

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

**PROCESSOS PEDOGENÉTICOS, CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO  
DE SOLOS EM TOPOSSEQUÊNCIA GRANÍTICA NA REGIÃO SUDESTE DE  
PORTO ALEGRE**

**Paula Suélen Corrêa de Medeiros**

**(Dissertação)**

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

**PROCESSOS PEDOGENÉTICOS, CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO  
DE SOLOS EM TOPOSSEQUÊNCIA GRANÍTICA NA REGIÃO SUDESTE DE  
PORTO ALEGRE**

PAULA SUÉLEN CORRÊA DE MEDEIROS

Engenheiro-Agrônomo (UFSM)

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

Porto Alegre (RS) Brasil  
Fevereiro de 2010

“Dedico esta obra a minha  
adorada mãe, Nirma Souza Corrêa, por  
ter me ensinado a lutar com amor,  
coragem e principalmente  
honestidade...”

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar à vida e estar sempre comigo;

À minha Mãe, pelo carinho, cuidado e ensinamentos, por também estar sempre comigo, por me dar irmãos maravilhosos, que também estão sempre comigo. À Luciana, Liliana e Pedro, meus irmãos companheiros de fé... Pelo apoio sempre (um obrigado ao “Bibi”, gatinha da mãe); Ao meu pai, Paulo Roberto de Medeiros pelo apoio na graduação;

Ao orientador Professor Paulo César, pela oportunidade, confiança, dedicação, respeito, pelos ensinamentos, tanto profissionais quanto morais, pela amizade e também pela grande paciência;

Ao Co-Orientador Professor Alberto Vasconcellos In da pelos ensinamentos, dedicação, amizade e principalmente pela paciência;

À minha irmã mais nova, Liliana (Tita) por ser minha “mãe” aqui em Porto Alegre;

Ao Engenheiro Agrônomo Pablo Miguel, por toda a ajuda e companheirismo, pelos conselhos, pelos abraços nas horas difíceis, por estar sempre comigo mesmo estando em fase final de dissertação de mestrado;

À D.Maria pela acolhida em sua casa como membro da família, pela confiança, pelos conselhos, por tudo... , à sua família por serem como irmãos e pela à (gata) pela companhia nos estudos de madrugada;

Ao Laboratorista Adão por ser com um “segundo co-orientador”, por toda a paciência, confiança e dedicação... Ao laboratório de química (seus membros – Fernanda, Christina, Rosele, Liane) pela acolhida e ajuda;

Aos Amigos da gênese, pela acolhida e amizade, – ao amigo Lula (Luís de França) pelo companheirismo, amizade e vídeos engraçados; ao amigo Diego Silva pela ajuda nos trabalhos, amizade e paciência;

Às Amigas Graciela, por sempre estar comigo mesmo longe e por me fazer rir nos momentos difíceis, Juliana por ter me ajudado nas formatações e ser uma grande amiga, Camila e família pelo carinho e pela amizade sempre, Carla pela amizade, carinho e pelos “chazinhos” quando estava triste;

Aos Professores, colegas e funcionários do PPG Ciência do Solo – UFRGS pela acolhida, ensinamentos e ajuda (Ao Seu Licínio pela ajuda, fundamental na abertura de trincheiras);

Ao Professor Ricardo Dalmolin da UFSM, pela orientação na graduação, pelos ensinamentos e pelo exemplo profissional a ser seguido e ao pessoal do Laboratório de Morfologia, Gênese e Classificação de Solos do Departamento de Solos da UFSM pela ajuda na determinação das análises granulométricas deste trabalho;

Ao Professor Fabrício Pedron da UFSM pelo “empurrão” na carreira da pesquisa, pelos ensinamentos, descontração no laboratório, amizade e por aceitar fazer parte da comissão de avaliação deste trabalho.

Aos Professores Élvio Giasson e Egom Klamt por aceitarem fazer parte da comissão de avaliação deste trabalho;

Ao proprietário da área de estudo, Luciano Macedo, pela ajuda nas trilhas e colaboração em nosso trabalho;

À família (tias e tios queridos, avó, primas e primos) pelo apoio e por torcerem sempre por mim;

Aos amigos que torceram pelo meu sucesso e felicidade e que acreditaram na realização deste trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

“A todos que de alguma forma colaboraram pela realização deste trabalho, seja com uma palavra de apoio, um sorriso ou mesmo um pensamento...*eu agradeço.*”

“O senhor é meu pastor, nada me faltará. Mesmo que eu atravesse os vales sombrios, nenhum mal temerei”, pois Tu estas comigo..”

*Salmo 23*

# PROCESSOS PEDOGENÉTICOS, CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM TOPOSEQUÊNCIA GRANÍTICA NA REGIÃO SUDESTE DE PORTO ALEGRE <sup>1</sup>

**Autor:** Paula Suélen Corrêa de Medeiros

**Orientador:** Paulo César do Nascimento

**Co-Orientador:** Alberto Vasconcellos Inda

## RESUMO

A compreensão dos processos de formação de solos e de sua distribuição na paisagem é um aspecto importante para estudos sobre a capacidade de suporte e a resiliência a impactos ambientais de diferentes tipos. Com base no exposto, os objetivos do trabalho foram caracterizar a morfologia, os atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos em toposequência na região Sudeste de Porto Alegre, bem como avaliar a natureza e intensidade dos processos pedogenéticos envolvidos na formação destes solos e a classificação segundo o Sistema Brasileiro de Classificação e Soil Taxonomy. Foram realizadas descrições morfológicas de quatro perfis de solos e coletado material para determinar granulometria, área superficial específica (ASE), índice de uniformidade (VU), complexo sortivo, ataque por  $H_2SO_4$  e determinações dos índices  $K_i$  e  $K_r$ , bem como teores de ferro extraído com ditionito citrato bicarbonato ( $Fe_d$ ) e com oxalato de amônio ( $Fe_o$ ). Foi realizada difratometria por Raios – X (DRX) na fração menor que 2 mm. Também foram coletadas amostras indeformadas para determinar a condutividade hidráulica saturada (K), a porosidade total (Pt) e a densidade do solo (Ds). Os perfis descritos mostraram-se profundos, com gradiente textural acentuado e cores amareladas. Não apresentaram indícios de descontinuidade litológica (índice VU < 0,6). A ASE (inferior a  $36\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ ), a  $CTC_{pH7}$  (inferior a  $13\text{ cmol}_c\text{ Kg}^{-1}$ ), o silício, o alumínio (obtidos pelo ataque sulfúrico) e o  $Fe_d$  (inferior a  $19,5\text{ cmol}_c\text{ Kg}^{-1}$ ) apresentaram relação positiva com a argila. A K foi entre 7,2 e  $40\text{ cm h}^{-1}$ , sendo os maiores valores nos horizontes superficiais A, enquanto a Ds maior que  $1,38\text{ g cm}^{-3}$  em todos os horizontes avaliados. Foram verificados valores de  $K_i$  e  $K_r$  maiores que 0,75, indicando solos cauliniticos e a DRX indicou predominância de quartzo e presença de caulinita que aumenta em profundidade. Os resultados indicaram a ocorrência do processo de lessivagem como formador mais expressivo do gradiente textural em grau de desenvolvimento variável e os perfis foram classificados como Argissolos Amarelos (Alfisol e Ultisols) e Neossolo Litólico (Entisol).

---

<sup>1</sup> 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 (66p.) Fevereiro, 2010. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES.

# PEDOGENIC PROCESSES, CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF GRANITIC TOPOSEQUENCE SOILS IN THE SOUTHEAST OF PORTO ALEGRE<sup>1</sup>

**Author:** Paula Suélen Corrêa de Medeiros

**Adviser:** Paulo César do Nascimento

**Co-Adviser:** Alberto Vasconcellos Inda

## ABSTRACT

Understanding the formation processes of soils and their distribution in the landscape is an important aspect of studies on support capacity and resilience to environmental impacts of different types. On this basis, the objectives were to characterize soils morphology and physical, chemical and mineralogical characteristics into toposequence in the southeastern region of Porto Alegre, and assess the nature and intensity of pedogenic processes involved in the formation of these soils and ranking second the Brazilian System of Soil Classification and Soil Taxonomy. Morphological descriptions were conducted in four soil profiles and collected materials to determine particle size, specific surface area (SSA), uniformity index (VU), chemical composition, attack by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and determinations of the Ki and Kr indexes, as well as content of iron extracted by dithionite citrate bicarbonate (Fe<sub>d</sub>) and ammonium oxalate (Fe<sub>o</sub>). X-rays diffraction (XRD) was performed in the fraction smaller than 2 mm. Undisturbed samples were also collected to determine the saturated hydraulic conductivity (K), total porosity (Pt) and bulk density (Ds). The profiles described were shown to be deep, with high textural gradient and color yellow. No evidence of lithological discontinuity (VU index <0.6). The ASE (less than 36 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), the CEC (less than 13 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), silica, aluminum (obtained by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and the Fe<sub>d</sub> (less than 19.5 cmol<sub>c</sub> Kg<sup>-1</sup>) were positively related with clay. The K was between 7,2 and 40 cm h<sup>-1</sup>, and the higher values was in surface horizons, while the Ds greater was than 1.38 g cm<sup>-1</sup> at all horizons. Were verified Ki and Kr greater than 0,75, indicating kaolinitic soils and XRD indicated a predominance of quartz and presence of kaolinite, which increases in depth. The results indicated the occurrence of the lessivage process acting in the formation of the textural gradient in degree of development variable and profiles were classified as Ultisols, Alfisol and Entisol.

---

<sup>1</sup> 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 (66p.) February , 2010.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>SUMÁRIO</b> .....	ix
<b>RELAÇÃO DE TABELAS</b> .....	xi
<b>RELAÇÃO DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1. Geologia de Porto Alegre .....	3
2.2. Intemperismo e formação do perfil de solo derivado do Granito .....	4
2.3. Processos pedogenéticos atuantes nas áreas de morros de Porto Alegre .....	7
2.4. Distribuição dos solos na paisagem e tipos de solos nas áreas graníticas de Porto Alegre .....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
3.1. Caracterização da área em estudo .....	13
3.2. Descrição morfológica e amostragem de campo .....	15
3.3. Atributos físicos .....	16
Granulometria, grau de flocculação, índice de uniformidade (VU) e área superficial específica (ASE) .....	16
Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada .....	17
3.4. Atributos químicos .....	18

Complexo sortivo .....	18
Dissoluções seletivas .....	18
3.5. Mineralogia do solo.....	20
3.6. Análises estatísticas .....	20
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
4.1. Morfologia .....	21
4.2. Atributos físicos .....	25
Granulometria, grau de flocculação, índice de uniformidade (VU) e área superficial específica (ASE).....	25
Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada.....	27
4.3. Atributos químicos .....	31
Complexo sortivo .....	31
Teores de silício, alumínio, titânio, manganês, potássio e Fe obtidos por ataque sulfúrico, índices Ki e Kr .....	33
Teores de ferro .....	37
4.4. Mineralogia .....	41
4.5. Enquadramento dos solos nos sistemas de classificação .....	46
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>
<b>7. APÊNDICE .....</b>	<b>57</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

1. Descrição morfológica dos perfis de solos estudados.....	22
2. Distribuição granulométrica, grau de flocculação e área superficial específica da fração TFSA.....	25
3. Análises físicas, a partir de amostras indeformadas, para os horizontes A e B .....	29
4. Análise química dos perfis de solos estudados .....	32
5. Teores de ferro e relações; Al, Si, Ti, Mn, K; Índices Ki ( $1,7 * SiO_2/Al_2O_3$ ) e Kr [ $1,7 * SiO_2/Al_2O_3 + (0,6 * Fe_2O_3)$ ] .....	34
6. Classificação dos perfis de solos estudados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e no Soil Taxonomy.....	48

## RELAÇÃO DE FIGURAS

1. Mapa da geologia do Município de Porto Alegre (1: 50000). Philipp (2008)..	5
2. Representação parcial da Série de Goldich de estabilidade dos minerais das rochas graníticas (Carrol, 1970).	6
3. Levantamento de Solos do Município de Porto Alegre (1: 50000). Schneider et al (2008)..	10
4. Distribuição dos solos no morro São Pedro, Porto Alegre RS (Foto: Paulo Backes, 2008)..	11
5. Localização do município de Porto Alegre. (Fonte: Google Earth, data da imagem: 24/09/07).	13
6. Imagem do município de Porto Alegre (a). Localização da área em estudo e pontos de coleta, Morro da Extrema, zona sudeste de Porto Alegre. (b). (Fonte: Google Earth, data da imagem: 24/09/07).	15
7. Relação entre a área superficial específica (ASE) com a fração argila (a) e distribuição da ASE em profundidade (b).	28
8. Relações entre condutividade hidráulica (a) e microporosidade (b) com a distribuição granulométrica	29
9. Teores dos elementos Si, Al, Ti, Mn, K e Fe (obtidos por ataque sulfúrico) no perfil de solo	35
10. Relações do silício e alumínio (obtidos pelo ataque sulfúrico) com a fração argila.	35
11. Distribuição do índice Ki e Kr em profundidade	37
12. Relação entre ferro pedogênico ( $Fe_d$ ) e distribuição granulométrica (a), relação $Fe_o/Fe_d$ e carbono orgânico (b) e Relação $Fe_d$ e área superficial específica (ASE) (c)	38
13. Distribuição das relações $Fe_o/Fe_d$ e $Fe_d/Fe_s$ em profundidade nos perfis de solos estudados	40

<b>14.</b> Difratograma de raios-X da rocha inalterada.....	42
<b>15.</b> Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P1.....	43
<b>16.</b> Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P2.....	44
<b>17.</b> Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P3.....	45
<b>18.</b> Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P4.....	46
<b>19.</b> Imagem do Perfil 1.....	58
<b>20.</b> Imagem do Perfil 2.....	61
<b>21.</b> Imagem do Perfil 3.....	63
<b>22.</b> Imagem do Perfil 4.....	65

## 1. INTRODUÇÃO

O Município de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, apresenta 476,30 Km<sup>2</sup> em extensão de área sendo que os morros representam 24 % da área do município, e nestes morros encontram-se 10 % da mata nativa local. A posição de transição entre regiões fisiográficas, como Depressão Central, Escudo Rio-Grandense e Planície Costeira, em que se encontra o Município, gerou uma complexidade dos materiais geológicos, sendo que áreas de relevos ondulados à forte ondulados são formadas por uma diversidade de corpos graníticos. Observando o levantamento de solos de Porto Alegre, na escala 1: 50000 (Schneider et al, 2008), percebe-se uma dominância de Argissolos Vermelho-Amarelos associados a Cambissolos Háplicos, desenvolvidos a partir de granitos em áreas de relevos irregulares, bem como associações entre Cambissolos Háplicos a Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, ocupando parte do município, também de origem granítica. Schneider et al (2008); Bastos (1991) e Schneider et al (1974) localizam a ocorrência de Cambissolos Háplicos nas encostas dos morros (declividades entre 8 e 20 %).

O horizonte diagnóstico subsuperficial B incipiente (Embrapa, 2006), característico de Cambissolos, é descrito como tipicamente intermediário entre alguns horizontes diagnósticos e com grau de intemperismo fraco, devido a pouca idade ou baixa intensidade de formação do solo. Além de não ser formado por um único processo pedogenético específico e dominante, mas sim por vários (Breemen e Buurman, 1998), não pode atender os requisitos exigidos para horizonte subsuperficial B textural, como aumento de argila em profundidade (gradiente textural acentuado) (Embrapa, 2006).

Contudo, na área em estudo, a localização da ocorrência dos Cambissolos Háplicos não se mostra tão clara, pois determinações de

características morfológicas a campo mostram que os fatores de formação do solo estão favorecendo o desenvolvimento de processos de eluviação / iluviação. Isto resulta em solos com acúmulo de argila em profundidade (gradiente textural acentuado) mesmo nas posições de relevo que são relativas à presença de solos com horizonte B incipiente. Silveira (1984) verificando a variabilidade dos solos na paisagem na encosta do Sudeste do RS percebeu dificuldade em diferenciar no campo Cambissolos Háplicos de Argissolos Vermelho-Amarelos, derivados de rochas graníticas.

A compreensão dos processos de formação e dos padrões de distribuição dos solos nas áreas de morros de Porto Alegre é um aspecto importante para estudos sobre a capacidade de suporte e resiliência destas áreas a impactos ambientais. Bertoni e Lombardi Netto (1990) ressaltam que a determinação da tolerância de perdas de solo leva em consideração aspectos como a profundidade do solo e a relação textural entre os horizontes superficial e subsuperficial, critérios nos quais os principais solos ocorrentes nas áreas estudadas (Argissolos, Cambissolos e Neossolos) diferenciam-se de forma expressiva. Os autores ainda definem valores de perda de solo para Argissolos, de 6,5 a 9,0 Mg/ha.ano, e para os Neossolos Litólicos, de 1,9 a 7,3 Mg/ha.ano. Kampf et al (2008), ao definir critérios para a avaliação dos solos quanto à suscetibilidade a impactos ambientais, também ressaltam a importância do gradiente textural no perfil, bem como, profundidade do solo, mineralogia e textura.

Baseado nas hipóteses de que há a presença do processo de lessivagem formando gradiente textural nos perfis de solos graníticos em Porto Alegre, mesmo em áreas onde os processos de intemperismo físico e químico são pouco desenvolvidos; e que os Cambissolos ocupam áreas de menor extensão e apresentam características de transição para uma das classes predominantes, os objetivos do trabalho foram: i) estudo das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de perfis de solos em topossequência na região Sudeste de Porto Alegre; ii) avaliação da natureza e intensidade dos processos pedogenéticos envolvidos na formação dos solos; (iii) enquadramento dos solos avaliados nas classes estabelecidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) e no “Sistema Americano” de classificação de solos (Soil Taxonomy - Soil Survey Staff, 1999).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Geologia de Porto Alegre**

O município de Porto Alegre encontra-se em uma posição de transição entre regiões fisiográficas como Depressão Central, Escudo Rio-Grandense e Planície Costeira, apresentando uma complexidade nos materiais geológicos. A maioria do substrato rochoso em Porto Alegre é formada por material granítico que se destaca no relevo pelo conjunto distinto de cristas, morros e coxilhas, representando os diferentes tipos de granitos identificados nesta região. Esse material granítico faz parte do Batólito Pelotas, principal unidade da antiga cadeia de montanhas conhecida como Cinturão Dom Feliciano. As unidades graníticas do Batólito Pelotas são separadas em sete conjuntos principais denominadas suítes intrusivas que são elas: Suíte Dom Feliciano; Complexo Pinheiro Machado; Suíte Encruzilhada do Sul; Suíte Viamão; Suíte Piquiri; Suíte Erval e Suíte Cordilheira. Fragoso César (1986) define a ocorrência principal da Suíte Dom Feliciano e Complexo Pinheiro Machado no município de Porto Alegre. No mapa geológico da folha de Porto Alegre (Schneider et al, 1974) os corpos graníticos foram divididos em cinco unidades litólicas distintas, que são migmatitos homogêneos (atualmente granito Viamão), granito Independência, granito Canta Galo, granito Ponta Grossa, granito Santana. Associados a estas unidades ocorrem diques de riólitos, dacitos e diabásios.

Outro material que compõe a geologia do Município com pequena participação é o gnaiss, encontrado na região central, sendo primeiramente classificados por Schneider et al (1974) como migmatitos heterogêneos. Este material é originado da antiga crosta continental da porção sul da Plataforma Sul Americana, fragmento do cinturão Dom Feliciano. Um material mais jovem,



formado por sedimentos lacustres e marinhos e também por sedimentos de rochas ígneas e metamórficas, originou-se ao longo das margens do Rio Guaíba. São materiais sedimentares areno-argilosos com grau variável de consolidação, associados à matriz argilosa e óxidos de ferro, como agentes cimentantes.

