados.

O Perfil 1 (Figura 13) não mostra alteração mineralógica significativa entre os horizontes. Na fração areia predomina o mineral quartzo, identificado nos seguintes espaçamentos em nanômetros: 0,426; 0,334; 0,246; 0,228; 0,224; 0,213 e 0,198. Também ocorrem reflexos de baixa intensidade para feldspato calco-sódicos (0,303 nm) e potássicos (0,325 e 0,299 nm).

Na fração silte também predomina o mineral quartzo, porém os reflexos relativos aos feldspatos aumentam de intensidade. A fração argila é composta predominantemente por caulinita (0,719; 0,446; 0,358; 0,256; 0,234; 0,229; 0,213 nm) e quartzo. Em menores proporções, indicadas por reflexos de menor intensidade, foram identificados feldspato potássico (0,331 nm), anatásio (0,352 nm), goethita (0,416 nm), hematita (0,269 nm), mica e argilominerais 2:1 (1,013 nm). Segundo Kampf & Curi (2009), a formação de goethita é favorecida por um clima mais úmido e pela baixa taxa de liberação ou baixo teor de ferro no material de origem, enquanto a hematita se forma em um ambiente quente e seco, com maior taxa de liberação de ferro no material de origem. O matiz amarelo é favorecido pela condição de drenagem moderada causada pelo gradiente textural, com ambiente mais úmido propício à formação da goethita. O predomínio de caulinita na argila indica um grau de intemperismo moderado a avançado, confirmado pela baixa CTC da argila.

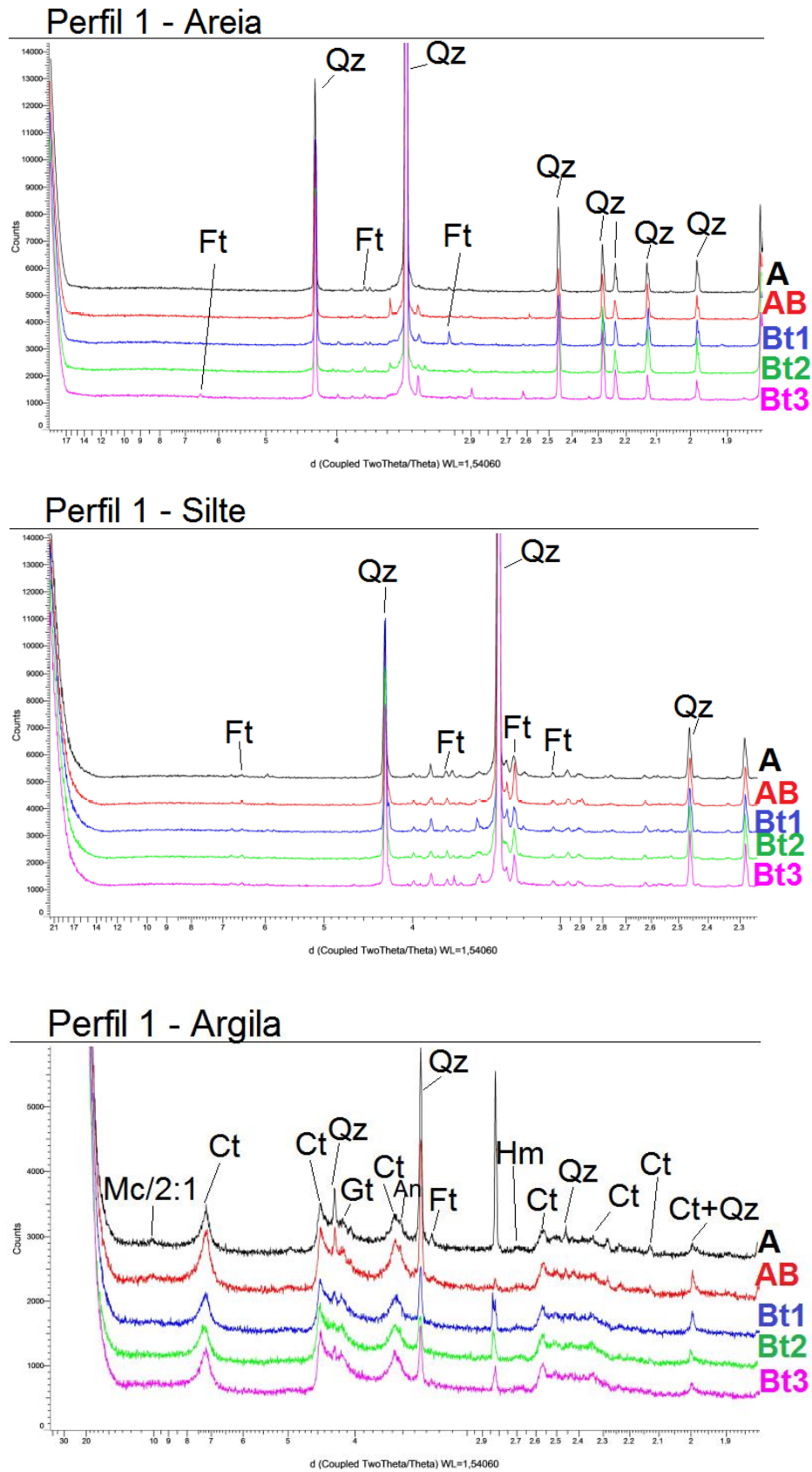


Figura 13. Difratoograma de raios X da areia, silte e argila do Perfil 1. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Mc: mica; 2:1 – argilominerais 2:1; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio.

Na areia do Perfil 2 (Figura 14) o quartzo é predominante e ocorre associado a maior concentração de feldspato, se comparado a P1.