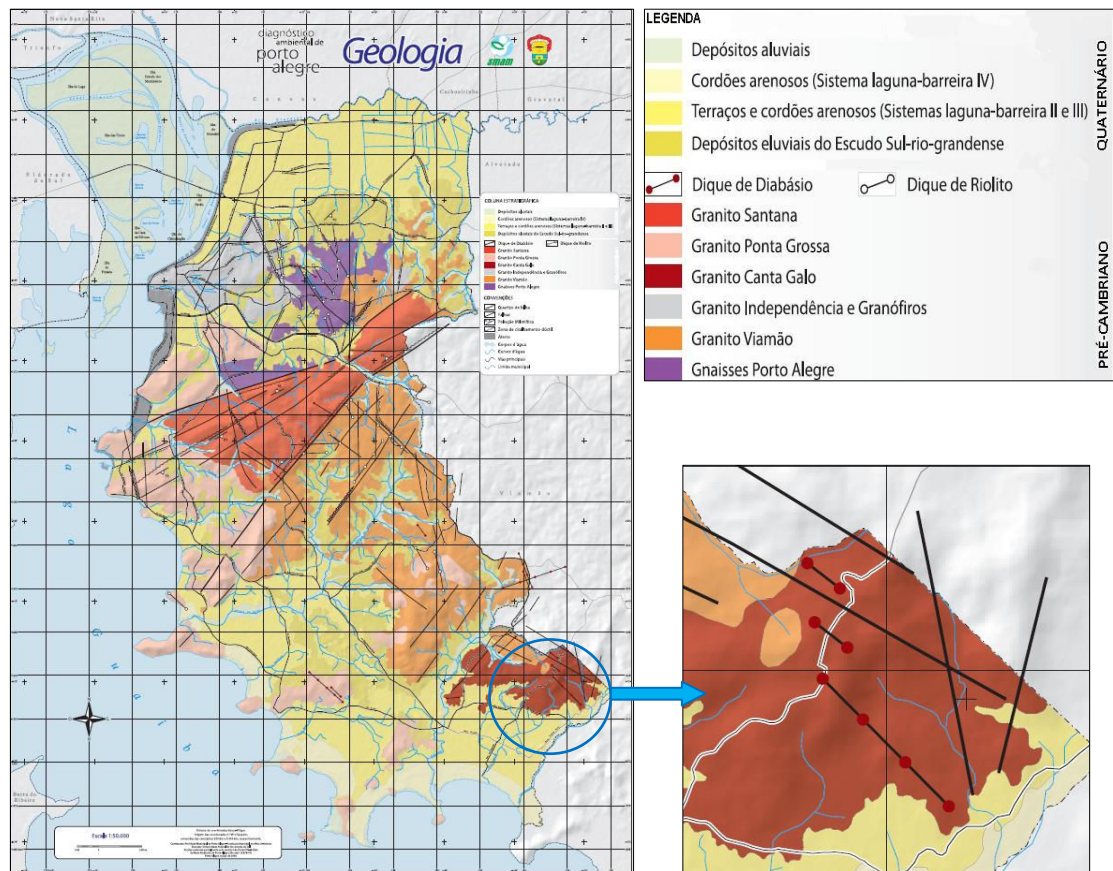
A Figura 1, mapa da geologia, proposto no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (Philipp, 2008) mostra que os corpos graníticos ocupam grande parte do território do município. O Granito é uma rocha ígnea intrusiva, isto é, é formada pela solidificação de massas em fusão ígnea, vindas de regiões profundas da Terra, e que se solidificam no interior da crosta terrestre. A textura expressa as condições geológicas em que se formaram estas rochas, sendo observadas no tamanho e na disposição dos minerais que as constituem, enquanto que a natureza mineralógica dos cristais, ou mesmo vidro, se for o caso, observa-se na composição química aproximada do magma (Menezes, 2008).

Os granitos são constituídos de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), feldspato potássico ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}$ ), feldspato calco-alcálico ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}/ \text{Na}_2\text{O}$ ), mica biotita ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{K}_2\text{O}$ ) e mica moscovita ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}$ ), mais ainda uma participação de hornblenda em menor proporção e outros minerais acessórios. São rochas que apresentam textura fanerítica equigranular, isto é, formada por grãos cristalinos de diâmetro superior a cinco milímetros, apresentando pouca variação granulométrica. São rochas ácidas, apresentando muita sílica em sua estrutura. Do ponto de vista da coloração, os granitos vão desde cores claras até tons de cinza escuros dada pelo principal feldspato presente (Philipp, 2008).

## **2.2. Intemperismo e formação do perfil de solo derivado do Granito**

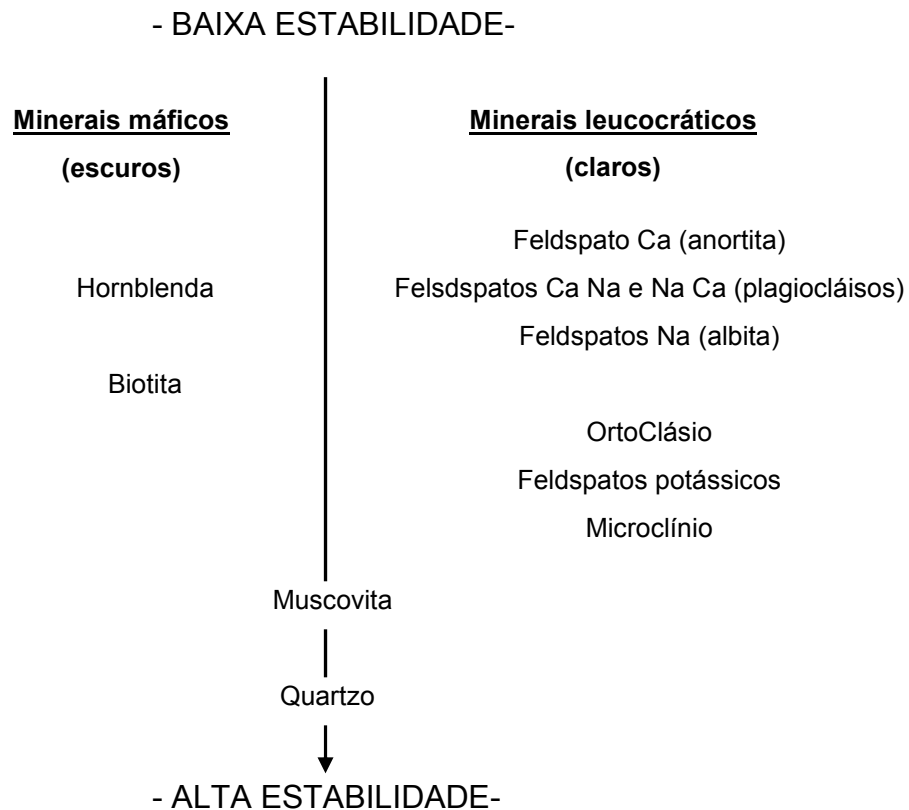
O intemperismo pode ser entendido como o fenômeno de transformação dos minerais formadores da rocha, ajustando-se às novas condições da superfície terrestre. Conceitualmente, é o conjunto dos processos químicos, físicos e biológicos, capaz de transformar o material maciço em um material friável, como exemplo o solo. Reiche (1950), com base na série de Goldich de estabilidade dos minerais das rochas graníticas (Figura 2), estabelece que em média o granito seja quase três vezes mais resistente ao

intemperismo que um basalto.



**Figura 1.** Mapa da geologia do Município de Porto Alegre (1: 50000). Philipp (2008). Detalhe no mapa da região composta por Granito Canta Galo, com diques de diabásio.

Azambuja (1970) descreveu o perfil de intemperismo para rochas graníticas e usou o caso de alteração de um granito composto de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, mica biotita e hornblenda. Em seu estudo, o mesmo autor relata que os processos de intemperismo físicos aumentam o diaclasamento da rocha sã e facilitam a infiltração de água, principal componente do intemperismo químico. A degradação das paredes das fendas e a perda do brilho favorecem o aumento do diaclasamento formando blocos delimitados (contendo a rocha inalterada no seu interior). Com o aumento dos processos intempéricos, estes blocos graníticos transformam-se em núcleos de rochas dispersos em uma matriz arenosa, compostas por quartzo e K - feldspato pouco alterado e com pequeno teor de argila proveniente da decomposição dos minerais menos resistentes ao intemperismo químico como hornblenda e plagioclásio.



**Figura 2.** Representação parcial da Série de Goldich de estabilidade dos minerais das rochas graníticas (Carrol, 1970).

Continuando os processos intempéricos, os núcleos dispersos de rocha (matacões) desaparecem resultando em uma massa de solo argilo-arenoso que mantém feições estruturais da rocha. A partir daí o intemperismo é totalmente químico e chega a um estágio que todo o feldspato, assim como a hornblenda e a biotita, decompõe-se em argila, óxidos e cátions. Permanecem quimicamente inalterados os grãos de quartzo, e resulta um solo com grãos na fração areia dispersos em uma matriz argilosa.

Em estudos para caracterização geomecânica de solos em Porto Alegre, Bastos (1991) descreve um perfil de solo típico, formado em condições de boa drenagem das rochas graníticas, com seqüência de horizontes A, B, C, e R (contendo horizontes transicionais), sendo R a rocha inalterada e C é o horizonte que ainda apresenta feições da rocha, com matacões dispersos em uma matriz argilosa, com variedade de cores. O horizonte B, sendo a camada que sofreu intenso intemperismo químico, não apresenta mais feições da rocha inalterada, sendo composto por concentração de óxidos de ferro e alumínio, enquanto o horizonte A, mais superficial contém material orgânico proveniente dos processos intempéricos biológicos.

Na maioria das classes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006), o horizonte B é determinístico para o enquadramento de um perfil de solo no sistema, pois é o horizonte que apresenta maior expressão dos processos pedogenéticos. Este horizonte é formado abaixo dos horizontes A, E ou O e apresenta grande parte ou total alteração do material de origem, contendo materiais iluviais (argila, silicato, ferro, alumínio, húmus, carbonatos, gesso ou sílica), evidência de remoção de carbonatos, concentração residual de sesquióxidos e ainda estrutura granular, em blocos, ou prismática (Fanning e Fanning 1989). No campo, é identificado pela coloração mais “viva” (vermelha, amarela ou cinza), em comparação a horizontes A e C, bem como presença de agregados estruturais bem desenvolvidos, podendo ou não apresentar maior concentração de argila (Streck et al, 2008).

### **2.3. Processos pedogenéticos atuantes nas áreas de morros de Porto Alegre**

O solo é um corpo natural resultante da ação dos fatores de formação, isto é, da ação de agentes como organismos (o) e clima (cl), considerados elementos ativos, em um material de origem (mo), condicionados pelo relevo (r), durante um determinado período de tempo (t) (Jenny, 1941). Esses fatores agem e imprimem caracteres ao produto solo, sendo que o clima é colocado em evidência, pois a mesma rocha poderá formar solos completamente diferentes se expostas a ambientes climáticos diferentes, bem como microclimas diferentes. No entanto, rochas distintas podem formar solos idênticos quando sujeitas ao mesmo ambiente climático de intemperismo (Leinz e Amaral, 1998). Considerando que, no Município de Porto Alegre o ambiente climático não varia significativamente, pode-se estimar que, em perfis de solo expostos sob determinadas condições de relevo e vegetação, a influência destas, juntamente com a do material de origem, são bastante decisivas, já que as idades dos materiais geológicos dominantes nas áreas de morros no Município são semelhantes (período Pré-Cambriano).

Os processos pedogenéticos são a combinação dos fatores de formação do solo, e em Porto Alegre, as condições destes fatores nas áreas de relevo ondulado, clima subtropical úmido e material de origem com textura

grosseira, favorecem o desenvolvimento de processos de lessivagem (eluviação / iluviação de argila). Este processo se desenvolve devido à grande quantidade de água que infiltra no perfil de solo, proporcionado pela sua maior porosidade. O transporte por suspensão das partículas mais finas das camadas superficiais (eluviação) obstrui os poros das camadas mais subsuperficiais e estas partículas começam a se acumular, formando um horizonte mais adensado (iluviação) (Fanning e Fanning, 1989). Duchaufour et al (1982) relata o que o termo “lessivagem” geralmente significa o movimento vertical de materiais na solução do solo, mais especificamente, movimento das partículas em suspensão. Horizontes que recebem materiais minerais translocados (iluviais) são mais comumente horizontes B, e caracterizam o horizonte B textural, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) e Argilic horizon, no Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999).

O horizonte B textural, diagnóstico da classe dos Argissolos (Embrapa, 2006) é caracterizado por apresentar mais de 15% de argila, sendo uma concentração maior que no horizonte superficial A. Geralmente a argila presente neste horizonte é resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processo de iluviação, formando um gradiente textural.

Este gradiente textural (maior teor de argila no horizonte B) além de ser formado por processos de iluviação de argila, também pode se originar de processos secundários, como ferrólise (Almeida et al, 1997; Mafra et al, 2001). A ferrólise é freqüente em solos com drenagem imperfeita, com ciclos de umedecimento e secagem, logo, de redução e oxidação do íon Fe. Na fase de oxidação, a passagem de  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ , libera íons de  $H^+$  capaz de deslocar cátions da estrutura dos argilominerais, destruindo-os (van Ranst e Coninck, 2002) e assim a dissolução de argila pelo intemperismo torna o perfil de solo predominantemente mais arenoso no topo. Os solos que desenvolvem este processo de ferrólise geralmente apresentam mudança textural abrupta, cores mosqueadas e baixos valores de pH.

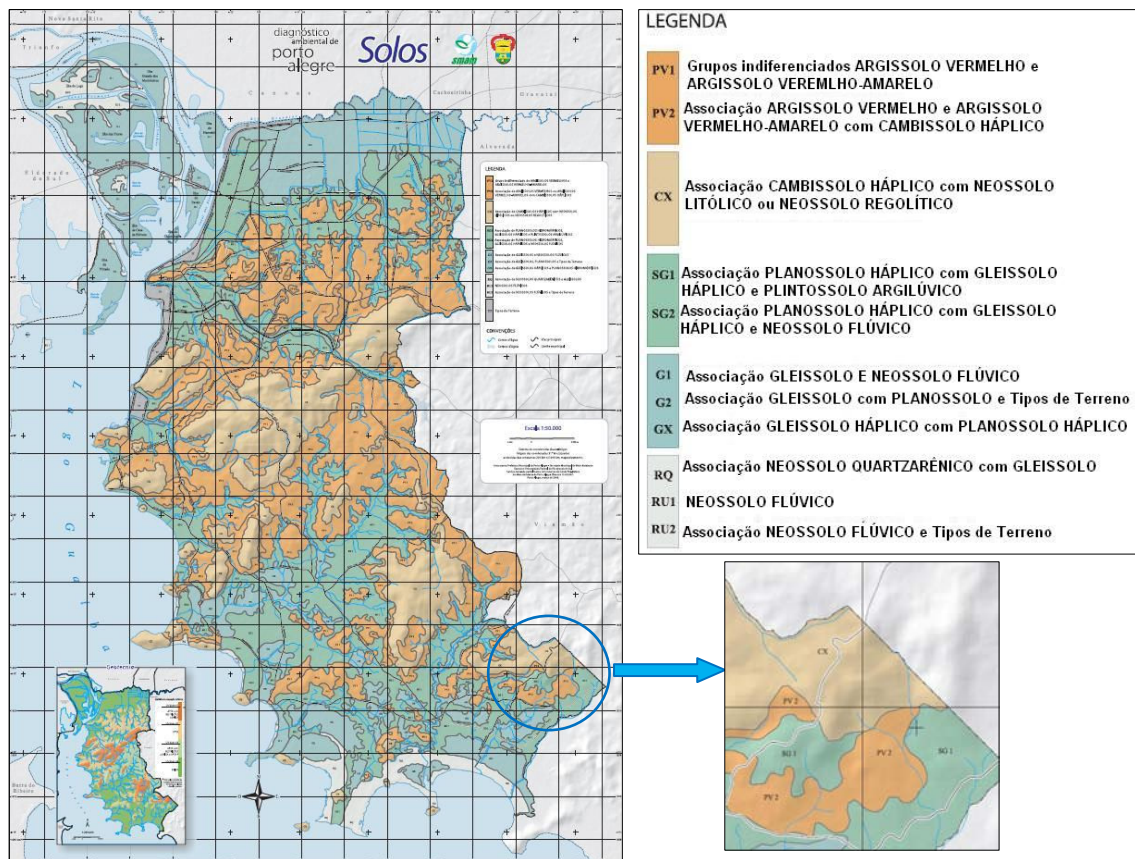
A neoformação de argilas a partir de minerais primários presentes no horizonte B, assim como a remoção por erosão seletiva também contribui para a formação do gradiente textural. Hugget (1976) concluiu em seu estudo que, assim como compostos químicos, materiais minerais em suspensão também

foram transportados lateralmente em solos da Inglaterra. Outra característica que pode favorecer o desenvolvimento do horizonte B textural são as descontinuidades litológicas, decorrentes da deposição de camadas sedimentares sobre um perfil já existente (Schaetzl, 1998). Como a formação do horizonte B textural em geral é um processo gradual, sua presença no perfil de solo indica alto grau de desenvolvimento.

#### **2.4. Distribuição dos solos na paisagem e tipos de solos nas áreas graníticas de Porto Alegre**

A variação horizontal ou variabilidade espacial dos solos está relacionada principalmente ao relevo, que em Porto Alegre é um fator de formação marcante. A região granítica do Município faz parte de uma região geomorfológica, denominada Planalto Sul Rio Grandense, constituída por formas de relevo que variam de colinas, pontas e até cristas. O relevo é contemplado por Buol et al (1997) como um fator real de formação do solo, que influencia significativamente no material de origem e tempo de mudanças erosivas e de deposições, e no clima e biota, devido ao regime hídrico diferenciado.

O mapa do levantamento de solos na escala 1:50000 do Município (Schneider et al, 2008) permite observar uma ocorrência significativa de Associações Argissolos Vermelho-Amarelos com Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, em áreas de relevos ondulados à forte ondulados sobre material granítico (Figura 3). Nos relevos ondulados, com declividades entre 8 a 20%, há uma maior infiltração de água no perfil de solo que, além de aumentar o intemperismo químico, aumenta juntamente o transporte vertical de argila, formando um horizonte B bem desenvolvido morfologicamente. É o caso da associação Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos, com horizonte B textural que apresentam cores avermelhadas a amareladas, são medianamente profundos, cascalhentos (dependendo da textura do granito) e com baixa atividade da fração argila (Schneider et al, 2008). As cores salientam as condições de drenagem em que se formaram, sendo mais vermelhos os solos com drenagem mais acentuada.



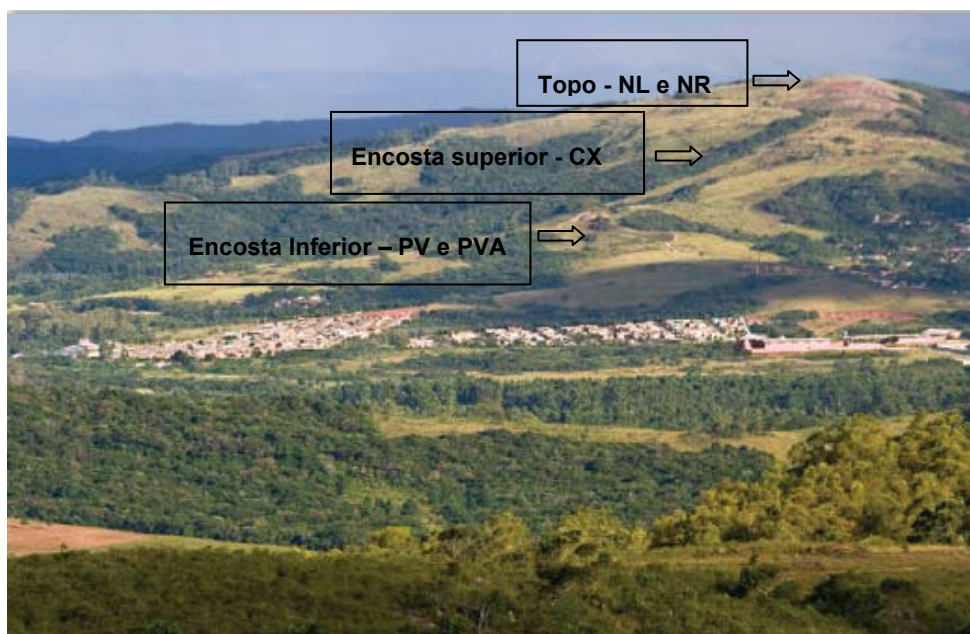
**Figura 3.** Levantamento de Solos do Município de Porto Alegre (1: 50000). Schneider et al (2008). Em destaque a região de ocorrência do Granito Canta Galo.

Em ambiente com relevo forte ondulado ocorrem solos com horizontes subsuperficiais menos desenvolvidos em termos de evolução pedogenética, como o B incipiente, caracterizando a classe dos Cambissolos. Nas encostas dos morros, o relevo forte ondulado favorece o transporte lateral, e mesmo que ocorra a infiltração de água no perfil, forma um horizonte B pedogenético pouco espesso, mas com estruturas bem desenvolvidas. Schneider et al (2008), localizam a ocorrência de Cambissolos Háplicos nas áreas com relevo forte ondulado, geralmente nas encostas dos morros graníticos (Figura 4). Estes solos caracterizam-se por serem solos rasos com textura cascalhenta podendo apresentar mosqueados (Bastos, 1991). Este mesmo autor relata que esta classe, em termos de evolução pedogenética dos solos, constitui uma fase intermediária na evolução de um perfil de Neossolo Litólico a um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Já em relevos montanhosos (acidentados) os solos são rasos e pouco evoluídos pedogeneticamente, pois a taxa de erosão natural por

transporte lateral é semelhante a pedogênese (Dalmolin et al, 2004). É o caso dos Neossolos Litólicos que são destacados por Schneider et al (2008) ocupando os topos dos morros em Porto Alegre (Figura 4), em relevos forte ondulados a escarpados. Os Neossolos Litólicos da região granítica apresentam sequência de horizontes A – C – R (ou A – R), cores brunadas a amareladas, textura cascalhenta são bem drenados, devido sua posição em relevo forte ondulado a ondulado, podendo apresentar drenagem imperfeita, quando desenvolvidos em depressões do relevo acidentado (Schneider et al, 2008). Ocorre, geralmente, associado aos Neossolos Regolíticos, que apresentam as mesmas características, diferenciando dos Neossolos Litólicos por apresentarem contato lítico (contato do horizonte A ou C, com a rocha inalterada – rocha que não é cortada pela pá de corte) a uma profundidade maior que 50 cm (STRECK et al, 2008).

Nas áreas mais planas, sopé dos morros, o processo de intemperismo por erosão natural é quase inexistente e a infiltração de água é limitada, pois se acumula na paisagem, transformando o clima do solo e favorecendo o desenvolvimento de processos pedogenéticos como ferrólise e formação *in situ*, formando assim os Planossolos e Plintossolos em áreas graníticas.



**Figura 4.** Distribuição dos solos no morro São Pedro, Porto Alegre RS (Foto: Paulo Backes, 2008). NL= Neossolo Litólico; NR= Neossolo Regolítico; CX= Cambissolo Háplico; PV= Argissolo Vermelho e PVA= Argissolo Vermelho- amarelo.



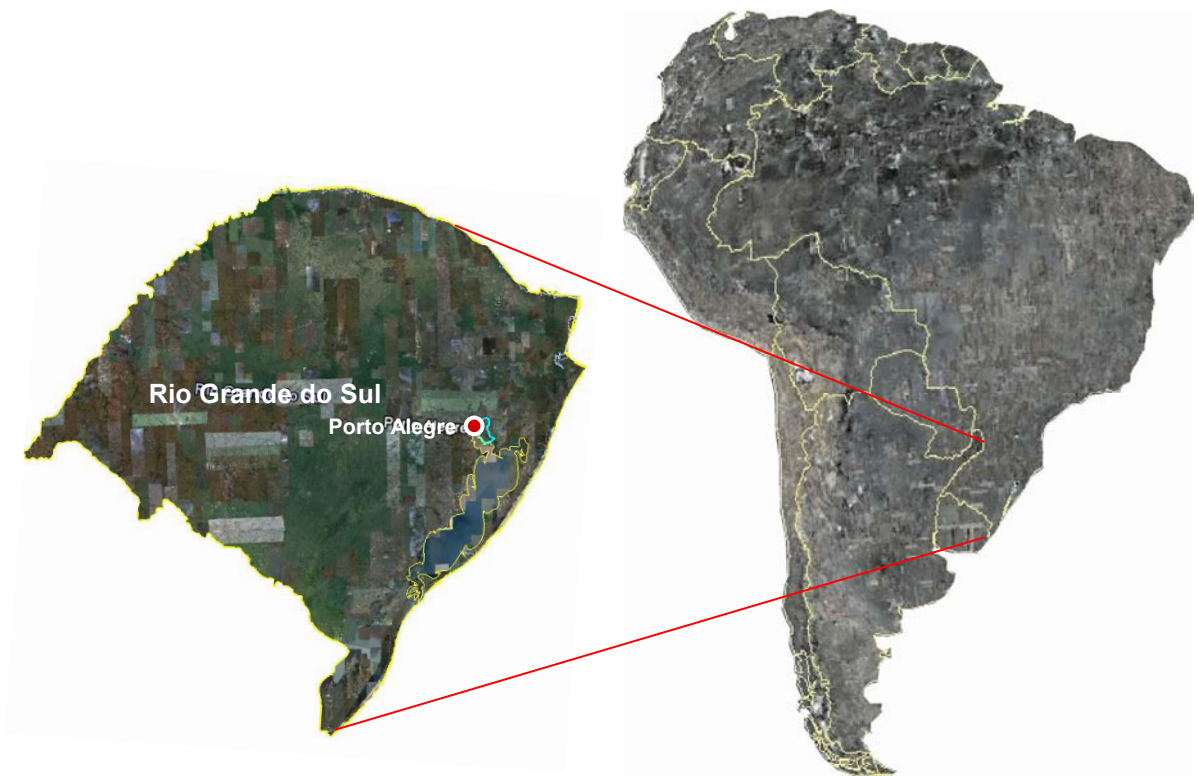
O Levantamento de Solos de Sentinela do Sul, RS (escala 1:50000), município que também se encontra em posição de transição entre regiões fisiográficas (Escudo Rio Grandense e Planície Costeira) mostra grande ocupação da sua área com Associações Argissolos Vermelho-Amarelos com Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos. Esta concordância com o Levantamento de Solos de Porto Alegre, esta relacionada às semelhanças em relação aos fatores de formação do solo, com reflexos na natureza e tipo de processos pedogenéticos. Assim, indica que Porto Alegre não é um caso a parte, em termos de evolução pedogenética, e que o estudo do comportamento dos processos pedogenéticos contribuiria não apenas ao município em estudo, como também a outras regiões que se encontram em condições ambientais semelhantes.

A relação solo-paisagem serve como ferramenta na distinção de ambientes pedogenéticos, que facilita o processo de mapeamentos dos solos (Lammers e Johnson, 1991). Dalmolin et al (2004), ressalta que a expressão da variabilidade espacial dos solos está intimamente ligada com sua escala de amostragem, isto é, o nível de detalhe em que o levantamento de solos está sendo realizado. Por isso, é aceitável nos mapas de levantamento de solos, a presença de inclusões em uma unidade de mapeamento simples. Essas inclusões são manchas de outra classe de solo, que ocorre devido às variações do relevo local e ocupam de 20 a 30% da área mapeada, dependendo da escala de publicação do mapa. Quando essas inclusões são maiores que 30% e ocorrem em padrões bem definidos geograficamente, as unidades de mapeamento são consideradas Associações de Solos, sendo as classes de solos mapeadas conjuntamente.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área em estudo

O presente estudo foi realizado no Município de Porto Alegre, na região leste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 5) entre as coordenadas geográficas 29°55'56" e 30°16'05" (S) - 51°01'08" e 51°16'00"(O). O clima da região é Subtropical úmido (Cfa), segundo Koppen, com temperatura média anual de 19,5°C e precipitação média em torno de 1300 mm ano<sup>-1</sup>. A distribuição da precipitação é regular entre as estações do ano, resultando em déficit hídrico no período de dezembro a abril.



**Figura 5.**Localização do município de Porto Alegre. (Fonte: Google Earth, data da imagem: 24/09/07).

Porto Alegre está inserido no bioma Pampa, estando próximo ao seu limite setentrional Nordeste, sofrendo influência do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004) e a vegetação predominante é de Floresta Estacional Semidecidual.

O trabalho foi realizado em propriedade particular, no Morro da Extrema, região Sudeste do Município (Figura 6). Esta região é composta por um corpo granítico denominado granito Canta Galo (detalhe da Figura 1), que se diferencia dos outros corpos graníticos da região por apresentar uma textura mais grosseira. Esta rocha ocorre de forma irregular, sendo um granito subalcalino, com textura equigranular grossa (8 a 10mm) e com feldspatos alcalinos apresentando-se com fenocristais disseminados, os quais, às vezes, zonados (Schneider, 1974). Philipp (2008) cita que o feldspato potássico é o principal mineral deste granito, mostrando cor alaranjada a rosa e formas quadráticas subédricas de 1 a 3 cm, enquanto o plagioclásio é branco, o quartzo é incolor e, a biotita apresenta coloração preta e ocorre na forma de agregados intersticiais. Há, nesta região, a presença de diques de diabásio (detalhe da Figura 1), que são manifestações tardias de magmatismo na região de Porto Alegre. Os diques básicos (diabásio) possuem estruturas maciças e espessura entre 1 a 4 metros, apresentam coloração preta, estrutura equigranular fina e são constituídos essencialmente por plagioclásio e piroxênios e com minerais acessórios, como magnetita, hornblenda e biotita.

Estes materiais, discutidos no último parágrafo, constituem os morros da Extrema e São Caetano, na região Sudeste de Porto Alegre, apresentando um manto de alteração muito espesso, na ordem de 10 a 40m de profundidade. Este manto de alteração, sobre o Granito Canta Galo, foi utilizado, ao longo das duas últimas décadas, como fonte de saibro para a região metropolitana do Município. A retirada deste material resultou na formação de uma grande depressão, que atualmente é utilizada para abrigar o Aterro Sanitário da Extrema (Philipp, 2008).

O Levantamento semidetalhado de solos de Porto Alegre - RS (1:50000) (detalhe da Figura 3) indica para a região Sudeste (área de estudo) a ocorrência de Cambissolos Háplicos associados a Neossolos Litólicos e Neossolo Regolíticos (Schneider, et al, 2008).

### 3.2. Descrição morfológica e amostragem de campo

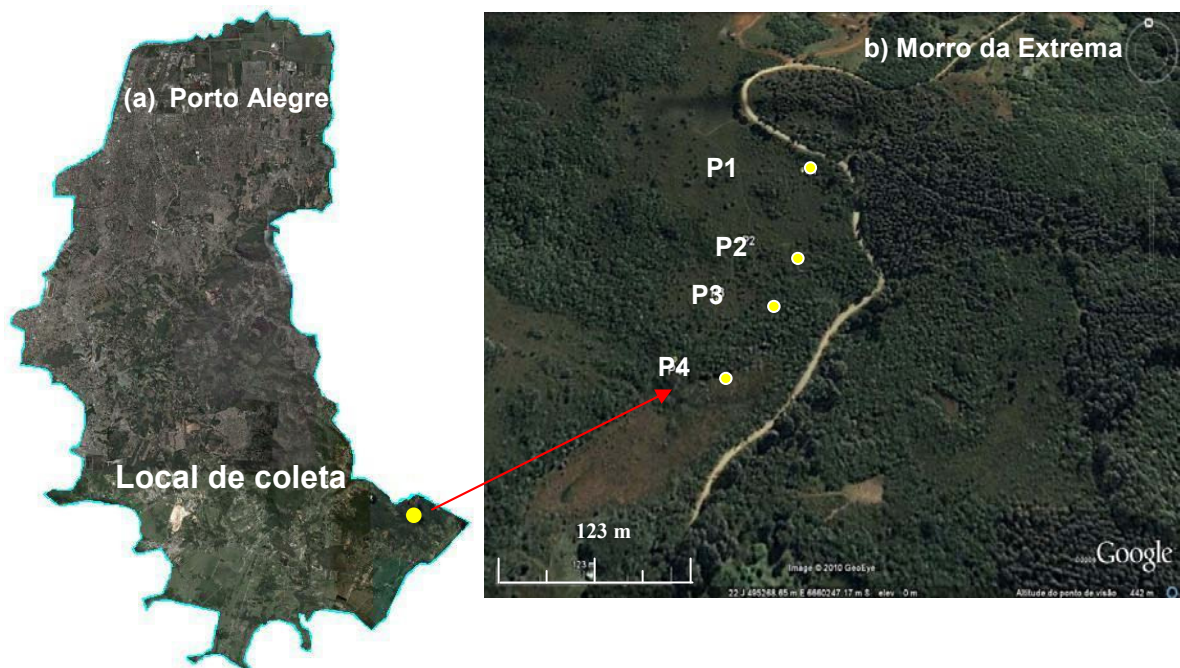
Foram abertas trincheiras em 4 pontos distintos em topossequência, onde se localizam perfis representativos dos solos da área, representados na figura 6b, conforme descrições:

**Perfil 1 (P1)** ( $30^{\circ}11'26,06''$  S –  $51^{\circ}02'43,70''$  O ) - topo aplainado do morro – campo sujo 30 anos, declividade 0-3%;

**Perfil 2 (P2)** ( $30^{\circ}11'28,33''$ S –  $51^{\circ}02'46,19''$ O) - terço superior – campo sujo 30 anos, declividade 35-38%;

**Perfil 3 (P3)** ( $30^{\circ}11'30,54''$ S -  $51^{\circ}02'46,95''$  O) - terço inferior- campo sujo 30 anos, declividade 13-15%;

**Perfil 4 (P4)** ( $30^{\circ}11'31,95''$ S -  $51^{\circ}02'48,19''$ O) - sopé da topossequência – mata ciliar de arroio, declividade 5-8%.



**Figura 6.** Imagem do município de Porto Alegre (a). Localização da área em estudo e pontos de coleta, Morro da Extrema, zona sudeste de Porto Alegre. (b). (Fonte: Google Earth, data da imagem: 24/09/07).

Os perfis foram descritos e coletados, conforme procedimentos indicados por Santos et al (2005). A cor dos horizontes foi definida conforme a Carta de Cores de Munsell. Foram coletadas amostras deformadas de todos os horizontes pedogenéticos destes perfis, que foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (peneira malha 2 mm) obtendo-se a fração terra fina seca ao ar

(TFSA) e a fração retida na peneira, determinando-se a porcentagem de cascalho.

Também foram coletadas amostras indeformadas em cilindros de Uhland com dimensões de 5 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro em duas profundidades com 3 repetições (horizonte superficial A e horizonte subsuperficial B – profundidades dos horizontes subsuperficiais encontram-se na Tabela 1).

### 3.3. Atributos físicos

*Granulometria, grau de flocculação, índice de uniformidade (VU) e área superficial específica (ASE)*

No laboratório de Morfologia, Gênese e Classificação de Solos, Departamento de Solos da UFSM, foi determinada a composição granulométrica (teores de areia, silte e argila). Após dispersão de 20 g da fração TFSA com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação mecânica por duas horas, a fração areia foi separada por tamisação úmida em peneira com malha de 0,053 mm, a fração argila determinada pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1997) e o silte calculado por diferença. Também foi obtida a argila dispersa em água, da mesma forma que foi determinada à composição granulométrica, porém não utilizando dispersante químico. A partir deste último dado foi calculado o grau de flocculação (GF) dos horizontes dos perfis avaliados.

$$GF (\%) = [(argila\ total / argila\ dispersa\ em\ água) / argila\ total] * 100.$$

Para verificar a presença de descontinuidade litológica no perfil, calcularam-se o valor de uniformidade (VU) adaptado de Schaetzl (1998), calculado a partir da razão entre as frações granulométricas:

$$VU = \{ [ (S + AF) / (A - AF) ] \text{ horizonte superficial} / [ (S + AF) / (A - AF) ] \text{ horizonte subjacente} \} - 1,0$$

em que VU é o valor de uniformidade; S é a fração silte; A é a fração areia; e AF é a fração areia fina.

Para a determinação da área superficial específica (ASE), que foi realizada no Laboratório de Raios-X, Departamento de Solos da UFRGS, foi

feita a pesagem de 1g de TFSA das amostras de solo (com duas repetições) e colocadas em vidros pesa filtro, com peso definido, tampados. Obtendo-se a pesagem das amostras de solo TFSA mais os vidros pesa filtro tampados, foram colocados em dessecador (vidros com tampas entreabertas) em atmosfera de 0 UR %, o que foi alcançado colocando-se uma placa de porcelana na base do dessecador com Pentóxido de Fósforo. Após 12 dias realizou-se mais uma pesagem (vidro tampado + amostra) e colocado novamente em dessecador com atmosfera de 20 UR %, obtendo-se esta condição colocando na base do dessecador uma placa de porcelana contendo uma pasta de Acetato Potássico. Após 12 dias foi realizada mais uma pesagem (vidro tampado + amostra). Considerando que uma molécula de água recobre  $0,108 \text{ nm}^2$ , calculou-se a ASE pela seguinte expressão:

$$\text{ASE (m}^2 \text{ g}^{-1}) = 6,02214 * 10^{23} * 0,108 \text{ nm}^2 * (\text{g água adsorvida/g amostra})$$

*Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada*

No laboratório de Física do Solo, Departamento de Solos da UFRGS saturou-se as amostras indeformadas por capilaridade por 48 h e após realizar a pesagem das amostras saturadas, submeteu-se a uma tensão equivalente a 60cm de coluna d'água por 72 h. Após drenagem, pesou-se novamente as amostras, obtendo-se a massa da amostra submetida a esta tensão (M60) e secou-se em estufa a  $105^\circ \text{ C}$  durante 48 h obtendo o peso seco da amostra. Assim a densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total (Pt), macroporosidade e microporosidade do solo foram obtidas pelas fórmulas, segundo metodologia de Embrapa (1997):

$$D_s (\text{g cm}^{-3}) = \text{Massa do solo seco (Mss)} / \text{Volume total (Vt)};$$

$$\text{Pt (\%)} = \text{Massa saturada [(Msat) - Mss/ Vt]} * 100;$$

$$\text{Macroporosidade (cm}^3\text{cm}^{-3}) = \text{Msat} - (\text{M60})/ \text{Vt};$$

$$\text{Microporosidade (cm}^3\text{cm}^{-3}) = \text{M60} - \text{Mss}/\text{Vt}.$$

A condutividade hidráulica saturada (K) foi determinada no Laboratório de Erosão dos Solos, Departamento de Solos da UFRGS, através

do Permeâmetro de carga constante (Cauduro e Dorfman, 1988). Para isso, as amostras indeformadas também foram saturadas por capilaridade durante 48 horas. Depois disso, determinou-se, em diferentes períodos de tempo (2, 5 e 10 min) a quantidade de água que atravessava a secção transversal do cilindro, até a estabilização e calculou-se através da expressão:

$$K \text{ (cm h}^{-1}\text{)} = (60 * V * h) / (A * t * H)$$

onde V = média dos volumes constantes de água; h= altura do anel; A= área da secção transversal do anel; t = tempo e H= altura da lâmina de água sobre o anel.

### 3.4. Atributos químicos

#### *Complexo sortivo*

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ . O  $\text{K}^+$  trocável foi extraído com solução de  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  e seu teor determinado por fotometria de chama. O  $\text{Al}^{3+}$  trocável foi extraído com solução  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{NaOH}$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . Os teores de  $(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$  foram determinados por extração com acetato de cálcio, e posterior titulação (Embrapa, 1997). O fósforo disponível foi extraído com solução  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  e determinado por colorimetria. A determinação do carbono orgânico total foi realizada de acordo com o Método Colorimétrico, por espectroscopia de absorção. Estas análises seguem a metodologia preconizada por Tedesco et al, (2005). A partir dos dados analíticos foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, a saturação por alumínio (Al%) e a saturação por bases (V%), segundo Embrapa (1997).

#### *Dissoluções seletivas*

Teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{Fe}_s$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{MnO}_2$  foram extraídos por meio de ataque sulfúrico (Embrapa, 1997), onde 20mL de ácido sulfúrico diluído 1:1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  d =1,84) foi colocado em tubos digestores contendo amostras de 1 grama da fração TFSA e fervidas por 30 minutos em bloco digestor. Após as amostras esfriarem foi adicionado ao extrato 50 mL de água destilada e filtrados com papel filtro. O extrato filtrado foi completado com

água destilada em balão volumétrico de 250 mL e armazenado em frascos de vidro. Os teores dos elementos obtidos com a extração ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{MnO}_2$ ) foram determinados por emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP - AES).

O resíduo retido no papel filtro foi utilizado para a determinação do silício ( $\text{SiO}_2$ ). Este resíduo foi transferido para os mesmos tubos digestores, onde foi realizada a extração com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , com água destilada e adicionados 4 mL de NaOH 30% em cada amostra, que foram aquecidas no bloco digestor até início de fervura. Após, o resíduo foi novamente filtrado e passado para balões volumétricos de 200 mL. O teor de silício do resíduo foi determinado por espectroscopia de absorção atômica (EAA).

O ferro relativo aos óxidos de ferro pedogênicos ( $\text{Fe}_d$ ) (inclui óxidos cristalinos, de baixa cristalinidade, e não-cristalinos) foi extraído com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) a 80 °C, em uma extração e diluição de 1:10 (Mehra e Jackson, 1960). Nesta extração são utilizados três sais: Ditionito de Sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ), utilizado para dissolver os óxidos de ferro pela redução do  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ ; citrato de sódio ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que atua complexando os íons de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução extratora; e bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) utilizado para tamponar a reação em pH próximo a 7,0. Adicionou-se, então, 1g de ditionito de sódio a 0,2 g da fração TFSA contida em 40 mL de solução citrato de sódio ( $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ ): bicarbonato de sódio ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ), na razão 8:1, em tubo de centrifuga de 50 mL. Após a adição da alíquota de ditionito de sódio, a suspensão foi agitada com uma espátula por 1 minuto. A temperatura da extração foi mantida 80°C em banho-maria. Ao fim da extração a suspensão foi centrifugada a 3000 ppm durante 15 minutos, o extrato foi completado a 50 mL com a solução extratora e armazenado em frascos de vidro.

O ferro referente aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade ( $\text{Fe}_o$ ) foi extraído com oxalato de amônio [ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ]  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 3,0 na ausência de luz (Schwertmann, 1964). Em uma extração 0,2 g da fração TFSA e 40 mL de solução oxalato de amônio foram adicionadas em tubos de centrifuga de 50 mL, recoberto com papel alumínio, para evitar a incidência direta de luz na solução, e fechadas com tampa. Após foram agitadas por 2 horas em agitador horizontal e ao final, centrifugadas a 2000 ppm por 5 minutos. O sobrenadante foi coletado e completado a 50 mL em balões



volumétricos. Os teores de ferro solubilizados pelos dois extratos foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA).

As determinações dos teores de ferro por dissoluções seletivas, bem como dos diversos elementos por ataque sulfúrico das amostras foram realizadas no Laboratório de Química do Solo, Departamento de Solos da UFRGS.

### **3.5. Mineralogia do solo**

As análises de difratometria de raios X (DRX) foram realizadas no Laboratório de Raios-X do Departamento de Solos da UFRGS. Amostras da fração TFSA dos horizontes de cada perfil de solo e da rocha inalterada foram finamente moídas em gral de ágata. Destas amostras, pesou-se 600 mg para a confecção de lâminas em pó sem orientação. Em um equipamento Philips com radiação de Fe-K $\alpha$  e monocromador de Fe, com voltagem de 30 kV e corrente de 30 mA, as amostras foram irradiadas no intervalo de 4 a 36 °2 $\theta$ , com velocidade de varredura de 2 °2 $\theta$ /minuto. A identificação dos minerais a partir das reflexões obtidas nos difratogramas de raios X foi realizada considerando-se as tabelas de identificação de Brindley e Brown (1980) e interpretações contidas em Resende et al (2005).