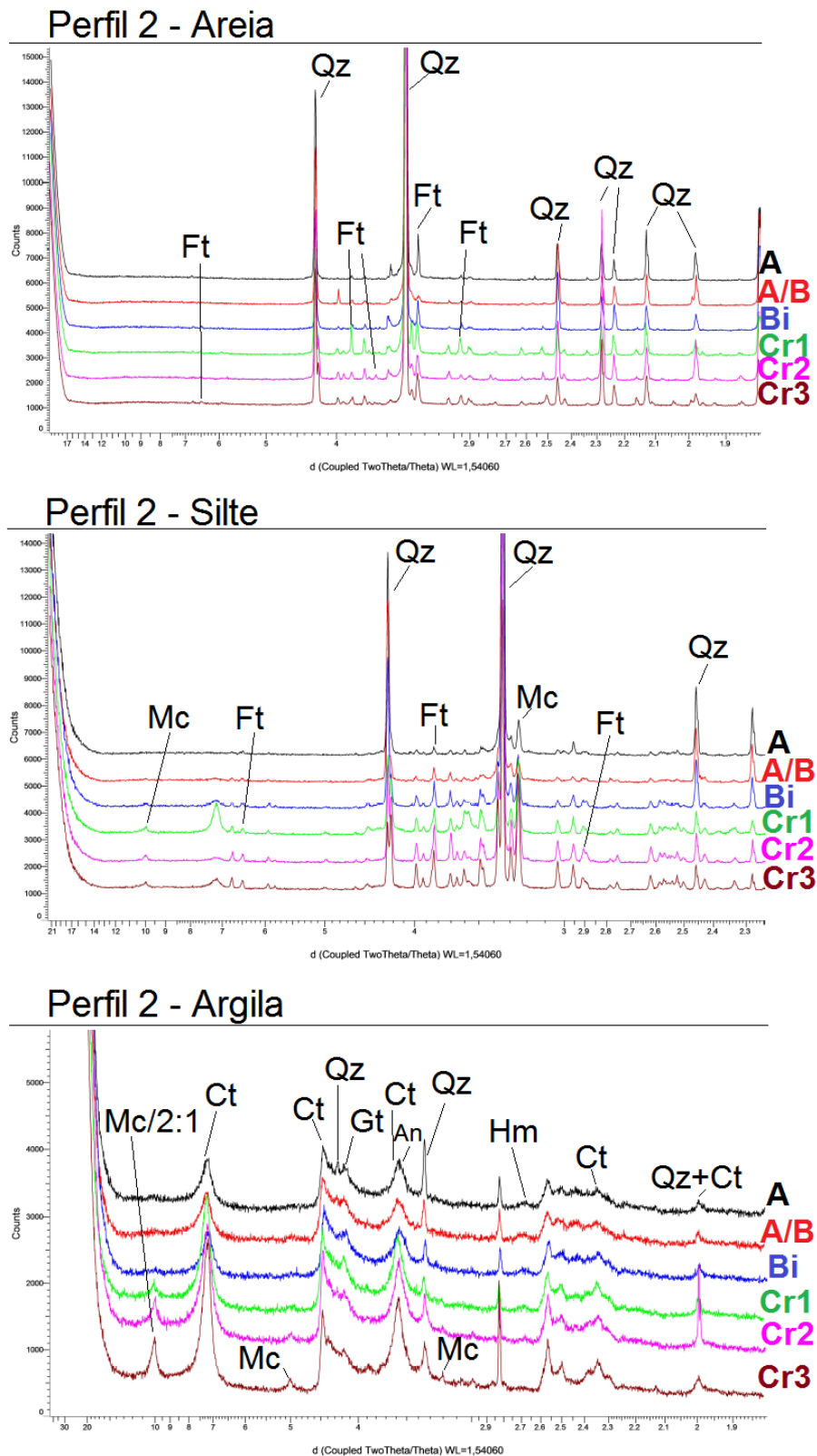


Figura 14. Difratoograma de raios X da areia, silte e argila do Perfil 2. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Mc: mica; 2:1 – argilominerais 2:1; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio.

No silte do Perfil 2 os reflexos de feldspato (0,383; 0,370 nm) também são mais intensos em relação a P1 e também ocorre mica (1,000; 0,329; 0,325 nm). Na argila se destacam os reflexos mais intensos de mica nos sub-horizontes de Cr. A diminuição dos reflexos de mica nos horizontes pedogenéticos A, A/B e Bi está relacionada à frente de intemperismo, contribuindo para a formação de minerais secundários no solo como, por exemplo, a caulinita. A maior quantidade de minerais primários intemperizáveis no Perfil 2 indica o seu menor grau de intemperismo em relação a P1.

O Perfil 3 (Figura 15) é semelhante a P1 mineralogicamente, com predomínio de quartzo e reflexos menos intensos de feldspato, na fração areia. Na fração silte ocorre a diminuição na intensidade dos reflexos de feldspato em direção à superfície relacionados ao intemperismo mais intenso nesta seção do perfil. A fração argila também é semelhante a P1, e a distribuição mineralógica é composta principalmente por caulinita e quartzo. No horizonte Btg2 o reflexo mais intenso de goethita e hematita (0,269 nm) pode ter relação com os mosqueados.

No Perfil 4 (Figura 16) as frações areia e silte apresentam comportamento semelhante aos perfis P1 e P3. Na fração argila se observa o predomínio de caulinita e quartzo, e em menor proporção mica e argilominerais 2:1, goethita e anatásio. O reflexo mais intenso de goethita (0,416 nm) no horizonte Cg2 indica a existência de zonas de maior aeração, confirmando a menor relação Feo/Fed neste horizonte, em relação aos superiores.