### **3.6. Análises estatísticas**

Algumas avaliações estatísticas de relações entre os atributos físicos, químicos e mineralógicos das amostras de solos estudadas foram realizadas através de análises de regressão simples com o auxílio do Programa Microsoft Excel 2007.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Morfologia**

Na Tabela 1 encontra-se uma síntese das descrições morfológicas dos quatro perfis de solos estudados (descrições completas em apêndice). Os perfis de solos apresentaram profundidade superior a 100 cm, com exceção do perfil 3. Em estudos de gênese, a profundidade pode ser indicativa de intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, assim como na taxonomia é usado como parâmetro na definição de horizontes pedogenéticos e classes de solos (Schneider et al, 2007). Apresentando estes perfis de solos um contato lítico ou lítico fragmentário a uma profundidade maior que 100 cm de profundidade, foram considerados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como solos profundos (Embrapa, 2006). O contato lítico é definido como a presença de material mineral extremamente resistente, cuja escavação com a pá é impraticável mesmo quando molhado, sendo este material mineral representado pela rocha inalterada (sã) ou rocha muito pouco alterada. O contato lítico fragmentário ocorre quando este material apresenta-se fragmentado, permitindo infiltração da água e das raízes (Embrapa, 2006).

O perfil 3 apresentou contato lítico nos primeiros 50 cm do perfil de solo, considerado raso pelo SiBCS (Embrapa, 2006). O horizonte R deste perfil apresentou muita resistência ao corte da pá, sendo totalmente resistente a partir na profundidade de 42 cm. Percebeu-se, porém, que a transição entre os horizontes CR/A e R é bastante irregular apresentando variabilidade na resistência ao corte da pá e assim a profundidade fica em discussão. Pedron et al, (2007) salienta a importância da melhor descrição das fraturas, raízes e resistência à escavação, para melhor entendimento e percepção do contato lítico e saprolíticos, colaborando assim, para classificação mais adequada.

**Tabela 1.**Descrição morfológica dos perfis de solos estudados

	<b>Hz.</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor</b>	<b>Classe textural</b>	<b>Estrutura</b>
Perfil 1	A1	0-18	10YR 3/3	areia franca/franco arenosa	mod. média/gr Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	A2	18-48	7,5YR 3/2	franco arenosa	mod. média Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	A3	48-66	7,5YR 3/2	franco arenosa	mod média Bl.Subangular/fraca peq. Granular
	AB	66-85	10YR 3/3	franca /franco argilosa	fraca/ mod. média Bl. Subangular/mod.gr. Laminar
	BA	85-100	7,5YR 3/3	franco argilosa	fraca/ mod. média Bl. Subangular/mod.gr. Laminar
	Bt	100-130+	10YR 5/6	franco argilo arenosa/ franco argilosa	-
Perfil 2	A1	0-12	7,5YR 4/3	areia franca/franco arenosa	fraca peq. Granular/ mod. média Bl.subangular
	A2	12-32.	10YR 4/3	franco arenosa	mod. média Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	Bt1	32-52/62	7,5YR 3/2	franco argilo arenosa	mod.grande Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	Bt2	52/62 - 93/98	7,5YR 3/4	argilosa	mod. média Bl. Subangular/ mod. gr. Laminar
	C	93/98 a 118+	Variegada*	franco argilosa	mod. mto grande. Laminar e partes Maciças
Perfil 3	A1	0-12/15	7,5YR 4/3	franco arenosa	fraca peq/média Granular
	A2	12/15 - 18/25	10YR 3/3	franco arenosa	fraca peq/média Granular
	CR/A	18/25 - 35/42	Variegada**	franco argilo arenosa	Maciça
	R	32/42 - 50+	-	-	-
Perfil 4	A1	0-12	10YR 4/2	franco arenosa	mod.média/gr. Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	A2	12-28.	7,5YR 4/3	franco arenosa	mod. média Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	BA	28-55/58	10YR 2/2	franco argilo arenosa	mod. média Bl. Subangular/ fraca peq. Granular
	Bt1	55/58- 75/77	10YR 2/1	franco argilo arenosa	fraca/ mod. média Bl. Subangular/mod.gr. Laminar
	Bt2	75/77-95	7,5YR 3/2 mosq***	franco argilosa	fraco/ mod. média Bl. Subangular/mod.gr. Laminar
	C	95-110	10YR 5/6	franco argilo arenosa	-

**P1 Bt e P4 C** - determinado por tradagem; \*Variegada 2,5YR 4/6; 10YR 8/2; \*\*Variegada 5YR 5/8; 10YR 7/8; 10YR 3/3; \*\*\* Mosqueados 7,5YR 6/8; Hz= Horizontes.; mod = moderado, Bl. = Blocos, gr= grande, peq. = pequena

As cores dos horizontes apresentaram-se amareladas (7,5YR a 10YR) com valores e cromas variando entre 3 e 4, com exceção do perfil 4, que apresentou valores e cromas menores, entre 2 e 3. Através deste atributo

pode-se fazer uma avaliação indireta sobre propriedades importantes, além de refletir a combinação dos fatores de formação (Schneider et al, 2007). Os principais agentes responsáveis pela cor do solo são a matéria orgânica e os óxidos de ferro, sendo que Kämpf e Schwertmann (1983) atribuem cores amarelas à presença goethita no solo, e sua formação está relacionada à ambientes úmidos e temperaturas baixas ou ainda a materiais de origem com pouca participação de ferro na sua constituição, como é o caso do granito. Através do processo de nucleação de crescimento de cristal de íons Fe, a goethita forma-se em solução sendo que, materiais de origem que mantêm uma atividade de baixo Fe em solução (pouca participação de ferro em sua constituição) favorecerão sua formação (Churchman, 1999).

O valor da cor está relacionado com a sua luminosidade, sendo que os valores de 0 a 5 representam cores escuras e 5 a 10, cores mais claras (Schneider et al, 2007). O valor apresenta, normalmente, relação inversa com a quantidade de matéria orgânica do solo e Botelho et al, (2006) encontrou correlação significativa negativa da matéria orgânica do solo e o valor da cor, porém verificaram pouca influência da matéria orgânica em solos com matizes mais vermelhas que 6,25 YR e com teores de ferro extraído com ditionito-citrato bicarbonato ( $Fe_d$ ) entre 19 a 100 g  $Kg^{-1}$ . Não foram encontradas relações significativas entre o valor da cor e a quantidade de carbono total neste estudo, assim como não foram encontradas relações entre a o valor da cor e ao  $Fe_d$

A cor do solo também está relacionada com a sua granulometria e outros componentes do perfil, sendo que solos ricos em quartzo e pobres em matéria orgânica e óxidos de ferro apresentam cores claras e esbranquiçadas (Azevedo e Dalmolin, 2004). Nos horizontes mais superficiais, onde a fração areia é dominante, as matizes foram mais amarelas e os valores e cromas maiores, exceto no perfil 4, onde houve um maior acúmulo de carbono orgânico.

As cores variegadas, encontradas nos horizontes C dos perfis de solos 2 e 3 são relacionadas a presença de materiais em diferentes estágios de alteração, comuns em horizontes pouco desenvolvidos. Já no perfil 4, sopé da topossequência, o horizonte Bt2 apresentou cores mosqueadas, podendo estar relacionada, neste caso, com reações de redução / oxidação que ocorrem

nestas paisagens mais planas com drenagem imperfeita ou com lençol freático oscilante.

A estrutura dos agregados observada a campo mostrou-se de tamanho médio a grande em grau moderado de desenvolvimento, em blocos subangulares na maioria dos perfis de solos, com exceção do perfil 3 que apresentou estrutura pequena e fracamente desenvolvida. Estruturas moderadas a fortes e blocos angulares e subangulares estão bastante relacionadas com a expansão e contração alternadas, em horizontes mais argilosos ou a iluviação de argila, indicativos de processos pedogenéticos de lessivagem (Schneider et al, 2007). Já as classes texturais dos solos, quando avaliadas a campo, não variaram muito entre si, sendo que a maioria apresentou textura franca arenosa nos horizontes superficiais e textura franco argilosa ou franco argilo arenosa nos horizontes subsuperficiais.

A paisagem é um fator de formação importante no desenvolvimento dos solos, que interfere diretamente na natureza e grau de desenvolvimento dos processos pedogenéticos. A posição de relevo suave ondulado em que os perfis 1 e 4 se encontram facilitou a infiltração de água e assim, acelerou a atuação de processos pedogenéticos, formando perfis de solos bem desenvolvidos, bastante semelhantes em termos de textura e profundidade. Porém o perfil 4 diferiu em cor do perfil 1, pois a situação na paisagem (sopé da topossequência) proporcionou um clima mais úmido e frio, acumulando matéria orgânica (tabela 4) e refletindo em valores mais baixos (2 e 1).

Os perfis de solos das encostas superior e inferior apresentaram-se menos profundos, porém no perfil 2, apesar da pouca espessura (menor que 100 cm), o processo pedogenético atuou de forma intensa, mostrado pela classe textural dos horizontes (areia franca no horizonte A e argilosa no horizonte B) e por apresentar estruturas bem desenvolvidas. Já o perfil 3, apesar da declividade bem inferior ao perfil 2 (15%), expressou ausência da atuação de um processo pedogenético, mostrando-se pouco desenvolvido (expresso pela ausência um horizonte B pedogenético) e raso. A declividade média do terreno permite controlar a relativa facilidade do escoamento da água e aumenta a infiltração de água no perfil de solo, especialmente quando são áreas cobertas de vegetação, porém quando estas áreas são desprovidas de cobertura vegetal, os processos erosivos tornam-se mais intensos que os

processos intempéricos. O perfil 3 apresentou uma menor cobertura vegetal, em comparação ao perfil 2, que pode ter contribuído para a menor infiltração de água no perfil de solo, assim diminuindo a intensidade dos processos de intemperismo.

#### **4.2. Atributos físicos**

*Granulometria, grau de flocculação, índice de uniformidade (VU) e área superficial específica (ASE)*

Na Tabela 2 encontram-se os resultados das análises granulométricas dos perfis de solos estudados. Todos os horizontes superficiais A apresentaram mais de 600 g Kg<sup>-1</sup> de areia na sua constituição e baixa concentração de argila (menos de 200 g Kg<sup>-1</sup>). Quando observado em subsuperfície (horizontes BA e B) percebe-se um aumento do conteúdo de argila, apresentando todos os perfis de solos estudados (exceto o perfil 3) relação textural B/A maior que 2,1 (média da argila no B / média de argila no A). O perfil 2 apresentou mudança textural abrupta, isto é, verificou-se que o horizonte B apresentou mais que o dobro de argila quando comparado ao horizonte A, seu sobrejacente, associado a uma transição entre horizontes clara – menor que 7,5 cm (Embrapa, 2006). Os perfis 1 e 4, não apresentaram este atributo, pois o acúmulo de argila em subsuperfície foi gradual.

Estes perfis de solos apresentaram mais de 150 g Kg<sup>-1</sup> de silte e relação silte / argila maior que 1,0 nos horizontes superficiais A, e entre 0,35 e 0,65 nos horizontes B. Os baixos valores encontrados nos horizontes subsuperficiais B indicam intemperismo em grau expressivo e decresce a possibilidade de estes horizontes serem enquadrados no SiBCS como B incipiente, visto que para tal classificação, seria requisito relação silte / argila maior que 0,7, entre outros (Embrapa, 2006).

A composição granulométrica dos perfis estudados é um indicativo da ocorrência de eluviação / eluviação de argila, característico do processo de lessivagem. Os valores de índice de uniformidade (VU) dos solos estudados foram inferiores a 0,6 indicando que o perfil de solo foi desenvolvido a partir do mesmo material de origem, sendo valores superiores á 0,6, oferecem indícios

**Tabela 2.** Distribuição granulométrica, grau de floclulação e área superficial específica da fração TFSA.

	Hz.	AF .....g Kg <sup>-1</sup> .....	AG	Argila	Silte	Casca lho .....%.....	VU	Silte/ Argila	ADA .....%.....	GF	ASE m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
Perfil 1	A1	150	580	90	180	0	0,08	1,93	4	59	6,86
	A2	130	580	120	180	1	-0,15	1,53	8	33	5,03
	A3	130	520	160	190	1	-0,48	1,21	11	33	10,40
	AB	130	340	260	270	4	0,48	1,05	17	33	18,23
	BA	100	320	330	240	5	0,13	0,73	17	48	24,24
	Bt	100	330	360	210	5	-	0,57	16	55	24,99
Perfil 2	A1	200	530	120	160	2	-0,10	1,35	6	52	7,77
	A2	170	480	160	190	4	-0,23	1,20	9	45	5,42
	Bt1	130	340	320	210	10	0,10	0,65	19	41	23,39
	Bt2	70	270	490	170	10	-0,31	0,35	20	59	32,48
	C	130	270	390	220	2	-	0,55	20	50	28,91
Perfil 3	A1	170	460	190	180	13	-0,12	0,96	10	47	14,12
	A2	150	440	180	230	22	-0,11	1,25	13	28	17,03
	CR/A	140	390	230	240	20	-	1,08	7	70	16,28
Perfil 4	A1	100	610	130	170	11	-0,47	1,30	4	65	12,50
	A2	170	470	140	220	6	-0,15	1,52	8	45	8,28
	BA	140	390	230	240	2	0,32	1,08	11	50	14,36
	Bt1	110	400	310	180	5	-0,27	0,58	14	54	24,78
	Bt2	100	290	430	180	12	0,18	0,42	19	55	32,18
	C	120	380	300	200	13	-	0,68	12	61	23,21

\*Hz= Horizontes; AF= Areia Fina; AG= Areia grossa; ADA= Argila dispersa em água; GF= Grau de Floclulação; MO = Matéria Orgânica; ASE = Área superficial específica.

de descontinuidade litológica (Bortoluzzi et al, 2008; Schaetzl, 1998). Neste caso, os valores reforçam a hipótese de ocorrência de processo pedogenético como desencadeador do gradiente textural. O grau de floclulação (GF) dos solos estudados variou de 28 a 70 %, apresentando uma tendência de aumento em profundidade. Este atributo é usado na estimativa da estabilidade de agregados no solo e mostra o quanto da fração argila encontra-se floclulada e é um fator dependente de pH e dos cátions presentes na solução do solo e adsorvidos (Azevedo e Dalmolin, 2004). Nos horizontes superficiais A, em

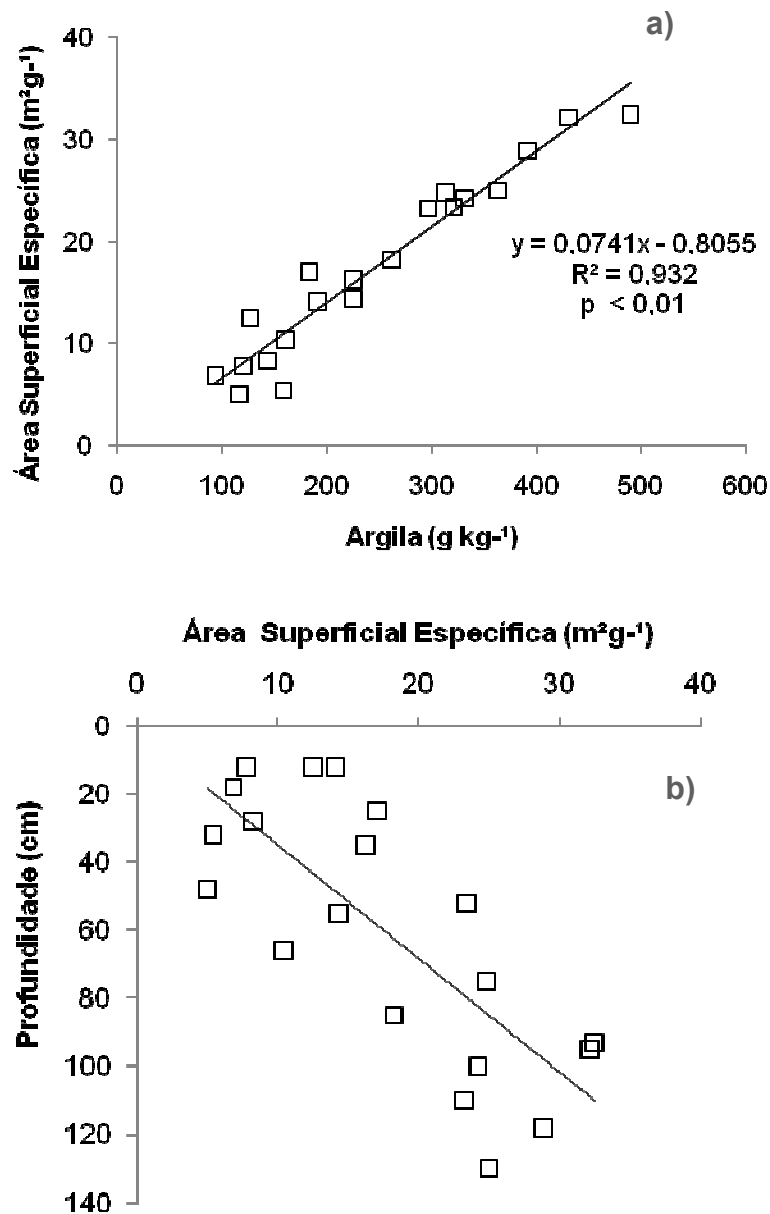
média, 50 % da fração argila encontra-se floclada, sendo que o restante, em pequenas turbações, pode ficar em suspensão na solução do solo, favorecendo a eluviação neste horizonte. Percebeu-se um menor GF nos horizontes transicionais (A2, AB, BA), e estes valores permitem estimar a maior suscetibilidade do material coloidal ao transporte mecânico dos fluxos de água. Os horizontes com maiores teores de argila total (horizontes subsuperficiais B) apresentaram uma tendência a maiores valores de GF, porém não foi encontrada relação significativa com este atributo. Em determinados casos, o grau de floclação pode ser indicativo de uma condição de intemperismo mais avançada, onde uma maior estabilidade de agregados é conferida pela relação entre óxidos e oxi-hidróxidos com a matéria orgânica (Sposito, 1989).

A área superficial específica (ASE) da fração TFSA variou de 5,0 a 32,5 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Tabela 2) e em média estes valores foram de 17 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, sendo maior nos horizontes com maiores teores de argila total, e menor nos horizontes mais superficiais (que apresentam maiores quantidades da fração areia). A fração areia do solo, por ser bastante significativa mesmo nos horizontes subsuperficiais, pode explicar os baixos valores encontrados, já que a ASE apresentou uma relação positiva significativa ( $R^2 = 0,932$ ;  $p < 0,01$ ) com a argila total presente (Figura 7a), o que é reforçado pelo aumento da ASE em profundidade (Figura 7b). Em trabalhos de avaliação dos atributos físicos dos Latossolos paulistas, Alleoni e Camargo (1994) também encontraram um aumento da ASE em profundidade dos perfis de solos que apresentaram aumento de argila no perfil, assim como Grohmann (1972), que encontrou alta correlação positiva entre o teor de argila e a ASE de vários Latossolos e Argissolos de São Paulo.

#### *Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada*

A condutividade hidráulica saturada (K) teve valores altos (Tabela 3) e foi considerada como condutividade hidráulica rápida, segundo tabela proposta por Cauduro e Dorfman (1988). Os valores foram acima de 13 cm h<sup>-1</sup> nos horizontes superficiais A, com exceção do perfil 1. Nos horizontes subsuperficiais B dos perfis 1 e 4 os valores da K estiveram maiores que 7 cm h<sup>-1</sup>, sendo considerada como moderadamente rápida e no perfil 3, a K este maior que 12 cm h<sup>-1</sup>, considerada como condutividade hidráulica rápida.





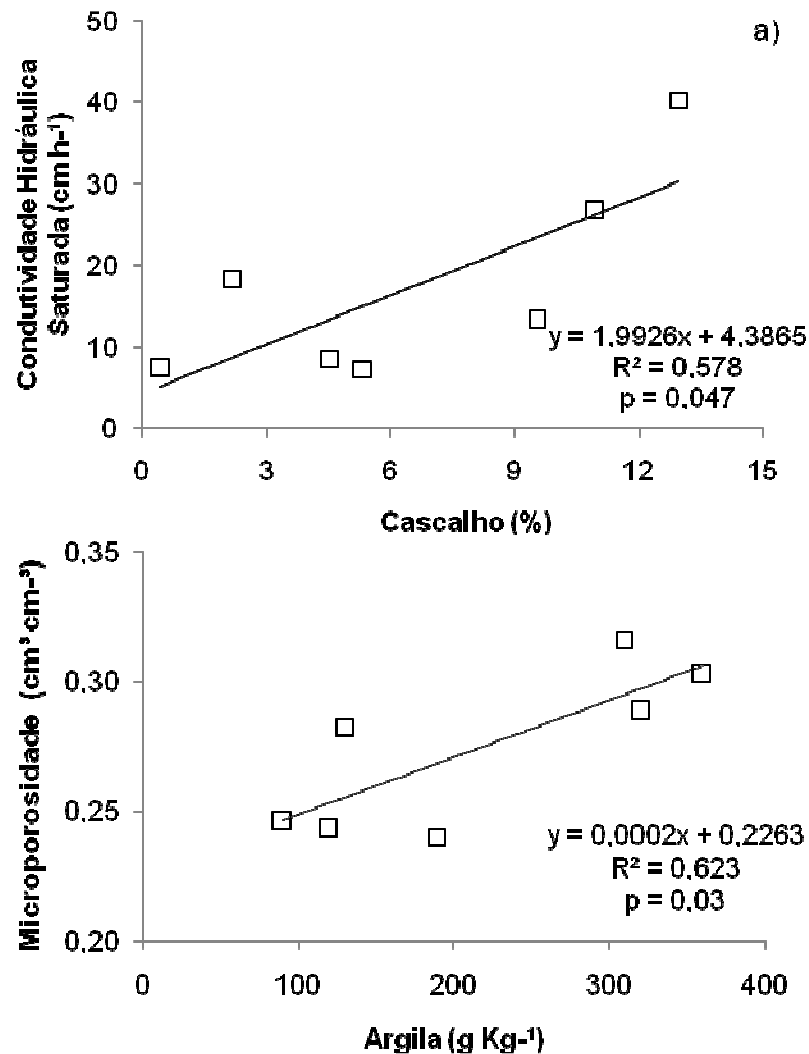
**Figura 7.** Relação entre a área superficial específica (ASE) com a fração argila (a) e distribuição da ASE em profundidade (b).

Estes valores altos podem estar relacionados com a granulometria do solo, que é dominada pela fração areia, principalmente nos horizontes superficiais A. Nos horizontes estudados (A e B), os altos valores de K são explicados pelo alto teor de cascalhos nos solos, como mostra a Figura 8a ( $R^2 = 0,578$ ;  $p = 0,047$ ). Em estudo verificando a dependência da K com os atributos físicos do solo foi constatado que a presença de “megaporos” nos solos aumentou em muito a K; porém têm pouca influência nos valores de macroporosidade (Mesquita e Moraes, 2004). A presença expressiva da fração

**Tabela 3.** Análises físicas, a partir de amostras indeformadas, para os horizontes A e B

	Hz	Prof. cm	K cmh <sup>-1</sup>	Ds g cm <sup>-3</sup>	Porosidade %	Macroporosidade ..... cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Microporosidade .....
Perfil 1	A1	0-5	7,5	1,61	44	0,20	0,25
	Bt	100-105	7,2	1,44	47	0,17	0,30
Perfil 2	A1	0-5	18,3	1,48	49	0,25	0,24
	Bt1	32-37	13,4	1,58	46	0,17	0,29
Perfil 3	A1	0-5	40,2	1,46	47	0,23	0,24
Perfil 4	A1	0-5	26,8	1,44	46	0,18	0,28
	Bt1	55-60	8,5	1,38	47	0,15	0,32

Hz = Horizontes; Prof. = profundidade; Ds = Densidade do solo; K = Condutividade Hidráulica Saturada



**Figura 8.** Relações entre condutividade hidráulica (a) e microporosidade (b) com a distribuição granulométrica

cascalho, principalmente nos horizontes superficiais A, pode ter criado esses “megaporos” através de caminhos preferências.

À medida que aumentou a profundidade dos solos, apesar de nos perfis 1 e 2 aumentar a quantidade de cascalho, a K diminuiu bastante, porém isto pode ser explicado pelo aumento da argila em profundidade. Esse aumento do teor de argila, típico do processo pedogenético de eluviação / eiluviação, apresentou relação significativa positiva com o aumento da microporosidade ( $R^2 = 0,623$ ;  $p = 0,03$ ), como mostra a figura 8b. O aumento nos microporos nos horizontes subsuperficiais B, é acompanhado pela diminuição da macroporosidade, que apresenta associação com a K. Essa associação permite que pequenas mudanças no valor da macroporosidade alterem consideravelmente os valores da K. Em estudo comparando metodologias de determinação do valor da condutividade hidráulica saturada (K) em topossequência, Marques, et al (2008) concluíram que mudanças na K estiveram relacionadas a alterações nas propriedades físicas do solo (densidade, teor de argila, porosidade) e as posições no relevo em que se encontram.

A densidade do solo manteve-se alta e variou bastante de horizonte para horizonte e entre os perfis de solos. Este atributo físico parece não sofrer influencia de fatores antrópicos, já que os perfis descritos 1, 2 e 3 encontram-se sob campo sujo (30 anos) e o perfil 4 sob mata ciliar. Os valores de  $D_s$  foram maiores nos horizontes A ( $1,61 \text{ gcm}^{-3}$ ) e menores nos horizontes subsuperficiais B ( $1,38 \text{ gcm}^{-3}$ ), exceto no perfil 2 que apresentou uma densidade menor em superfície. Os perfis de solos estudados apresentaram uma tendência à diminuição em profundidade da  $D_s$ , podendo estar relacionada ao aumento da argila nos horizontes mais subsuperficiais. Pode-se inferir que a densidade do solo diminuiu devido ao menor tamanho e peso das partículas da fração argila, porém estes atributos não apresentaram relações estatísticas significativas.

Os valores de Pt mantiveram-se na faixa de 44 a 50 %, e o menor valor da Pt foi encontrado no horizonte A1 do P1. Este horizonte, que também apresentou a maior densidade do solo, encontrou-se a menor K ( $7,5 \text{ cm h}^{-1}$ ). Os valores de macroporosidade variaram de 0,15 a  $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , sendo maiores nos horizontes superficiais.

### 4.3. Atributos químicos

#### *Complexo sortivo*

A análise de rotina dos perfis de solos estudados é apresentada na Tabela 4 e mostra restrita reserva de nutrientes e acidez dos solos, corroborando com estudos sobre solos graníticos de Porto Alegre (Bastos, 1991; Schneider et al, 2008). A saturação por bases é baixa, e sendo menor que 50 % nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, classifica os solos como distróficos (Embrapa, 2006). A soma de bases também é baixa, juntamente com uma  $CTC_{pH7}$  menor que  $15 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ . A  $CTC_{pH7}$  apresentou uma relação positiva com a argila total ( $R^2 = 0,30$ ;  $p = 0,01$ ) dos perfis de solos avaliados, possivelmente devido maior ASE desta fração. O perfil 4 apresentou maior valor de soma de bases, quando comparado aos outros perfis, e apresentou  $CTC_{pH7}$  bem distribuída no perfil de solo.

A saturação por alumínio é alta em quase todos os solos estudados, sendo maiores que 34 % em todos os horizontes B textural, porém a quantidade de alumínio trocável é menor que  $4 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ . Já nos horizontes BA e B2 do perfil 4, o valor da saturação por alumínio é maior que 50 % e estes também apresentam alumínio trocável maior que  $4 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ , juntamente com atividade da fração argila maior que  $20 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$  de argila. Estes atributos caracterizam estes horizontes como apresentando caráter alítico, segundo Embrapa (2006).

O carbono orgânico total foi maior nos horizontes superficiais, o que pode ter contribuído para a maior quantidade de bases trocáveis e maior  $CTC_{pH7}$  nestes horizontes. No perfil 4, que apresentou maior quantidade de carbono orgânico, há também uma maior soma de bases (S) e maior  $CTC_{pH7}$  nos horizontes superficiais, porém a maior reserva de nutrientes neste perfil de solo pode ser conseqüência de um transporte lateral, já que este perfil está na base da topossequência. Os horizontes subsuperficiais B dos perfis P1 e P2, apresentaram atividade de argila baixa (Tb), segundo SiBCS (Embrapa, 2006) pois apresentaram na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, inclusive BA, valor T inferior a  $27 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ . Já o perfil 4 apresentou argila de atividade alta (Ta), pois apresentou o valor T maior que  $27 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ .

**Tabela 4.** Análise química dos perfis de solos estudados

	H <sub>z</sub> .	C org. g Kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H+Al	SB	Al	CTC pH7	V %.....	Al	T cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>	P	S	Zn	Cu	Mn	
				.....cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> .....									.....mgdm <sup>-3</sup> .....							
Perfil 1	A1	12,0	5,3	1,90	0,70	0,31	0,04	3,90	2,95	0,30	6,85	43	9	73	1,9	5,0	1,5	1,0	31,0	
	A2	8,0	5,1	0,90	0,20	0,15	0,03	4,67	1,28	1,20	5,95	21	48	51	0,7	3,8	0,4	0,5	11,0	
	A3	6,0	5,2	1,10	0,50	0,18	0,04	5,71	1,82	1,60	7,53	24	47	47	0,3	3,0	-	0,5	3,0	
	AB	6,0	5,2	1,30	0,80	0,16	0,04	6,19	2,30	2,30	8,49	27	50	32	0,4	3,6	0,1	0,6	5,0	
	BA	5,0	5,3	1,50	1,10	0,20	0,05	6,40	2,85	2,30	9,25	30	45	28	0,5	4,1		0,6	2,0	
	Bt	3,0	5,3	1,80	1,60	0,23	0,06	4,80	3,69	1,90	8,49	43	34	23	0,9	7,6	-	0,5	4,0	
Perfil 2	A1	12,0	5,3	1,20	0,60	0,30	0,02	4,42	2,12	1,00	6,54	32	32	56	1,0	5,4	0,5	0,5	13,0	
	A2	8,0	5,1	0,90	0,40	0,26	0,03	5,33	1,59	1,70	6,92	23	52	44	0,7	5,0	0,3	0,4	5,0	
	Bt1	8,0	5,1	1,20	0,70	0,21	0,02	7,62	2,13	2,90	9,75	22	58	30	2,0	4,1	0,1	0,4	1,0	
	Bt2	6,0	5,4	1,30	1,70	0,25	0,03	7,26	3,27	3,20	10,53	31	49	22	0,7	10,0	0,2	0,5	2,0	
	C	4,0	5,3	1,10	1,70	0,17	0,03	5,81	3,00	2,80	8,81	34	48	23	0,7	15,0	0,3	0,4	1,0	
Perfil 3	A1	15,0	4,8	0,90	0,50	0,22	0,03	7,25	1,66	2,50	8,91	18	60	47	2,3	7,7	0,5	0,4	16,0	
	A2	12,0	4,8	0,80	0,40	0,10	0,03	6,66	1,34	3,00	8,00	17	69	44	2,0	5,3	0,2	0,4	4,0	
	CR/A	7,0	5,1	0,60	0,30	0,06	0,05	6,66	1,00	3,00	7,66	13	75	34	2,0	6,6	0,2	0,2	4,0	
Perfil 4	A1	19,0	4,8	2,50	1,10	0,30	0,06	7,15	3,96	0,80	11,11	35	17	87	5,4	8,7	5,0	0,5	42,0	
	A2	8,0	4,9	1,20	0,40	0,11	0,03	5,88	1,74	1,90	7,62	23	52	53	1,6	4,9	1,4	0,5	10,0	
	BA	9,0	4,8	0,60	0,10	0,08	0,03	11,55	0,81	4,80	12,36	7	85	55	2,6	5,1	0,6	0,9	2,0	
	Bt1	11,0	4,7	0,50	0,10	0,09	0,04	9,11	0,73	3,20	9,84	7	81	31	1,4	3,9	0,6	0,6	3,0	
	Bt2	7,0	4,2	0,90	0,50	0,09	0,05	11,06	1,54	5,60	12,60	12	78	29	1,4	5,1	0,2	0,9	2,0	
	C	1,0	5,1	0,90	0,80	0,10	0,05	5,39	1,85	3,20	7,24	25	63	24	0,9	22,0	0,1	0,4	4,0	

H<sub>z</sub>= Horizontes; C. org. = carbono orgânico; SB= Soma de bases; V= Saturação de bases; T= Atividade da fração argila

A menor densidade encontrada no perfil 4, quando comparado aos outros perfis de solos, pode estar relacionada ao teor de carbono orgânico total encontrado neste perfil (Tabela 5). A matéria orgânica apresenta menor peso, quando comparado a componentes minerais, e exerce poder cimentante melhorando sua estruturação e influenciando diretamente sobre a movimentação de água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade (Letey, 1985).

*Teores de silício, alumínio, titânio, manganês, potássio e ferro obtidos por ataque sulfúrico, índices Ki e Kr*

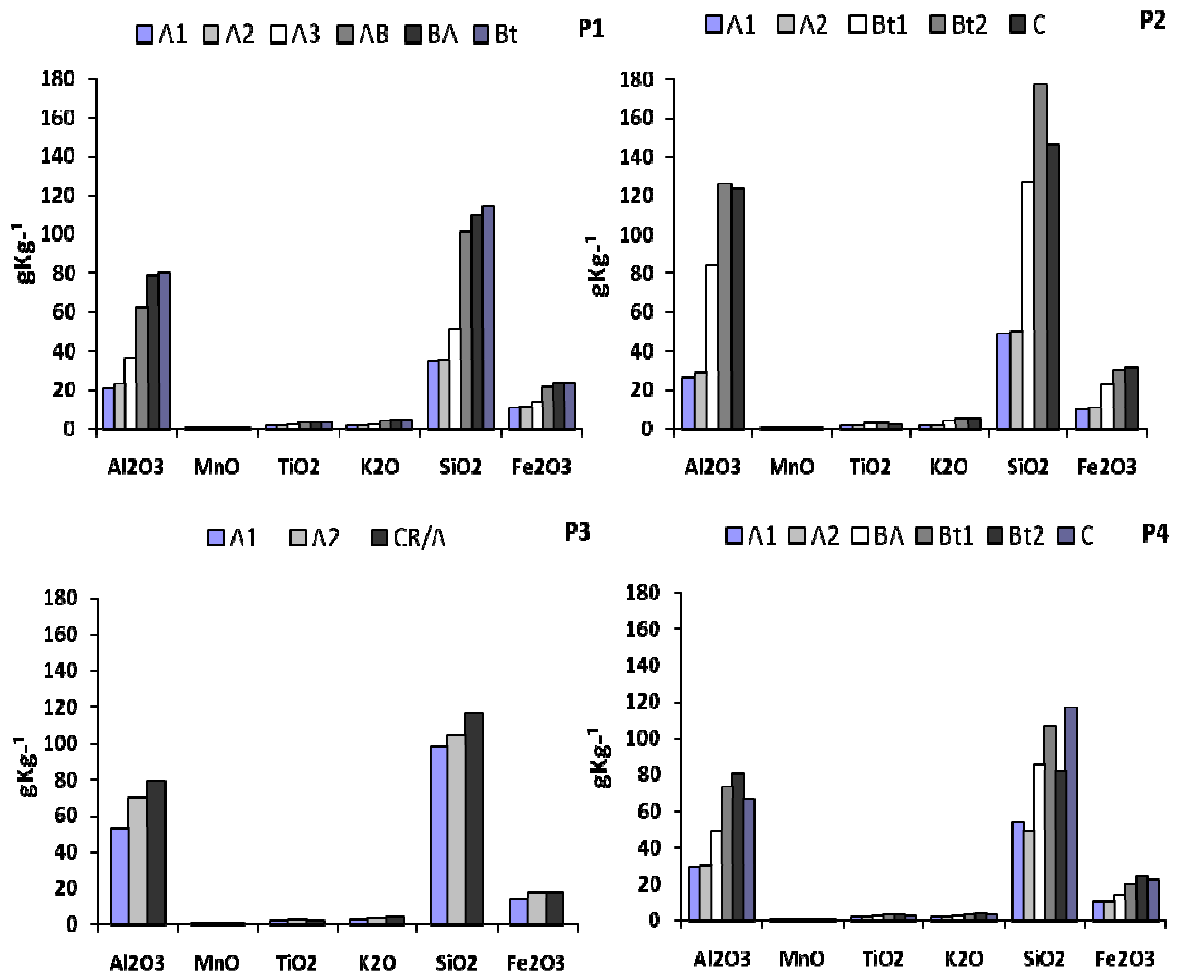
Os teores encontrados de Si, Al, Ti, Mn, K e Fe ( $Fe_s$ ) são apresentados na Tabela 5. As quantidades de silício são altas e aumentam em profundidade em todos os perfis de solos (Figura 9). O silício é um elemento móvel que sai do sistema no decorrer dos processos de intemperismo, podendo explicar suas menores quantidades na superfície. Foge a regra o horizonte C do P2 em que apresentou um valor de sílica menor que o horizonte Bt2. Este elemento também apresentou relação significativa com a fração argila do solo, como mostra a Figura 10 ( $R^2 = 0,704$ ;  $p < 0,01$ ) e este aumento pode estar relacionado com processos de eluviação / iluviação.

O alumínio também apresentou valores expressivos e tende a aumentar em profundidade, assim como a sílica (Figura 9), concordando com o material de origem rico em alumínio. Esse aumento em profundidade pode ser um indicativo de processos de eluviação, onde elementos móveis são transportados para horizontes iluviais (Figura 10). Em concordância com este processo há uma diminuição destes elementos nos horizontes C de cada perfil. Estes resultados corroboram com estudos de Melo et al (2006), que em suas observações em Argissolos Amarelos derivados de rochas graníticas e gnáissicas, na região do Amazonas e Roraima, também encontraram solos com grandes quantidades de alumínio, obtidos pelo ataque sulfúrico. Já os elementos titânio e manganês, apresentaram valores pouco expressivos decorrentes do material de origem pobre nestes elementos. O potássio também apresentou valores baixos, e embora seja um elemento marcante nos feldspatos que compõe o granito Canta Galo (Philipp 2008), é bastante móvel e pode ser facilmente lixiviado do perfil de solo.

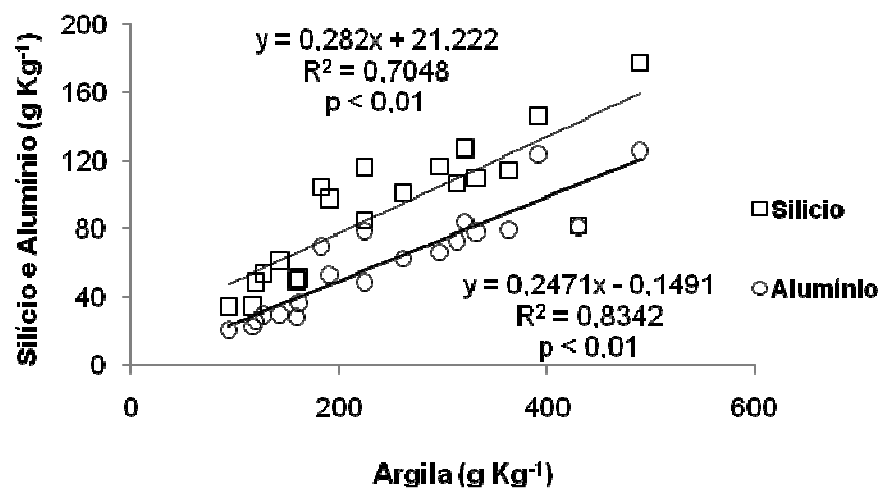
**Tabela 5.** Teores de ferro e relações; Al, Si, Ti, Mn e K ; Índices Ki ( $1,7 * SiO_2/Al_2O_3$ ) e Kr [ $1,7 * SiO_2/Al_2O_3 + (0,6*Fe_2O_3)$ ]

	Hz.	Extrações DCB e ox. Amônio			Ataque sulfúrico							Ki	Kr
		Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> / Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe <sub>s</sub> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>d</sub> / Fe <sub>s</sub>		
		.....g Kg <sup>-1</sup> .....		.....g Kg <sup>-1</sup> .....									
Perfil 1	A1	5,0	0,8	0,16	10,3	34,3	20,8	1,6	0,036	1,6	0,49	2,8	2,1
	A2	8,2	0,8	0,09	11,0	34,8	23,0	1,6	0,027	1,5	0,74	2,6	2,0
	A3	10,0	0,7	0,07	13,7	51,3	36,3	2,2	0,022	2,2	0,73	2,4	1,9
	AB	11,4	0,9	0,08	21,1	101,3	62,5	3,3	0,018	3,6	0,54	2,8	2,3
	BA	13,7	1,1	0,08	23,5	109,8	78,3	3,4	0,018	4,3	0,59	2,4	2,0
	Bt	14,2	0,9	0,06	23,8	114,5	79,6	3,2	0,013	4,2	0,60	2,4	2,1
Perfil 2	A1	7,5	0,6	0,08	10,1	48,8	25,9	1,5	0,012	1,3	0,74	3,2	2,6
	A2	8,6	0,7	0,08	10,3	49,8	28,2	1,3	0,009	1,5	0,83	3,0	2,4
	Bt1	14,9	0,9	0,06	22,7	127,2	84,3	2,9	0,013	4,0	0,66	2,6	2,2
	Bt2	18,9	0,7	0,04	29,9	177,3	125,7	2,8	0,009	4,9	0,63	2,4	2,1
	C	19,5	0,6	0,03	31,4	146,2	123,9	2,1	0,009	5,3	0,62	2,0	1,7
Perfil 3	A1	8,2	0,6	0,10	13,8	97,7	53,0	1,8	0,011	2,6	0,60	3,1	2,7
	A2	9,3	0,5	0,08	17,1	104,5	69,9	2,3	0,009	3,3	0,54	2,5	2,2
	CR/A	9,6	0,5	0,07	17,6	116,6	78,8	1,4	0,004	3,6	0,54	2,5	2,2
Perfil 4	A1	6,5	1,4	0,22	10,1	53,8	29,6	1,9	0,027	1,8	0,64	3,1	2,5
	A2	6,3	1,2	0,19	10,2	48,4	30,0	1,9	0,018	1,8	0,61	2,7	2,3
	BA	7,7	1,9	0,24	13,8	85,0	48,9	2,6	0,013	2,4	0,56	3,0	2,5
	Bt1	9,7	2,5	0,25	19,9	106,6	73,0	2,9	0,011	3,1	0,49	2,5	2,1
	Bt2	12,0	1,5	0,13	24,0	81,9	81,1	3,3	0,009	3,7	0,50	1,7	1,4
	C	12,9	0,9	0,07	22,4	116,7	66,4	2,6	0,004	2,8	0,57	3,0	2,5