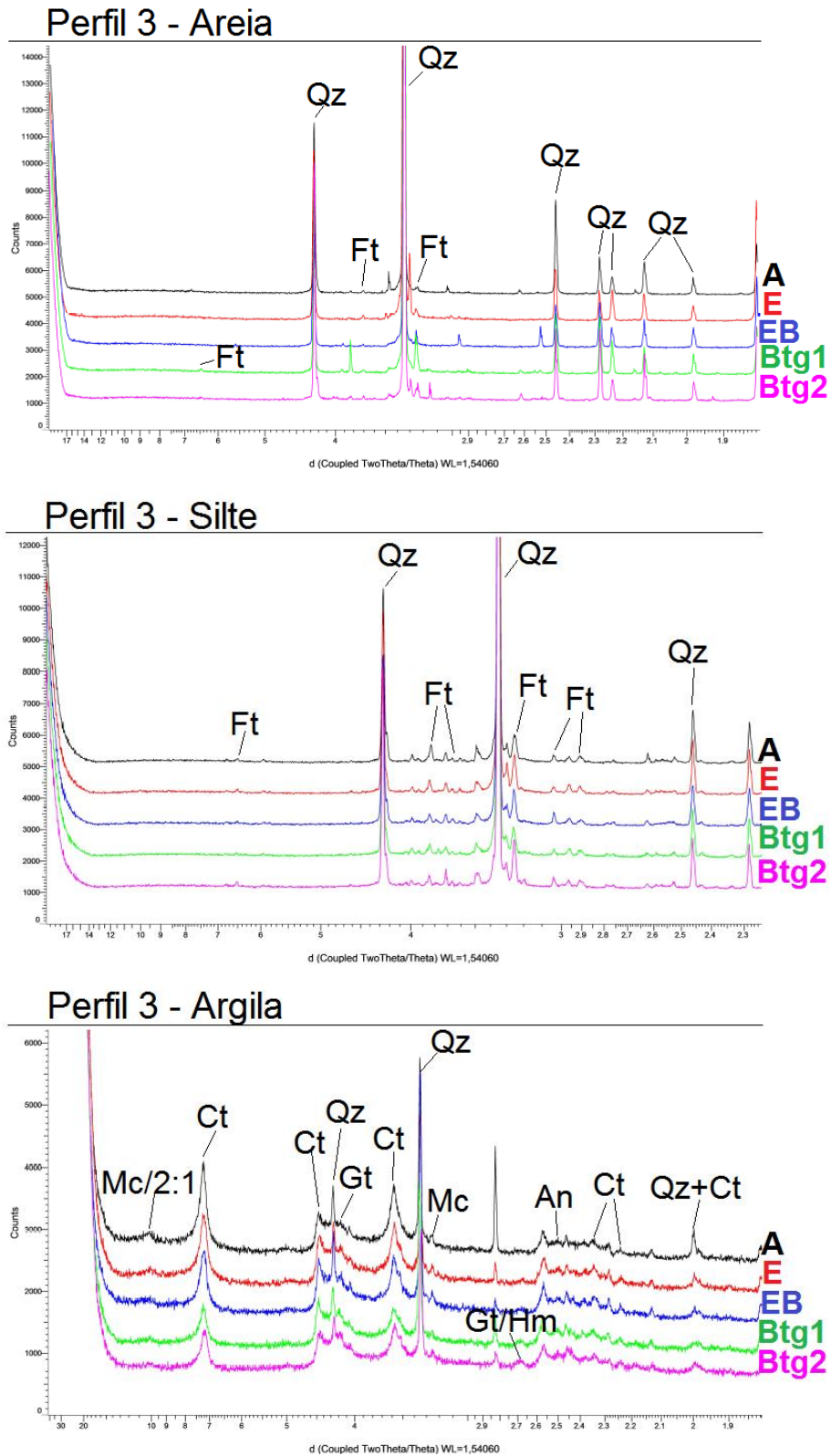


Figura 15. Difratograma de raios X da areia, silte e argila do Perfil 3. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Mc: mica; 2:1 – argilominerais 2:1; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio.