Fe<sub>d</sub>= Ferro extraído com Ditionito citrato bicarbonato; Fe<sub>o</sub>= Ferro extraído com Oxalato de amônio; Fe<sub>s</sub>=Ferro extraído com Acido sulfúrico



**Figura 9.** Teores dos elementos Si, Al, Ti, Mn, K e Fe (obtidos por ataque sulfúrico) no perfil de solo



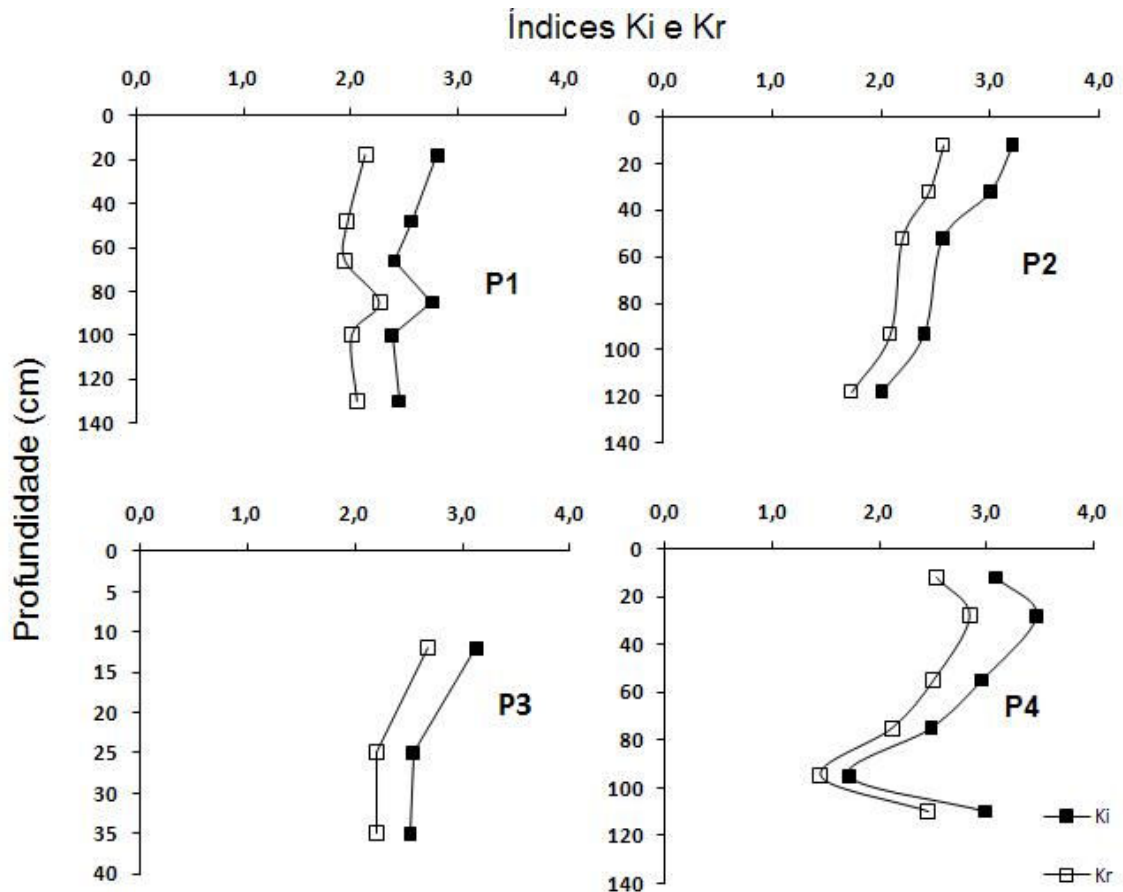
**Figura 10.** Relações do silício e alumínio (obtidos por ataque sulfúrico) com a fração argila.



O índice Ki foi alto, sendo que nos horizontes superficiais A1 e A2 foi superior a 2,5, enquanto que nos horizontes subsuperficiais foi maior que 2,2, com exceção do horizonte C do P2 e Bt2 do P4 que apresentaram Ki 2,0 e 1,7, respectivamente (Tabela 5). Este índice fornece uma estimativa do grau de intemperismo de solos tropicais e subtropicais, apresentando uma estimativa da relação caulinita e gibbsita nos solos. Mello et al., (1995) sugerem presença de argilominerais 2:1 quando o Ki é maior que 2,2. Enquanto o índice Ki é a relação molecular entre a sílica e a alumina, o Kr é a relação molecular entre sílica e óxidos de alumínio e ferro (Carvalho, 1956). Ele é semelhante ao Ki, porém, mais apropriado para indicar o grau de alteração dos minerais em solos onde a alta taxa de formação de óxidos de ferro contrasta com os baixos teores de alumina. Nos perfis avaliados o Kr apresentou-se, em todos os horizontes, maior que 0,75, e juntamente com o Ki maior que 0,75, sugerem solos predominantemente cauliniticos (Embrapa, 2006).

A distribuição dos índices Ki e Kr em profundidade é apresentada na Figura 11. Há uma tendência à diminuição destes índices em profundidade, sendo que esta diminuição segue até o horizonte Bt e após tende a aumentar. Esta distribuição pode ser atribuída ao aumento significativo do alumínio em profundidade, ou ainda a possível extração de sílica dos grãos de quartzo, presentes na fração silte ou argila, pelo ataque sulfúrico, aumentando o silício dos horizontes mais superficiais, e aumentando os índices na superfície.

Quando observada a CTC dos perfis avaliados (Tabela 4) percebe-se valores considerados baixos, o que é incompatível com valores altos de Ki e Kr encontrados. Este estudo corrobora com a distribuição do índice Ki encontrado em um Argissolo Vermelho-Amarelo, representante da Unidade de Mapeamento Camaquã (Brasil, 1973), que abrangem o Município de Porto Alegre. Neste perfil, é apresentado valor alto de Ki, juntamente com baixos valores de  $CTC_{pH7}$ . Oliveira (2001) observou um perfil de Gleissolo (Brasil, 1973) que apresenta 13% de argila,  $CTC_{pH7}$  de 26,1  $cmol_c Kg^{-1}$  de argila e Ki de 8,47 e sugeriu que tais dados apontam inconsistências do método quando se trata de solos com pouca argila.

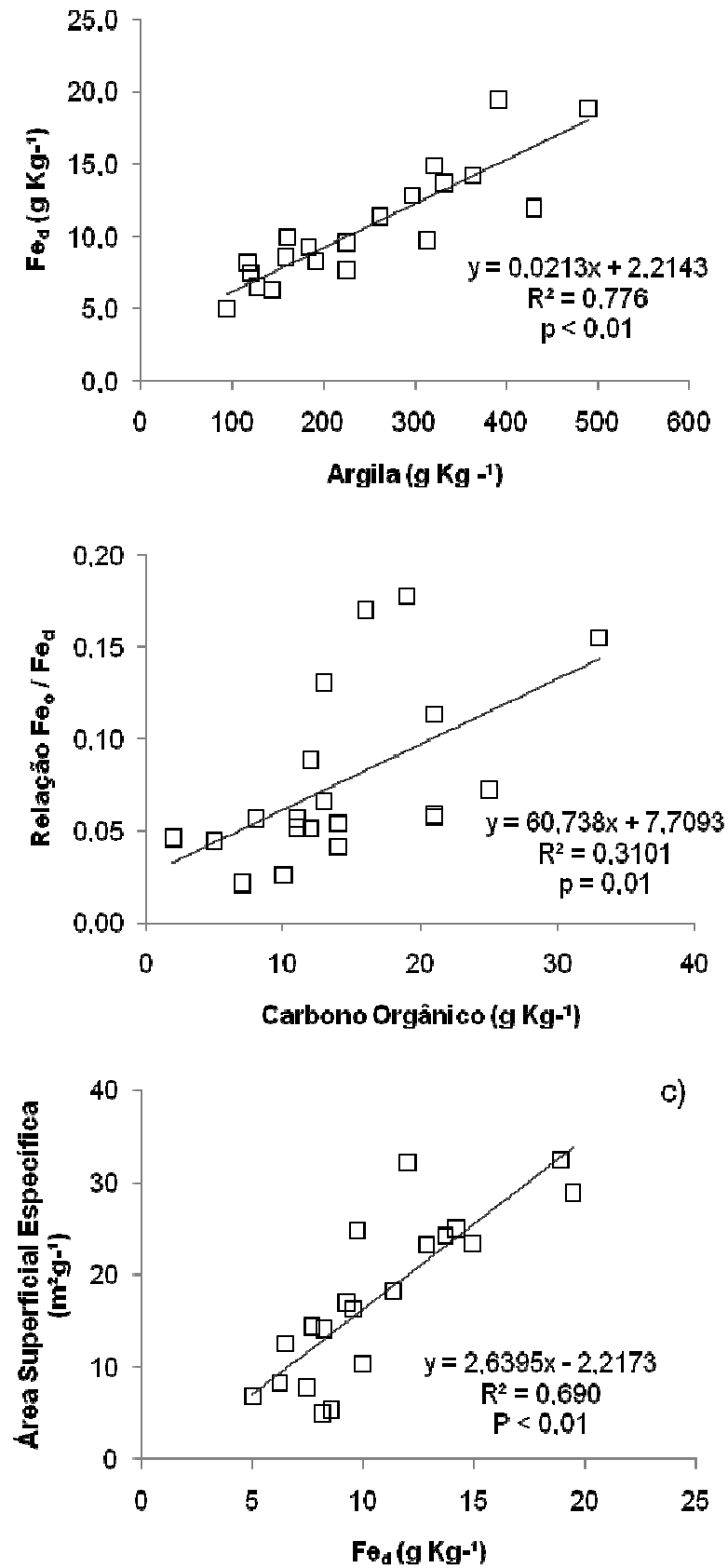


**Figura 11.** Distribuição do índice Ki e Kr em profundidade

#### *Teores de ferro*

A concentração de ferro extraída com ditionito-citrato-bicarbonato ( $Fe_d$ ) aumentou em profundidade e os valores não ultrapassaram  $19,5 \text{ g Kg}^{-1}$  (Tabela 5). Este aumento do  $Fe_d$  ocorre devido ao fato de os óxidos de ferro serem minerais secundários e, estarem presentes na fração argila dos solos (Figura 12a). Estes minerais apresentam baixa solubilidade e em certos casos persistem no solo por muito tempo, mesmo que as condições do ambiente tenham mudado, e com isso podem ser considerados indicadores de ambientes pedogênicos (Kämpf e Curi, 2000).

Visto que o material de origem destes solos é granito e este material apresenta uma quantidade considerável de quartzo e pouca participação do ferro na sua constituição, pode-se avaliar que a quantidade pequena desses óxidos encontrado nestes perfis não deve ser relacionada ao grau de intemperismo do solo e sim a presença pouco significativa de ferro no material original.

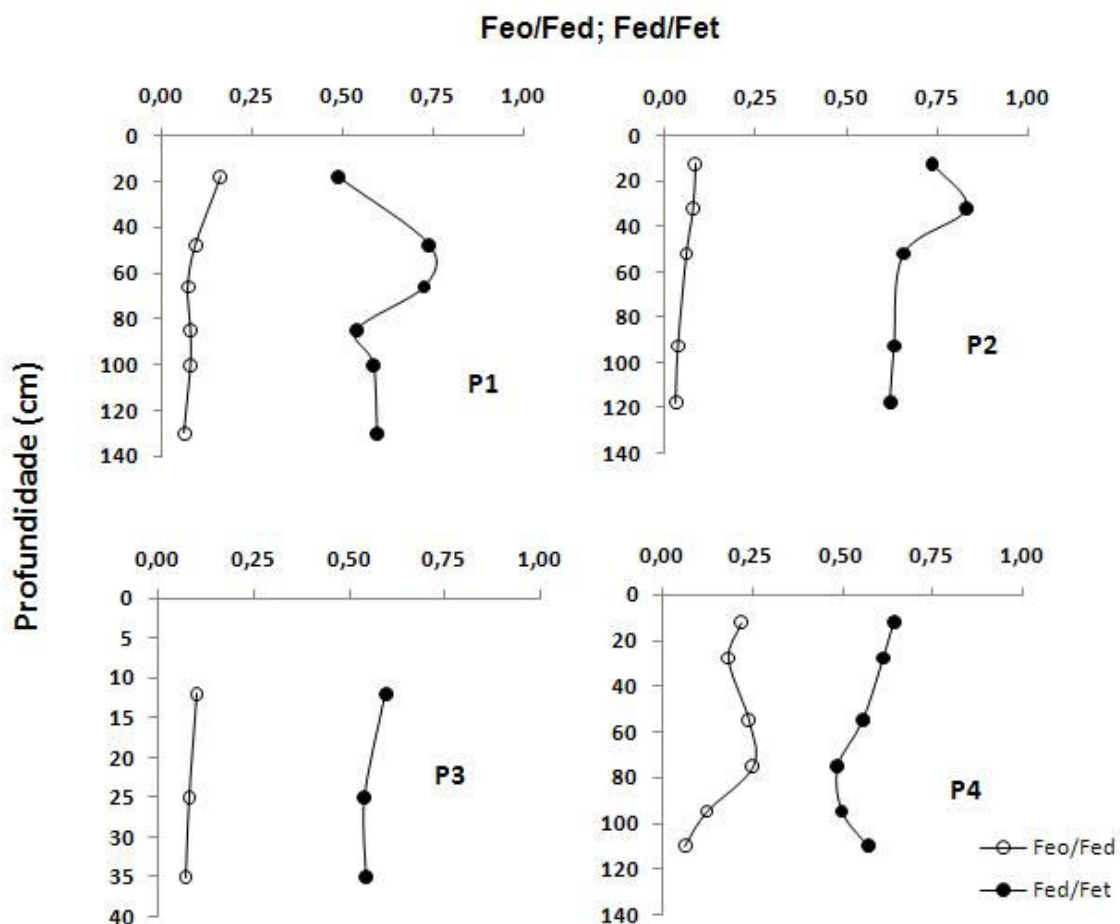


**Figura 12.** Relação entre ferro pedogênico ( $Fe_d$ ) e distribuição granulométrica (a), relação  $Fe_o/Fe_d$  e carbono orgânico (b) e Relação  $Fe_d$  e área superficial específica (ASE) (c)

A razão  $Fe_d/Fe_s$  permite uma estimativa da intensidade de intemperização do material e determina a transformação dos silicatos contendo  $Fe^{2+}$  em óxidos contendo  $Fe^{3+}$  (Kämpf e Curi, 2000). A partir dos teores de ferro obtido do extrato sulfúrico ( $Fe_s$ ) (que extrai formas de ferro ainda em materiais primários, que serão liberados pelo intemperismo), pode-se discutir a relação  $Fe_d/Fe_s$ , que nos perfis de solos variou de 0,49 a 0,83 sendo que, quanto mais próximo o valor de 1, mais ferro contido em minerais primários ( $Fe^{2+}$ ) terá se intemperizado, formando óxidos de ferro pedogênicos ( $Fe^{3+}$ ). Ocorre uma tendência ao aumento desta relação em profundidade seguida de uma diminuição, como mostra a Figura 13. Os maiores valores desta relação foram observados nos horizontes A2 dos perfis 1 e 2 (0,74 e 0,83, respectivamente). A argila que esta sendo iluviada, conseqüência de processos formadores de gradiente textural, aumenta os valores de  $Fe_d$  gradativamente em profundidade (óxidos de ferro pedogênicos), aumentando a relação  $Fe_d / Fe_s$ , pois o  $Fe_s$  segue uma distribuição mais homogênea até o horizonte Bt. O perfil 3 apresentou as menores relações  $Fe_d / Fe_s$ , indicando perfil de solo pouco desenvolvido.

Valores não tão expressivos foram observados nos horizontes superficiais (A1) de cada perfil de solo, devido à diminuição do  $Fe_d$  nestes horizontes, decorrente do processo relatado anteriormente. Distribuição semelhante, no perfil de solo, do  $Fe_d$  também foi verificada por Almeida et al (1997) em uma topossequência de Argissolos no Rio Grande do Sul, estando, esta distribuição, relacionada aos processos de eluviação / iluviação de argila. Campos et al (2007) verificaram distribuição mais homogênea do  $Fe_d$  em perfis de Latossolos (São Paulo, Brasil), em função da translocação vertical da argila, não ser tão expressiva nestes solos.

Nos perfis de solos estudados foram encontradas relações  $Fe_o/Fe_d$  que variaram de 0,03 a 0,25 (Figura 13). Esta relação proporciona uma indicação do conteúdo relativo de óxidos de ferro mal cristalizados (ferro extraído com oxalato de amônio -  $Fe_o$ ) e dos cristalinos ( $Fe_d$ ), sendo seu aumento correspondente à diminuição da cristalinidade dos óxidos de ferro pedogênicos (Schwertmann, e Kämpf, 1983). O perfil 4 apresentou as maiores relações, indicando um maior conteúdo de formas menos cristalinas de ferro, quando comparado aos outros perfis.



**Figura 13.** Distribuição das relações  $Fe_o/Fe_d$  e  $Fe_d/Fe_s$  em profundidade nos perfis de solos estudados

Verifica-se na figura 12b, que o  $Fe_o$  apresentou uma relação positiva com o carbono orgânico total, que no perfil em discussão (P4) apresentou os maiores valores (Tabela 4). O maior conteúdo de carbono orgânico pode ser responsável pela habilidade de complexar o Fe e estabilizar ferridrita ( $Fe_o$ ), inibindo, assim, sua transformação para formas mais estáveis de óxidos de ferro (Schwertann e Taylor, 1989; Kämpf e Curi, 2000). Entre os horizontes dos perfis avaliados houve uma diminuição da relação  $Fe_o/Fe_d$  em profundidade (Figura 13), acompanhando a distribuição do carbono orgânico total.

Verificou-se, ainda, que a quantidade de ferro nas formas pedogênicas ( $Fe_d$ ) influenciou a ASE, apresentando uma relação significativa positiva ( $R^2= 0,69$ ;  $p < 0,01$ ), como mostra a Figura 12c. Os óxidos de ferro, por terem reduzido tamanho de partícula, apresentam elevados valores de ASE, que são aumentados por imperfeições na estrutura cristalina dos minerais (Sambatti et al., 2002). A maior densidade, no horizonte Bt do P2, pode estar

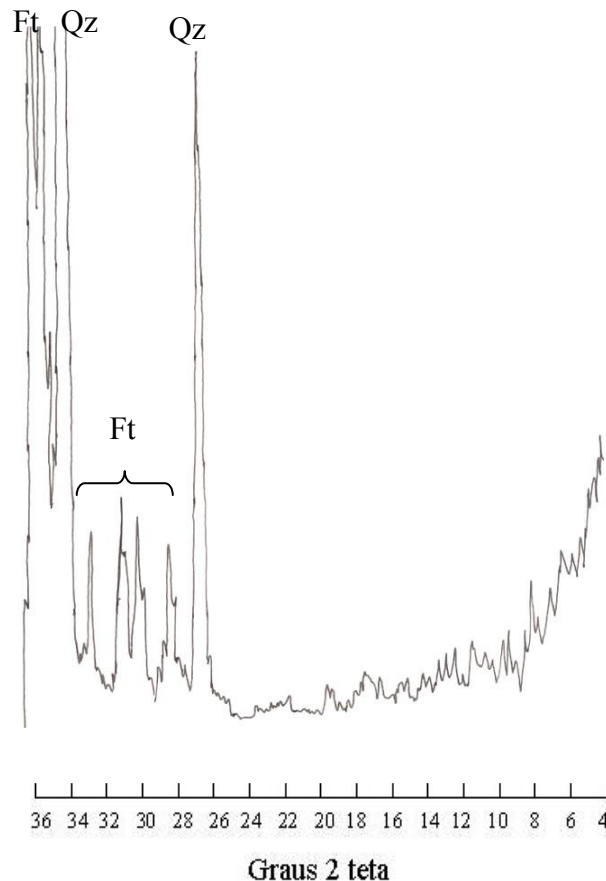
relacionada, também, à presença de óxidos de ferro, já que este horizonte apresentou os maiores valores de  $Fe_d$ , quando comparado aos outros horizontes em que foi avaliada a densidade. Esses minerais são constituídos aparentemente por goethita, cuja densidade é de  $4,26 \text{ g cm}^{-3}$  (Schwertmann e Taylor, 1989).