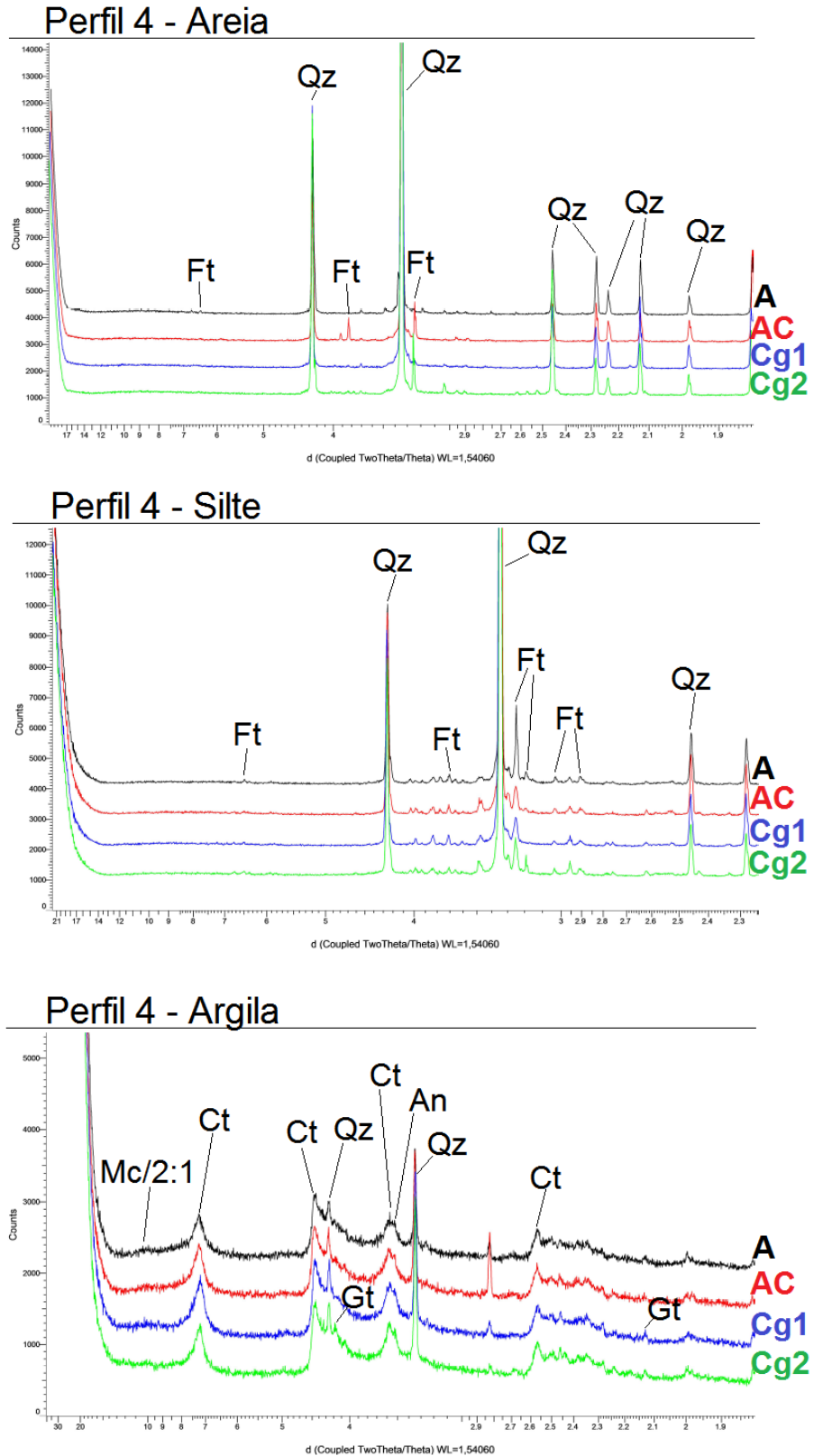


Figura 16. Difratoograma de raios X da areia, silte e argila do Perfil 4. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Mc: mica; 2:1 – argilominerais 2:1; Ct – caulinita; Gt – goethita; An – anátasio.

5.6 Aspectos sobre a formação e classificação dos solos

5.6.1 Nomenclatura no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

No Perfil 1, a baixa atividade da argila, o caráter distrófico e a relação Fed/Fes superior a 0,7 confirmam o moderado a alto grau de intemperismo do solo. Estas condições estão associadas à posição ocupada na paisagem, com uma drenagem boa a moderada que intensifica o intemperismo e a lixiviação de bases no perfil. O horizonte A é moderado, por não se enquadrar nas demais definições dos horizontes diagnósticos superficiais. O aumento da relação argila fina/argila total, associada à cerosidade corrobora a ação da lessivagem na acumulação de argila do horizonte diagnóstico subsuperficial B textural, classificando-o como Argissolo no primeiro nível categórico. No segundo nível, a cor vermelho-amarelo é característica da condição de drenagem interna do perfil, com tendência boa a moderada. O caráter distrófico no terceiro nível indica a baixa fertilidade química deste solo, concordante com o expressivo grau de intemperismo e com a mineralogia caulinitica da fração argila. No quarto nível não são identificados outros critérios importantes para sua conceituação, portanto, classificando-o apenas como típico.

No Perfil 2, embora a relação silte/argila seja baixa, em virtude do alto conteúdo de argila verificado, o intemperismo é menos avançado em relação a P1. O horizonte A é moderado, por não se enquadrar nas demais definições dos horizontes diagnósticos superficiais. A menor espessura de solum e o aumento na saturação por bases indicam que a posição de terço médio da vertente, com maior declividade, é menos favorável à lixiviação, com relevo ondulado a forte ondulado que proporciona maior escoamento superficial e menor infiltração de água no perfil. Como a textura do solo depende do material de origem e do grau de intemperismo, no Perfil 2 não está afastada a possibilidade de que a textura mais argilosa esteja relacionada com a mudança do material de origem na paisagem, conforme observaram Cunha et al. (2005) estudando variações dos atributos do solo em superfícies geomórficas. A textura argilosa no horizonte Cr, incoerente com seu grau de evolução pedogenética, sugere a mudança no substrato geológico local, podendo ter relação com o depósito coluvionar pré-

intemperizado que ocorre na região, representado pelo Alterito Serra de Tapes. Diferentemente dos demais perfis, as características físicas e químicas do Perfil 2 não definem um processo de formação, o que configura a menor pedogênese deste e a ocorrência do horizonte B incipiente. As reflexões em maior proporção de minerais primários alteráveis na fração areia e silte também caracterizam o seu menor desenvolvimento pedogenético. Em função dessas características o Perfil 2 é classificado como Cambissolo no nível de ordem. Por não apresentar horizonte O hístico, A húmico ou caráter flúvico é classificado como háplico no nível de subordem. A baixa atividade da fração argila e a saturação por bases inferior a 50% no horizonte Bi, o enquadram como Tb distrófico no terceiro nível. No último nível categórico é classificado como típico por não apresentar outras características morfológicas, físicas ou químicas de maior expressão.

Os perfis P3 e P4 apresentam menor grau de intemperismo, confirmado pela alta relação silte/argila e pela ocorrência de menores valores de Fed/Fes. Contudo, é importante ressaltar que o Perfil 3 apresenta maior grau de intemperismo nos horizontes A, E e EB, comprovado pela maior relação Fed/Fes (entre 0,86 e 0,95). O horizonte A do Perfil 3 é moderado, por não se enquadrar nas demais definições dos horizontes diagnósticos superficiais. Nos horizontes Btg1 e Btg2, o aumento considerável de argila em pequena distância causa maior residência da água e, portanto, menor intensidade do intemperismo químico. No Perfil 3, os ciclos alternados de redução e oxidação contribuem para a ocorrência da ferrólise e destruição das argilas no horizonte E localizado acima do B plânico, observada pela baixa saturação por bases, baixa CTC e pH próximo a 4,0. Como processo pedogenético secundário também examina-se a gleização, contribuindo para a cor cinzenta no horizonte B plânico. No primeiro nível categórico é classificado como Planossolo, pois há mudança textural abrupta do horizonte transicional EB para o Btg1, com relação textural suficiente para B plânico e cor que define a classe. No segundo nível classifica-se como háplico por não apresentar saturação de sódio no complexo de troca igual ou maior que 15%, no horizonte B plânico. No terceiro nível é caracterizado como distrófico com base no horizonte diagnóstico que define a classe dentro de 120 cm da superfície. No quarto nível é gleissólico por ter horizonte glei coincidente com o horizonte B plânico, apresentando características de expressiva redução

por meio do matiz 10YR com croma igual a 3 em Bgt1 e diminuição do croma para 1, no horizonte subjacente Btg2.

No Perfil 4, o relevo plano localizado na posição mais baixa da paisagem caracteriza o ambiente intensamente hidromórfico, favorecendo o menor intemperismo em comparação aos demais perfis estudados, fato comprovado pela maior atividade da argila e menor relação Fed/Fes. A maior relação Feo/Fed é uma constatação importante para a ocorrência da gleização neste perfil. No primeiro nível categórico é classificado como Gleissolo por apresentar horizonte glei com croma igual ou inferior a 2. No segundo nível é definido como melânico por apresentar horizonte diagnóstico superficial A húmico. O horizonte A húmico deste perfil (incluindo o horizonte transicional AC) apresenta as seguintes características: valor e croma do solo úmido menor que 4; saturação por bases inferior a 65%; espessura maior que 18 cm; teor de carbono orgânico menor que o necessário para caracterizar horizonte hístico (80 g kg^{-1}). Juntamente com estas características, o Perfil 4 é húmico por ter conteúdo de carbono orgânico total maior do que o resultado obtido pela seguinte inequação: $\text{C-org. total} \geq 60 + (0,1 * \text{média ponderada de argila do horizonte A})$. A baixa atividade da argila e a saturação por bases maior que 50% na maior parte do horizonte C dentro de 100 cm, o caracterizam como Tb eutrófico no terceiro nível. No quarto nível é classificado como típico por não apresentar atributos intermediários para outra classe.

5.6.2 Nomenclatura no “Keys to Soil Taxonomy”

O Perfil 1 apresenta horizonte diagnóstico superficial “ochric”, por não se enquadrar nos requisitos necessários para os demais horizontes diagnósticos superficiais. O horizonte diagnóstico subsuperficial é “argillic”, caracterizado pela ilúviação e pelo incremento de argila maior que 1,2 vezes em relação ao horizonte eluvial. No primeiro nível é classificado como “Alfisol”, por ter horizonte “argillic”, com saturação por bases maior que 35% na maior parte deste. No segundo nível é “Udalf”, por caracterizar o regime climático “udic”, onde as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e o solo não permanece seco por mais de 90 dias. No terceiro nível é “Hapludalf”, por não se enquadrar nas demais características de grande grupo. No quarto nível, é classificado como “Ultic

Hapludalf”, com saturação por bases menor que 60 % na maior parte do horizonte “argillic”.

O Perfil 2 apresenta horizonte diagnóstico superficial “ochric”, por não se enquadrar nos requisitos necessários para os demais horizontes diagnósticos superficiais. O horizonte diagnóstico subsuperficial é “cambic”, definido pela espessura maior que 15 cm e por não apresentar características para o enquadramento nos demais horizontes diagnósticos subsuperficiais. No primeiro nível é classificado como “Inceptisol”, por ter horizonte “cambic” dentro de 100 cm da superfície do solo, tendo este horizonte um limite inferior a uma profundidade maior que 25 cm. No segundo nível é “Udept”, por caracterizar o regime climático “udic”, onde as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e o solo não permanece seco por mais de 90 dias. No terceiro nível é “Dystrudept”, por não se enquadrar nas demais características de grande grupo. No quarto nível, é classificado como “Oxic Dystrudept”, por ter atividade da fração argila menor que $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila, entre 25 a 100 cm da superfície do solo.

O Perfil 3 apresenta horizonte diagnóstico superficial “ochric”, por não se enquadrar nos requisitos necessários para os demais horizontes diagnósticos superficiais. O horizonte diagnóstico subsuperficial é “argillic”, caracterizado pelo incremento de argila maior que 1,2 vezes em relação ao horizonte eluvial. No primeiro nível é classificado como “Alfisol”, por ter horizonte “argillic”, com saturação por bases maior que 35% na maior parte deste. No segundo nível é “Udalf”, por caracterizar o regime climático “udic”, onde as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e o solo não permanece seco por mais de 90 dias. No terceiro nível é “Hapludalf”, por não se enquadrar nas demais características de grande grupo. No quarto nível, é classificado como “Oxyaquic Hapludalf”, por estar saturado com água em uma ou mais camadas dentro de 100 cm da superfície do solo, por um período igual ou superior a 20 dias consecutivos.