#### 4.4. Mineralogia

O difratograma de Raios X da rocha em pó é apresentado na Figura 14. Conforme a intensidade dos reflexos observa-se uma expressiva predominância do quartzo associado à presença significativa de feldspatos. O reflexo relativo à presença de micas (minerais 2:1) mostra-se mal definido. O mesmo ocorre nos perfis de solos, cujo aparecimento de tais reflexos se deu após a digitalização dos difratogramas, não sendo muito expressivos na figura original. Embora sejam componentes freqüentes de rochas graníticas, Bastos (1991), ao verificar a mineralogia de perfis de solos derivados do Granito Ponta Grossa, encontrou dominância de feldspatos e quartzo na análise da rocha em pó, sendo encontrada participação de apenas 3% de mica biotita. O granito Ponta Grossa é muito semelhante mineralogicamente ao granito Canta Galo, que compõe os solos em estudo.

Os difratogramas exploratórios realizados na fração TFSA dos perfis de solos estudados são apresentados na Figuras 15, 16, 17 e 18. Percebe-se pela intensidade das reflexões que em todos os perfis de solos há uma predominância de quartzo, em todos os horizontes. Este mineral encontra-se em grandes quantidades na rocha de origem e pode ser encontrado mesmo nas frações mais finas, como argila (Philipp, 2008). O quartzo apresenta uma cinética de dissolução muito baixa, devido as suas fortes ligações Si-O-Si, permitindo sua persistência no solo. Verificando a distribuição granulométrica (Tabela 2) percebe-se que a quantidade de areia é alta e muitas vezes igual ou maior que a quantidade argila nos horizontes subsuperficiais, o que pode explicar a distribuição deste mineral.

Os reflexos de feldspatos não aparecem expressivamente, como na rocha original, pois este mineral apresenta menor resistência ao intemperismo, comparativamente ao quartzo, devido à substituição isomórfica que ocorre na

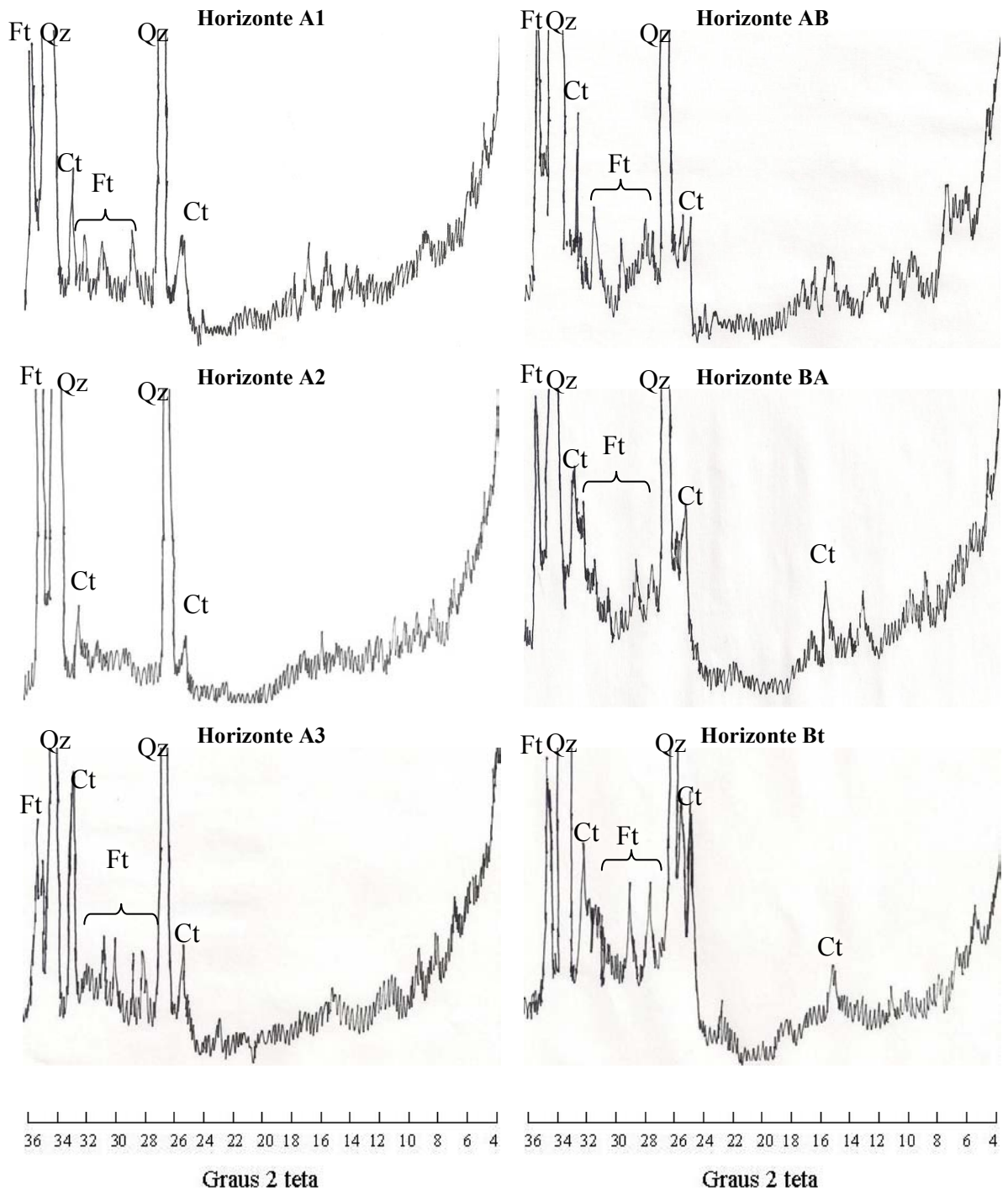


**Figura 14.** Difratoograma de raios-X da rocha inalterada. Qz– quartzo, Ft–feldspato.

sua estrutura. Percebe-se isso, verificando sua distribuição no perfil de solo, que diminui à medida que se aproxima dos horizontes superficiais, que são os mais expostos às intempéries. O perfil 2, que apresentou as maiores concentrações de argila nos horizontes iluviais, também apresentou os reflexos menos intensos de feldspatos, mostrando a ocorrência mais restrita deste mineral, o que pode ser indicativo de uma atuação mais expressiva do processo pedogenético, assim um maior grau de intemperismo.

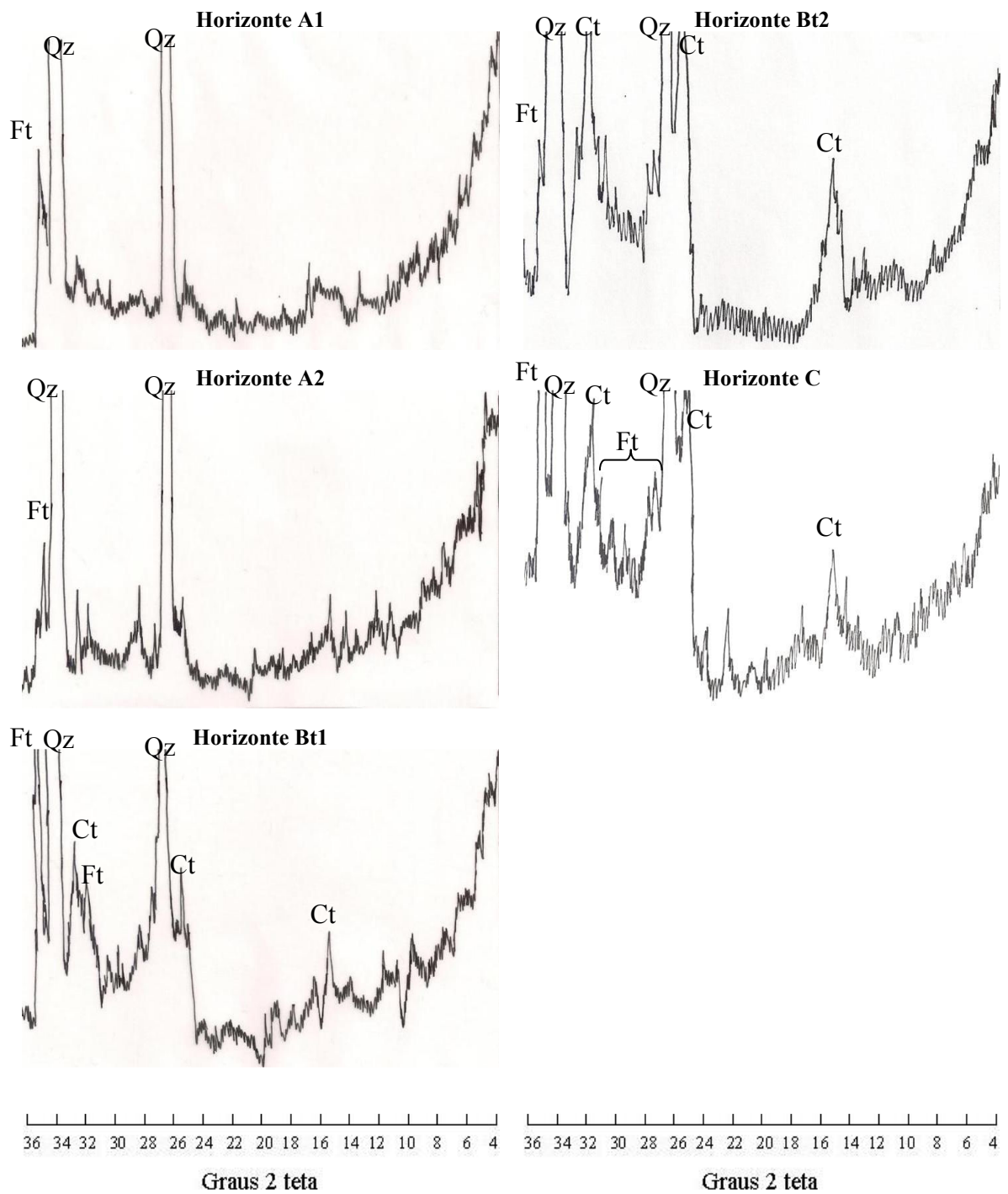
Percebe-se também que, com o aumento da profundidade, aparecem os reflexos de caulinita, que são raros nos horizontes superficiais A e bem mais expressivos nos horizontes subsuperficiais, principalmente Bt. A caulinita é um mineral secundário 1:1, resultante do intemperismo de minerais primários, neste caso feldspato, em condições ácidas. A menor proporção de reflexos de caulinita nos horizontes A1e A2, seguido de um aumento em profundidade deve-se ao fato de esses minerais apresentarem-se na fração argila do solo, e provavelmente, terem sido transportados pelo processo de iluviação. Sugere-

se, neste caso, a formação do gradiente textural através do processo de lessivagem, pois ocorre diminuição dos reflexos de caulinita nos horizontes C de cada perfil, evidenciando seu caráter pedogenético. Nota-se, também, no perfil 3, que não apresenta horizonte B pedogenético (Figura 17), que a caulinita apresenta distribuição homogênea no perfil de solo.

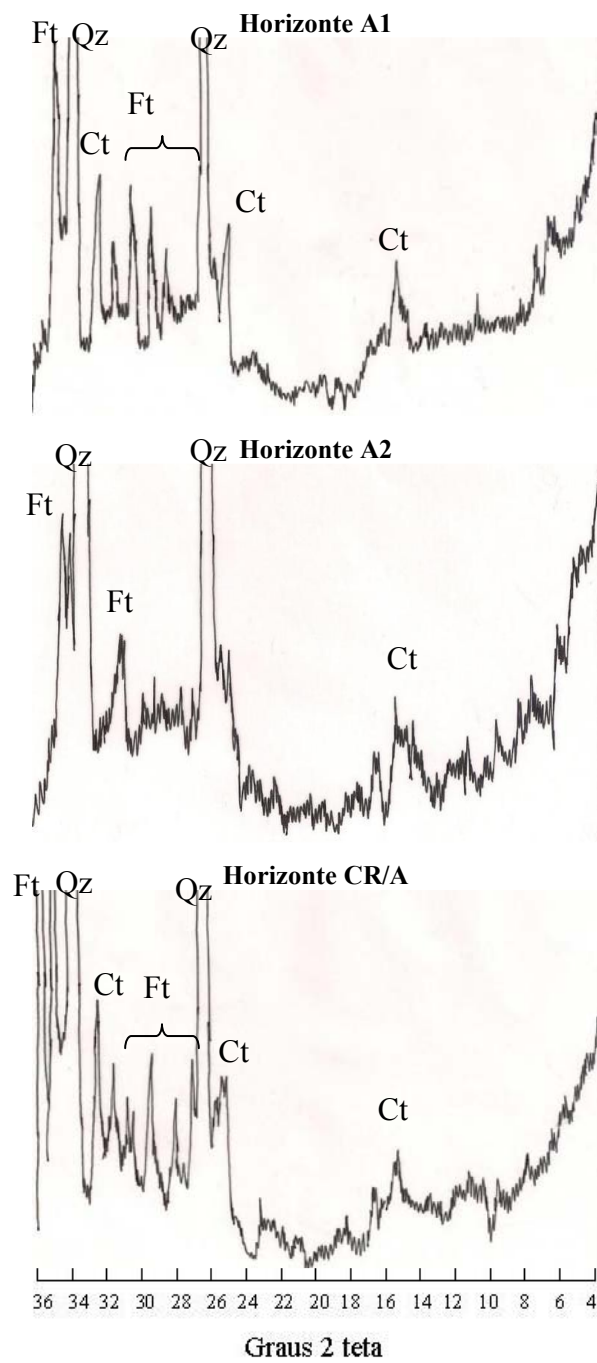


**Figura 15.** Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P1. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.

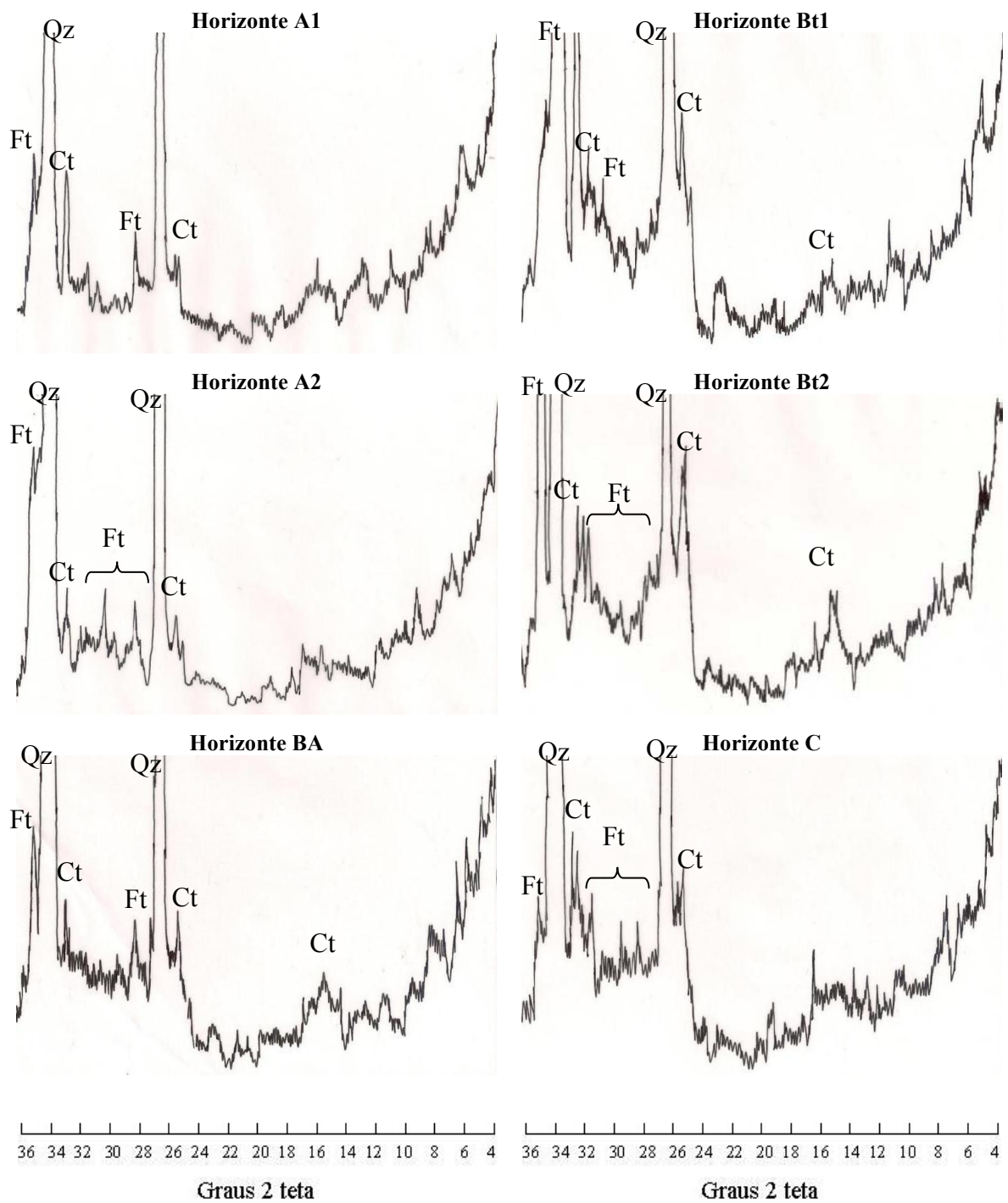




**Figura 16.** Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P2. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.



**Figura 17.** Difratogramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P3. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.



**Figura 18.** Difratoqramas de raios-X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P4. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.

#### 4.5. Enquadramento dos solos nos sistemas de classificação

A avaliação das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas demonstrou a ocorrência de gradiente textural acentuado nos perfis de solos 1, 2 e 4, principalmente devido ao aumento da fração argila em

profundidade. O menor valor de grau de flocculação (GF) em horizontes transicionais AB e BA e índices de uniformidade (VU) menor que 0,6 ao longo dos perfis são sugestivos a ocorrência do processo pedogenético de eluviação / iluviação de argila (lessivagem). Os perfis de solos não apresentaram horizonte Bt com cores acinzentadas e mosqueadas associados à mudança textural abrupta, que são indícios do processo pedogenético de ferrólise, outro processo que influencia na formação do gradiente textural. Atributos químicos e mineralógicos também sugerem formação do gradiente textural, ilustrado pelo aumento de sílica, alumínio, óxidos de ferro pedogênicos ( $Fe_d$ ) e caulinita em profundidade. A relação  $Fe_d/Fe_s$  sugere solos bem desenvolvidos, com grau de intemperismo variável.

Apesar da indicação à ocorrência da lessivagem como formador de gradiente textural, mostrando perfis de solos bastante desenvolvidos, destacam-se nestes solos, características que são indicativas de um grau intemperismo mais incipiente como relação silte / argila maior que 0,7 nos horizontes superficiais A, altos valores de  $K_i$  (maiores que 2,0) e presença de minerais alteráveis (feldspatos) mesmo em horizontes mais suscetíveis ao intemperismo.

Mesmo com características divergentes quanto ao grau de desenvolvimento de processos pedogenéticos dos perfis de solos 1, 2 e 4, os horizontes B enquadram-se perfeitamente, no SiBCS (Embrapa, 2006), como B textural e na Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) como Argilic horizon. Na Tabela 6 encontram-se as classificações dos perfis de solos no SiBCS até o quarto nível categórico e subgrupos na ST.

Os perfis 1, 2 e 4 enquadram-se na Classe dos Argissolos Amarelos (Embrapa, 2006), devido ao gradiente textural acentuado e cores mais amarelas que 7,5 YR. O perfil 1 foi denominado, em terceiro e quarto nível categórico, como Argissolo Amarelo Distrófico típico, devido ao seu caráter distrófico e o perfil 2 como Argissolo Amarelo Distrófico abrupto, pois além do atributo distrófico, também apresentou mudança textural abrupta. Já o perfil 4 apresentou o caráter distrófico, porém também apresentou caráter alítico, e este último o classificou como Argissolo Amarelo Alítico típico.

O perfil 3, que não apresentou o horizonte B, foi enquadrado como Neossolo Litólico Distrófico típico (Embrapa, 2006), pois apresenta contato

lítico a uma profundidade inferior a 50 cm (vide Tabela 1), grau de desenvolvimento fraco e caráter distrófico.

Na Keys of Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) os perfis de solos 2 e 4 enquadraram-se no subgrupo Typic Hapludults devido ao gradiente textural e baixa saturação por bases (< 35%), enquanto que o perfil 1 atendeu requisitos da classe dos Alfisols, pois apresentou maior saturação por bases (> 35%) em um dos seus horizontes, além do gradiente textural acentuado. O perfil 3 foi enquadrado na classe dos Entisols devido à ausência de horizonte B e contato lítico a uma profundidade inferior a 50 cm.

**Tabela 6.** Classificação dos perfis de solos estudados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e na Soil Taxonomy.

Perfil	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)	Keys of Soil Taxonomy (KST)
Perfil 1	Argissolo Amarelo Distrófico típico	Typic Hapludalfs
Perfil 2	Argissolo Amarelo Distrófico abrupto	Typic Hapludults
Perfil 3	Neossolo Litólico Distrófico típico	Lithic Udorthents
Perfil 4	Argissolo Amarelo Alítico típico	Typic Hapludults

## 5. CONCLUSÕES

Os perfis de solos apresentaram profundidade superior a 100 cm, cores amareladas e estruturas bem desenvolvidas, exceto o perfil 3, que apresentou profundidade menor que 50 cm e estruturas em grau fraco de desenvolvimento. Os perfis 1, 2 e 4 apresentaram aumento de argila em profundidade (gradiente textural acentuado), bem como grau de flocculação inferior a 50% em horizontes transicionais e aumento em profundidade da área superficial específica. Apresentaram todos os perfis de solos caráter distrófico, bem como relação positiva significativa da sílica, alumínio e óxidos de ferro pedogênicos com a fração argila. A Relação  $Fe_d / Fe_s$  variou entre 0,49 e 0,83 e índices  $K_i$  e  $K_r$  foram maiores que 1,6, sugerindo solos caulíníticos. A análise mineralógica mostrou presença de quartzo e feldspatos bem distribuídos nos perfis de solos e de caulinita que aumenta em profundidade, exceto no perfil 3, que apresentou caulinita bem distribuída.