O Perfil 4 apresenta horizonte diagnóstico superficial “umbric”, por apresentar no horizonte A o valor e croma do solo úmido igual ou menor que 3. Além disso, também apresenta saturação por bases menor que 50 % em alguma parte deste, conteúdo de carbono orgânico maior que 0,6 % em relação ao horizonte C, espessura mínima de 18 cm e presença de umidade em 90 ou mais dias consecutivos durante anos normais de precipitação pluviométrica. No primeiro nível é classificado como “Entisol”, por não atender os requisitos

necessários para as demais ordens de solo. No segundo nível é “Aquent”, pois o solo permanece saturado a maior parte do tempo, o que reflete o croma igual ou menor que 2. No terceiro nível é “Endoaquent”, por ter todos os horizontes saturados por água dentro de 200 cm da superfície do solo. No quarto nível, é classificado como “Humaqueptic Endoaquent”, por apresentar valor do solo úmido igual a 3 (dentro de 5 cm da superfície do solo) e saturação por bases menor que 50 % em alguma parte do perfil, dentro de 100 cm da superfície do solo.

6. CONCLUSÕES

1. A classificação taxonômica dos solos seguiu um padrão definido para as classes que ocorrem no município de Porto Alegre.

2. A boa drenagem nas posições de terço superior e de terço médio e o hidromorfismo acentuado nas posições de sopé e de várzea do parque, evidenciaram a influência do relevo na gênese dos solos, o que foi constatado por atributos como a cor do solo e grau de cristalinidade dos óxidos de ferro. O maior grau de intemperismo dos solos estudados foi observado no Argissolo localizado no terço superior da colina, com declividade não tão acentuada, o que foi confirmado pela alta relação Fed/Fes.

3. A ocorrência de alguns processos pedogenéticos pode ser inferida nos solos observados. No Argissolo (P1), o gradiente textural acentuado, a presença da cerosidade e o aumento da relação argila fina/argila total em profundidade, indicaram a ocorrência da lessivagem. No Cambissolo (P2), o menor desenvolvimento em comparação a P1 foi evidenciado pela menor espessura de solum e pela maior participação de minerais intemperizáveis, não sendo possível identificar um processo pedogenético expressivo. No Planossolo (P3), os horizontes E e EB com baixo pH associado a altos valores de ferro e alumínio extraídos dos óxidos de baixa cristalinidade, podem indicar a contribuição da ferrólise na formação do solo. No Gleissolo (P4), a predominância da coloração acinzentada na matriz do solo e a alta relação Feo/Fed, caracterizaram a ocorrência da gleização.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. A. **Degradação do topo do horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo Abrupto da planície costeira do RS.** 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- BARBIERO, L. et al. Ferrolysis induced soil transformation by natural drainage in Vertisols of sub-humid South India. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, n. 3, p. 173-188, 2010.
- BASTOS, C. A. B.; DIAS, R. D. Unidades geotécnicas de solos de Porto Alegre. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, volume especial, n. especial, p. 85-89, 1995.
- BOCKHEIM, J. G. et al. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 23-36, 2005.
- BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 997-1007, 2008.
- BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado Rio Grande do Sul.** Recife: Ministério da Agricultura, 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).
- BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. **Cristal structures of clay minerals and their X ray identification.** London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.
- BRINKMAN, R. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 199-206, 1970.
- BRINKMAN, R. **Ferrolysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions.** 1979. 106 f. Tese (Doutorado) - Agricultural University of Wageningen, Wageningen, 1979.
- BUOL, S. W. et al. **Soil Genesis and Classification.** 5th ed. Yowa: Blackwell Publishing, 2003. 494 p.

CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes amazônicos do Médio Rio Madeira**. 2009. 224 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Influência das superfícies geomórficas na distribuição espacial dos atributos do solo em área sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 133-141, 2010.

CARBALLO, A. M. C. **Atributos químicos do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CARVALHO, V. S. et. al. Caracterização de Espodosolos dos Estados da Paraíba e do Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 37, n. 6, p. 1454-1463, 2013.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 483-494, 2003.

CORRÊA, M. M. **Óxidos de ferro e tipificação de caulinitas na gênese de solos coesos do ambiente dos Tabuleiros Costeiros**. 2005. 194 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Minas Gerais), 2005.

COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. de F. (Ed.). **Química e Mineralogia do Solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 506-520.

COSTA, A. C. S.; LIBARDI, P. L. Caracterização físico-hídrica de um perfil de terra roxa estruturada latossólica pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 669-677, 1999.

CUNHA, P. et al. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência Arenítico-Basáltica da região de Jabotical (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2005.

DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Comparação entre as propriedades químicas de solo das regiões da Floresta Amazônica e do cerrado do Brasil Central. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 272-286, 1993.

DOUGLAS, L. A. **Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science**. Amsterdam: Elsevier Science, 1990. 716 p. (Developments in Soil Science, 19).

DUARTE, M. N. et al. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1237-1250, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Banco de Dados Climáticos do Brasil. **Normal climatológica do município de Porto Alegre no período 1961-1990 (INMET)**. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=225>>. Acesso em: 5 jan. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 221 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.

ESPINDOLA, C. R. A pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1/2, p. 67-92, 2010.

FANNING, S. D.; FANNING, M. C. B. **Soil: morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989. p. 69-80.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 507-514, 1999.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. **Levantamento de recursos Naturais. Folha SH 22 - Porto Alegre e parte das Folhas SH 21 - Uruguaiana e SI 22 - Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1986.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. **Jardim Botânico de Porto Alegre: 50 anos conservando a flora gaúcha**. Porto Alegre: Jardim Botânico de Porto Alegre, 2009. 72 p. (Publicações Avulsas FZB, 15).

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente - RS. **Mapa topográfico do Jardim Botânico de Porto Alegre**. Porto Alegre: [s.n.], 2003.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente - RS. **Plano diretor do Jardim Botânico de Porto Alegre**. Porto Alegre: [s.n.], 2004. 86 p.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 885-893, 2002.

HASENACK, H. et al. (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), 2008. 84 p.

INDA, A. V. et al. Atributos químicos relacionados ao processo de sulfurização em solos construídos após mineração de carvão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p.1060-1067, 2010.

INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 6, p. 1139-1147, 2003.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis - advanced course**. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin, 1956. 894 p.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 5 e 6, p. 161-179, 2009.

KAMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. de F. (Ed.). **Química e Mineralogia do Solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 334-371.

KAMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 27-39, 1983.

KLAMT, E.; KAMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzea no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1985. 42 p. (Boletim técnico, 4).

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. Rio de Janeiro: Editora Nacional, 1998. 398 p.

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, n. 1, p. 109-115, 1977.

LEPSCH, I. F. As necessidades de efetuarmos levantamentos pedológicos detalhados no Brasil e de estabelecermos as séries de solos. **Revista Tamoios**, São Gonçalo (RJ), ano 9, n. 1, p. 3-15, 2013.

LIMA, H. N. et al. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 59-68, 2006.

MAFRA, A. L. et al. Pedogênese de uma seqüência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 355-369, 2001.

MEDEIROS, P. S. C. et al. Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região sul do Brasil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1210-1217, 2013.

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

MEIRELES, H. T. et al. Relações solo-paisagem em toposequência de origem basáltica. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.

MONTANARI, R. et al. Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 191-199, 2010.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Elaboração do mapa geomorfológico do município de Porto Alegre - RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 113-138, 2012.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; ZOFFOLI, H. J. O. Caracterização, classificação e gênese de solos hidromórficos em regiões litorâneas no Estado do Espírito Santo. **Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p. 82-93, 2013.

NUNES, W. A. G. A. et al. 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**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 341-354, 2001.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Formas extraíveis de ferro no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 371-382, 1999.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 257-266, 2001.

PHILLIPS, J. D. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soil. **Catena**, Cremlingen, v. 58, n. 3, p. 275-295, 2004.

PONNAMPERUMA, F. N. **The chemistry of submerged soils**. Los Baños: Academic Press, 1972. 68 p. (Advances in Agronomy, v. 24).

QUÉNARD, L. et al. Lessivage as a major process of soil formation: A revisit of existing data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 135-147, 2011.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, 2003. 20 p.

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

ROLIM NETO, F. C. et al. Topolitossequências do Alto Paranaíba: atributos químicos, físicos e mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 6, p. 1795-1809, 2009.

SANTOS, A. C. et al. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de Mar de Morros do Médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 1297-1314, 2010.

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

SCHAETZL, R. J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins: theory, detection and application. **Soil Science**, Baltimore, v. 163, n. 7, p. 570-590, 1998.

SCHNEIDER, A.W.; LOSS, E.L.; PINTO J.F. **Mapa geológico da Folha de Porto Alegre - RS**. Porto Alegre, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras**: um sistema alternativo. Guaíba: Agrolivros, 2007a. 72 p.

SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do Solo**: subsídios para caracterização e classificação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007b. 72 p.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraction mit ammoniumoxalat-lösung. **Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.**, v. 105, n. 3, p. 194-202, 1964.

SIMONSON, R. W. Outline of a Generalized Theory of Soil Genesis. Modern concepts of soil genesis - a symposium. **Soil Sci. Soc. Amer. Journal**, Madison, v. 23, n. 2, p. 152-156, 1959.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: CQFS - RS/SC, 2004.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 11th ed. Washington DC: United States Department of Agriculture (NRCS), 2010. 346 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy**: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1999. 871 p.

SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. 2nd ed. California: Academic Press, 2003. 345 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p.

TERAMOTO, E. R.; LEPSCH, I. F.; VIDAL-TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do Ribeirão Marins (Piracicaba-SP). **Revista Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 361-371. abr/jun. 2001.

VAN BREEMEN, N.; MULDER, J.; DRISCOLL, C. T. Acidification and alkalization of soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 75, n. 3, p. 283-308, 1983.

VAN RANST, E. et al. Revisiting ferrollysis processes in the formation of Planosols for rationalizing the soils with stagnic properties in WRB. **Geoderma**, Amsterdam, v. 163, n. 3-4, p. 265-274, 2011.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 3-4, p. 145-192, 2005.

WILDING, L. P. **Factors of soil formation**: contributions to pedology. Soil Science Society of America. Madison, n. 33, p. 15-30, 1994.

8. APÊNDICES

Apêndice 1. Descrição morfológica dos perfis.

Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico

Data: 18/03/2013

Localização: Jardim Botânico do município de Porto Alegre (0483069-6675429 UTM).

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior da encosta, com 13 a 15% de declive, sob cobertura de campo nativo com espinilho.

Altitude: 48 m.

Material de origem: granito e gnaiss com grau de metamorfismo variado, composto por quartzo, feldspato, mica e biotita. Pré-Cambriano.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: ondulado.

Relevo regional: suave ondulado a ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: floresta estacional semidecidual e savana.

Uso atual: campo sujo.

Descrito e coletado por: Luís Fernando da Silva, Paulo César do Nascimento e Robberson Setubal.

Descrição Morfológica

A 0-15 cm; 7,5YR 4/3 (úmida); franco arenosa; fraca/moderada, pequena/média, granular; muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

AB 15-46 cm; 7,5YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, pequena/média, blocos subangulares; muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Bt1 46-68 cm; 7,5YR 4/6 (úmida); franco argilosa; moderada, média/grande, blocos subangulares; friável; plástica e pegajosa; transição clara e plana.