Estes atributos permitiram sugerir que os solos apresentaram indícios da atuação do processo de iluviação / eluviação de argila (lessivagem), como o principal agente formador do gradiente textural, em variáveis graus de desenvolvimento. Não foram verificados indícios de atuação de outros processos, como descontinuidade litológica ou ainda processo pedogenético de ferrólise nos perfis de solos 1, 2 e 4. O perfil 3 não apresentou indicio de atuação de algum processo pedogenético.

A distribuição dos solos ocorreu da seguinte forma: No topo e no sopé da topossequência ocorrência Argissolos Amarelos (Alfisol e Ultisol) profundos, como ocorrência de B textural a uma profundidade maior que 50 cm. Na encosta superior, com relevo forte ondulado, ocorrência de Argissolo Amarelo (Ultisols), com horizonte B textural em uma profundidade inferior a 50

cm e na encosta inferior, com relevo ondulado, Neossolo Litólico (Entisol). Não foi verificada ocorrência de Cambissolos na topossequência estudada.

Estudos em outras áreas com características semelhantes de relevo e material de origem, associados a recursos e análises específicas deverão permitir o aprofundamento no conhecimento sobre os processos pedogenéticos e distribuição dos tipos de solos nestas áreas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. de. Atributos físicos de latossolos ácricos do norte paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n. 2, 1994.

ALMEIDA, J.A; KLAMT, E.; KÄMPF, N. Gênese do contraste textural e da degradação do horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 21, n.2, p.1221-1233, 1997.

AZAMBUJA, M.A.E. **Intemperismo, origem e formação dos solos**. Porto Alegre: CEUE, 1970. 95p.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 2004. 100p.

BASTOS, C.A.B. **Mapeamento de caracterização geomecânica das unidades geotécnicas de solos oriundos de granitos, gnaisses e migmatitos de Porto Alegre**. 156f. 1991. Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETTO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo (SP): Ícone, 1990. 368p.

BOTELHO, M.R. et al. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p. 1179-1185, 2006.

BORGGGAARD, O.K. Effect of surface area and mineralogical of iron oxides on their surface charge and anion adsorption properties. **Clays and Clay Minerals**, Boulder, v.31, p. 230-232, 1983.

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**, Viçosa, v.32, n.3, p. 997-1007, 2008.

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



BREEMEN, N.; VAN BUURMAN, P. **Soil formation**. Dordrecht : Kluwer Academic, 1998. 376p.

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

BUOL, S.W.; HOLE, R.D.; Mc CRACKEN R.J.; SOUTHARD, R.J. **Soil genesis and classification**. 4.ed. Iowa, USA: Panima, 1997. 527 p.

CAMPOS, M.C.C. et al. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p. 519-529, 2007.

CARROL, S. **Rock weathering**. New York : Plenum, 1970.

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

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: Pallotti, 1988. 216p.

CHURCHMAN, G.F. The alteration and formation of soils minerals by weathering. In: SUMMER, M.E (ed). **Handbook of soil science**. Washington D.C.: CRC Press, 1999. p. F3 – F59.

DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, R.; PEDRON, F.de A.; AZEVEDO, A.C. Relação entre as características e uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p. 1479-1486, 2004.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; KLAMT, .E. Relação Solo-Paisagem no rebordo do planalto do Rs. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., Aracaju, Sergipe, 2006. **Anais...** Aracaju, 2006.

DUCHAUFOR, P. **Pedology: pedogenesis and classification**. London: George, Allen, and Unwin, 1982. 448 p.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

ERSAHIN, S. et al. Estimating specific surface area and cation exchange capacity in soils using fractal dimension of particle-size distribution. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p. 588–597, 2006.

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

FRAGOSO CESAR, A. R. S. et al. O Batólito Pelotas (proterozóico superior/paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. **Anais...** Goiânia, 1986.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.

GROHMANN, F. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. II - Influência da matéria orgânica, dos óxidos de ferro livres e dos cátions trocáveis, na superfície específica total do solo. **Bragantia**. Campinas, v.31, n.14, p.167-185, 1972.

HUGGET, R.J. Lateral translocation of soil plasm through a small valley basin in the Northaw Great Wood, Hertfordshire. **Earth Surface Process**, Philadelphia, v.1, p.99 – 109, 1976.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: MacGraw Hill, 1941. 281p.

KAMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brasil and their application in classification of Kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.29, p. 27 – 39, 1983.

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

KAMPF, N. et al. Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da deposição final de resíduos. **FEPAM em Revista**, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 11-17, 2008.

LAMMERS, D.A.; JOHNSON, M.G. Soil mapping concepts for environmental assessment. (1996). In: MAUSBACH, M.J.; WILDING, L.P. **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison: SSSA, 1991. p. 149-160.

LEINS, V.; AMARAL, S.E. **Geologia geral**. 13 ed. São Paulo: Nacional, 1998. 399p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, n. 1, p. 277-294, 1985.

LIMA, J.M.J.C.L. **Alterações das propriedades dos solos cultivados com cana-de-açúcar**. 1995. 164f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MAFRA, A.L.; SILVA, E.F.; COOPER, M; DEMATTÊ, J.L.I. Pedogênese de uma seqüência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba

(SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.355-369, 2001.

MARQUES, J.D.O. et al. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v.38, n. 2, p 193 - 206, 2008.

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

MELO, V. F. et al. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p. 159-164, 1995.

MELO, V.F. et al. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, p. 1039-1050, 2006.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

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

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

PHILIPP, R.P. Geologia de Porto Alegre. In: HASENACK; HEINRICH et al. (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/ Ocupação e Paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84p.

QUIRK, J.P. Significance of surface áreas calculated from water vapor sorption isotherms by use of the B.E.T equations. **Soil Sci.**, 80:423-430, 1955.

REICHE P. A survey of weathering processes and products. **Geologys**, [s.l.], n.3, p.95p, 1950.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicação**. Lavras: Ed. UFLA, 2005.192 p.

SAMBATTI, J.A. et al. Relações entre a substituição isomórfica de Fe por Al e as características químicas e mineralógicas de hematitas sintéticas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.117-124, 2002.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5ed.

Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92 p.

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

SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; KÄMPF, N.; GIASSON, E. Solos de Porto Alegre. In: HASENACK; HEINRICH et al. (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/ Ocupação e Paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84p.

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

SCHNEIDER A.W.; LOSS, E.L.; PINTO J.L. **Mapa geológico da folha de Porto Alegre, RS**. Porto Alegre: Instituto de Geociências UFRGS; Brasília: CNPq, 1974. Escala 1:50000.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraction mit ammoniumoxalat-lösung. **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung Düng Bodenkunde**, Weinheim, v.105, p.194-202, 1964.

SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p. 251-255, 1983.

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

SILVA, M.S.L. da. **Caracterização e gênese do adensamento subsuperficial em solos de tabuleiro do semi-árido do Nordeste do Brasil**. 2000. 127f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SILVEIRA, R.J.C da. **Variabilidade das características de solos e relações solo superfície geomórfica na encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul**. 139f. 1984. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R. Atributos físicos de um Argissolo sob mata nativa em Bariri, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Anais...** Londrina, 2001.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 10.ed. Washington: United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, 2006. 331p.

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

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS : UFRGS, 2008. 116 p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

VAN RANST, E.; CONINCK, F. De evaluation of ferrollysis in soil formation. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.53, n.4, p. 513-519, 2002.

## 7. APÊNDICE

### Descrição morfológica dos perfis de solos:

#### PERFIL 1 – Topo da topossequência

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: 30°11'26,06" S – 51°02'43,70" O

DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Declividade de 0 – 3%, sob campo sujo de aproximadamente 30 anos.

ALTITUDE: 200 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano a Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte Ondulado

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Estacional Semidecidual

USO ATUAL: vassouras, caraguatá; eucaliptos

DESCRITO E COLETADO POR: Paula Suélen Corrêa de Medeiros, Paulo César do Nascimento e Diego Silva da Silva

#### Descrição Morfológica

A1 0-18 cm; 10YR 3/3 (úmida); franca arenosa; moderada, média a grande, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; muito friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A2 18-48 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); moderada, média, blocos subangulares/

fraca, pequena, granular; muito friável; não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana

A3 48-66 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); franca arenosa; moderada, média, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana

AB 66-85 cm; 10YR 3/3 (úmida); franca arenosa/ franco argilo arenosa; fraca a moderada, média, blocos subangulares/moderada, grande, laminar ; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana

BA -85-100 cm; 7,5YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; fraca a moderada, média, blocos subangulares/moderada, grande, laminar; muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt 100- 130+ cm (determinado por tradagem); 10YR 5/6 (úmida); franco argilosa; friável; plástico e pegajoso.

RAÍZES: Comuns no A1, A2, A3 e AB; poucas no BA e raras no Bt



**Figura 19.** Imagem do Perfil 1

## PERFIL 1

Sím bolo	Prof. (cm)	Composição Granulométrica (gKg <sup>-1</sup> )				Cascalho (%)	Argila Dispersa (g Kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
A1	0-18	580	150	180	90	0	40	59
A2	18-48	580	130	180	120	1	80	33
A3	48-66	520	130	190	160	1	110	33
AB	66-85	340	130	270	260	4	170	33
BA	85-100	320	100	240	330	5	170	48
Bt	100- 130+	330	100	210	360	5	160	55

Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g Kg <sup>-1</sup> )						Ki	Kr	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	C (gKg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO					
34,3	20,8	10,32	1,6	1,6	0,036	2,8	2,1	1,9	12,0	5,3
34,8	23,0	11,04	1,6	1,5	0,027	2,6	2,5	0,7	8,0	5,1
51,3	36,3	13,72	2,2	2,2	0,022	2,4	3,8	0,3	6,0	5,2
101,3	62,5	21,07	3,3	3,6	0,018	2,8	2,2	0,4	6,0	5,2
109,8	78,3	23,46	3,4	4,3	0,018	2,4	2,0	0,5	5,0	5,3
114,5	79,6	23,84	3,2	4,2	0,013	2,4	2,0	0,9	3,0	5,3

Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								V (%)	Al (%)
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H + Al <sup>3+</sup>	S	Al <sup>3+</sup>	CTC <sub>pH7</sub>		
1,90	0,70	0,31	0,04	3,90	2,95	0,30	6,85	43	9
0,90	0,20	0,15	0,03	4,67	1,28	1,20	5,95	21	48
1,10	0,50	0,18	0,04	5,71	1,82	1,60	7,53	24	47
1,30	0,80	0,16	0,04	6,19	2,30	2,30	8,49	27	50
1,50	1,10	0,20	0,05	6,40	2,85	2,30	9,25	30	45
1,80	1,60	0,23	0,06	4,80	3,69	1,90	8,49	43	34

**PERFIL 2** – Encosta superior da topossequência

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrófico abruptico

LOCALIZAÇÃO: 30°11'28,33"S – 51°02'46,19"O

DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Declividade de 35%, sob campo sujo de aproximadamente 30 anos.

ALTITUDE: 189 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas



MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado a forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual

USO ATUAL: vassouras, caraguatá; pinus novos

DESCRITO E COLETADO POR: Paula Suélen Corrêa de Medeiros, Paulo César do Nascimento e Diego Silva da Silva

### **Descrição Morfológica**

A1 0-12 cm; 7,5YR 4/3 (úmida); areia franca/ franco arenosa; fraca, pequena, granular/ moderada, média, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 12-32 cm; 10YR 4/3 (úmida); franco arenosa; moderada, média, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana

Bt1 32-52/62 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, grandes, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e irregular

Bt2 52/62-93/98 cm; 10YR 3/4 (úmida); argilosa; moderada, média, blocos subangulares/ moderada, grande, laminar; firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e irregular

C 93/98-118 cm; variegada (2,5YR 4/6; 10YR 8/2; 7,5YR 4/3 - úmida); franco; moderada, muito grande, laminar e partes maciças; friável, não plástico e não pegajoso.

RAÍZES: Comuns no A1, A2, Bt1; raras no Bt2 e C.

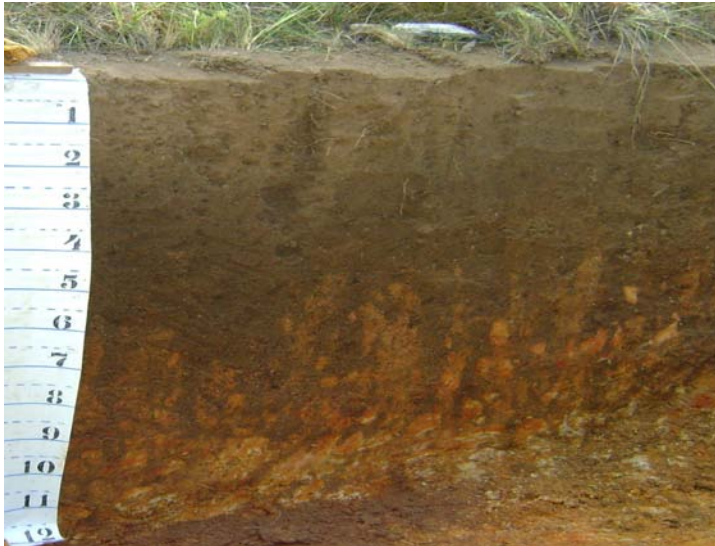


Figura 20. Imagem do Perfil 2

PERFIL 2

Sim bolo	Prof. (cm)	Composição Granulométrica (gKg <sup>-1</sup> )				Cascalho (%)	Argila Dispersa (g Kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
A1	0-12	530	200	160	120	2	60	52
A2	12-32.	480	170	190	160	4	90	45
Bt1	32-52/62	340	130	210	320	10	190	41
Bt2	52/62 - 93/98	270	70	170	490	10	200	59
C	98/98 a 118+	270	130	220	390	2	200	50

Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g Kg <sup>-1</sup> )						Ki	Kr	P (mgKg <sup>-1</sup> )	C (gKg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO					
48,8	25,9	10,1	1,5	1,3	0,012	3,2	2,6	1,0	12,0	5,3
49,8	28,2	10,3	1,3	1,5	0,009	3,0	2,4	0,7	8,0	5,1
127,2	84,3	22,7	2,9	4,0	0,013	2,6	3,3	2,0	8,0	5,1
177,3	125,7	29,9	2,8	4,9	0,009	2,4	2,0	0,7	6,0	5,4
146,2	123,9	31,4	2,1	5,3	0,009	2,0	1,7	0,7	4,0	5,3

Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								V (%)	Al (%)
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H + Al <sup>3+</sup>	S	Al <sup>3+</sup>	CTC <sub>pH 7</sub>		
1,20	0,60	0,30	0,02	4,42	2,12	1,00	6,54	32	32
0,90	0,40	0,26	0,03	5,33	1,59	1,70	6,92	23	52
1,20	0,70	0,21	0,02	7,62	2,13	2,90	9,75	22	58
1,30	1,70	0,25	0,03	7,26	3,27	3,20	10,53	31	49
1,10	1,70	0,17	0,03	5,81	3,00	2,80	8,81	34	48

**PERFIL 3 – Encosta inferior da topossequência**

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Litólico Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: 30°11'30,54"S - 51°02'46,95" O

DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Declividade de 15%, sob campo sujo de aproximadamente 30 anos.

ALTITUDE: 178 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado a forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta estacional semidecidual

USO ATUAL: vassouras, caraguatá, pinus novos.

DESCRITO E COLETADO POR: Paula Suélen Corrêa de Medeiros, Paulo César do Nascimento e Diego Silva da Silva

**Descrição Morfológica**

A1 0-12/15 cm; 7,5YR 4/3 (úmida); franco arenosa; fraca, pequena a média granular; friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana.

A2 12/15-18/25 cm; 10YR 3/3 (úmida); franco arenosa; fraca, pequena a média granular; não plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana

CR/A 18/25-35/42 cm; variegada (5YR 5/8; 10YR 7/8; 10YR 3/3- úmida); franco argilo arenosa; maça; mito/extremamente firme; não plástico e não pegajoso.

R 35/42 – 50+

RAÍZES: Comuns no A1, A2; raras no C.



**Figura 21.** Imagem do Perfil 3

**PERFIL 3**

Símbolo	Prof. (cm)	Composição Granulométrica (g Kg <sup>-1</sup> )				Cascalho (%)	Argila Dispersa (g Kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
A1	0-12/15	460	170	180	190	13	100	47
A2	12/15 - 18/25	440	150	230	180	22	130	28
CR/A	18/25 - 35/42	390	140	240	230	20	70	70

Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g Kg <sup>-1</sup> )						Ki	Kr	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	C (gKg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO					
97,7	53,0	13,8	1,8	2,6	0,011	3,1	2,7	2,3	15,0	4,8
104,	69,9	17,1	2,3	3,3	0,009	2,5	2,2	2,0	12,0	4,8
116,	78,8	17,6	1,4	3,6	0,004	2,4	2,1	2,0	7,0	5,1

Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								V (%)	Al (%)
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H + Al <sup>3+</sup>	S	Al <sup>3+</sup>	CTC <sub>pH7</sub>		
0,90	0,50	0,22	0,03	7,25	1,66	2,50	8,91	18	60
0,80	0,40	0,10	0,03	6,66	1,34	3,00	8,00	17	69
0,60	0,30	0,06	0,05	6,66	1,00	3,00	7,66	13	75

**PERFIL 4 – Sopé da topossequência**

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Alítico típico

LOCALIZAÇÃO: 30°11'31,95"S - 51°02'48,19"O

DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Declividade de 6%, sob mata ciliar

ALTITUDE: 169 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta subtropical caducifólia.

USO ATUAL: mato

DESCRITO E COLETADO POR: Paula Suélen Corrêa de Medeiros, Paulo César do Nascimento e Diego Silva da Silva

**Descrição Morfológica**

A1 0-12 cm; 10YR 4/2 (úmida); franco arenosa; moderada, média a grande, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; muito friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A2 12-28 cm; 10YR 2/2 (úmida); franco arenosa; moderada, média a grande, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; muito friável; não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana

BA 28-55/58 cm; 10YR 2/1 (úmida); franco argilo arenosa; moderada, média a grande, blocos subangulares/ fraca, pequena, granular; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana

Bt1 55/58-75/77 cm; 10YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; fraca a moderada, média, blocos subangulares/ moderada, grande, laminar; muito

friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana

Bt2 -75/77-95 cm; 7,5YR 3/2, mosqueado 7,5YR 6/8 (úmida); franco argilosa; fraca a moderada, média, blocos subangulares/ moderada, grande, laminar; muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

C 95- 110+ cm (determinado por tradagem); 10YR 5/6 (úmida); franco argilo arenosa; friável; plástico e pegajoso.

RAÍZES: Comuns no A1, A2, BA e Bt1; poucas no Bt2 e raras no C.



**Figura 22.** Imagem do Perfil 4

#### PERFIL 4

Símbolo	Prof. (cm)	Composição Granulométrica (g Kg <sup>-1</sup> )				Cascalho (%)	Argila Dispersa (g Kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
A1	0-12	610	100	170	130	11	40	65
A2	12-28.	470	170	220	140	6	80	45
BA	28-55/58	390	140	240	230	2	110	50
Bt1	55/58-75/77	400	110	180	310	5	140	54
Bt2	75/77-95	290	100	180	430	12	190	55
C	95-110	380	120	200	300	13	120	61

Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g Kg <sup>-1</sup> )						Ki	Kr	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	C (gKg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO					
53,8	29,6	10,1	1,9	1,8	0,027	3,1	2,5	5,4	19,0	4,8
61,1	30,0	10,2	1,9	1,8	0,018	3,5	2,8	1,6	8,0	4,9
85,0	48,9	13,8	2,6	2,4	0,013	3,0	2,5	2,6	9,0	4,8
106,	73,0	19,9	2,9	3,1	0,011	2,5	2,1	1,4	11,0	4,7
81,9	81,1	24,0	3,3	3,7	0,009	1,5	1,3	1,4	7,0	4,2
116,	66,4	22,4	2,6	2,8	0,004	3,0	2,5	0,9	1,0	5,1

Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								V (%)	Al (%)
Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H + Al <sup>3+</sup>	S	Al <sup>3+</sup>	CTC <sub>pH7</sub>		
2,50	1,10	0,30	0,06	7,15	3,96	0,80	11,11	35	17
1,20	0,40	0,11	0,03	5,88	1,74	1,90	7,62	23	52
0,60	0,10	0,08	0,03	11,55	0,81	4,80	12,36	7	85
0,50	0,10	0,09	0,04	9,11	0,73	3,20	9,84	7	81
0,90	0,50	0,09	0,05	11,06	1,54	5,60	12,60	12	78
0,90	0,80	0,10	0,05	5,39	1,85	3,20	7,24	25	63