Bt2 68-102 cm; 5YR 4/6 (úmida); franco argilosa; moderada, média/grande, blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; friável; plástica e pegajosa; transição clara e plana.

Bt3 102-135+ cm (coletado por tradagem); 5YR 4/6 e mosqueado pequeno pouco 10YR 5/6 (úmida); franco argilosa/argila.

Raízes: Muitas no A; comuns no AB e poucas no Bt1 e Bt2.

Perfil 2: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico

Data: 22/03/2013

Localização: Jardim Botânico do município de Porto Alegre (0482870-6675544 UTM).

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço médio da encosta, com 18 a 20% de declive, sob área com espécies tropicais.

Altitude: 30 m.

Material de origem: granito e gnaisse com grau de metamorfismo variado, composto por quartzo, feldspato, mica e biotita. Pré-Cambriano.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: ondulado a forte ondulado.

Relevo regional: suave ondulado a ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: floresta estacional semidecidual e savana.

Uso atual: campo para pousio.

Descrito e coletado por: Luís Fernando da Silva, Paulo César do Nascimento, Danilo Fagundes e Edsleine Ribeiro.

Descrição Morfológica

A 0-25/30 cm; 10YR 3/4 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, pequena, granular, moderada, pequena/média, blocos subangulares; muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e irregular.

A/B 25/30-55/60 cm; 2,5YR 4/8 e mosqueado pequeno pouco 10YR 3/6 (úmida); franco argilosa; moderada, pequena/média, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e ondulada.

Bi 55/60-80/85 cm; 2,5YR 4/8 e variegado 7,5YR 4/6 (úmida); franco argilosa; moderada, média/grande, blocos subangulares; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e ondulada.

Cr1 80/85-120 cm; 5YR 5/8 (úmida); argilo arenosa/franco argilo arenosa; moderada, média/grande, maciça, que se desfaz em blocos subangulares; muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Cr2 120-140 cm (coletado por tradagem); 5YR 4/6 e mosqueado pequeno pouco 2,5Y 8/1 (úmida); argilo arenosa/franco argilo arenosa.

Cr3 140-160+ cm (coletado por tradagem); 7,5YR 8/4 (úmida); argilo arenosa/franco argilo arenosa.

Raízes: Comuns no A; poucas no A/B e raras no Bi, Cr1.

Perfil 3: Planossolo Háptico Distrófico gleissólico

Data: 27/03/2013

Localização: Jardim Botânico do município de Porto Alegre (0482782-6675563 UTM).

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: sopé, com 0 a 2% de declive, sob área com cultivo de *Fabaceae*.

Altitude: 25 m.

Material de origem: granito e gnaiss com grau de metamorfismo variado, composto por quartzo, feldspato, mica e biotita. Pré-Cambriano.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: plano.

Relevo regional: suave ondulado a ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: imperfeitamente drenado.

Vegetação primária: floresta estacional semidecidual.

Uso atual: paisagismo.

Descrito e coletado por: Luís Fernando da Silva, Paulo César do Nascimento e Robberson Setubal.

Descrição Morfológica

A 0-20/27 cm; 10YR 3/3 (úmida); areia franca; moderada, pequena, granular, moderada, pequena/média, blocos subangulares; muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.

E 20/27-60/62 cm; 10YR 4/4 (úmida); areia; moderada, pequena, granular, moderada, pequena, blocos subangulares; solta; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana/ondulada.

EB 60/62-105 cm; 7,5YR 4/3 (úmida); franco arenosa; moderada, média/grande, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Btg1 105-120 cm; 10YR 4/3 (úmida); franco argilo arenosa; maciça; plástica e pegajosa (molhada).

Btg2 120-150+ cm (coletado por tradagem); 10YR 6/1 e mosqueado médio abundante 10YR 5/8 (úmida); argila; firme (úmida); muito plástica e pegajosa (molhada).

Raízes: Muitas no A; comuns no E e raras no EB e Btg1.

Perfil 4: Gleissolo Melânico Tb Eutrófico típico

Data: 17/04/2013

Localização: Jardim Botânico do município de Porto Alegre (0483054-6675678 UTM).

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: várzea, com 2 a 3% de declive, sob área de nativas e espécies higrófilas.

Altitude: 24 m.

Material de origem: granito e gnaiss com grau de metamorfismo variado, composto por quartzo, feldspato, mica e biotita. Pré-Cambriano.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: plano.

Relevo regional: suave ondulado a ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: mal drenado.

Vegetação primária: higrófilas.

Uso atual: conservação.

Descrito e coletado por: Luís Fernando da Silva, Paulo César do Nascimento e Robberson Setubal.

Descrição Morfológica

A 0-15 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); franco argilo arenosa; grumosa; muito friável; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AC 15-40 cm; 10YR 3/2 e mosqueado pequeno pouco 5YR 4/6 (úmida); franco argilo arenosa; fraca, média, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Cg1 40-60 cm; 10YR 3/1 (úmida); franco argilo arenosa; maciça; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa (molhada).

Cg2 60-90+ cm (coletado por tradagem); 10YR 5/6 e mosqueado pequeno pouco 10YR 4/2 (úmida); franco argilosa; muito plástica e pegajosa (molhada).

Raízes: Muitas no A; comuns no AC e poucas no Cg1.

Apêndice 2. Imagens dos locais de estudo dos solos.



Imagem 1. Trincheira do Perfil 1, durante a descrição morfológica e coleta do solo.



Imagem 2. Perfil 2, durante a coleta de amostras indeformadas para a determinação da densidade e porosidade do solo.



Imagem 3. Ambiente do Perfil 3, durante a abertura de trincheira para a descrição morfológica e coleta de amostras do solo.



Imagem 4. Ambiente do Perfil 4, durante a descrição morfológica e coleta de amostras do solo.