

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 TOPOSSÊQUENCIA GRANÍTICA NA REGIÃO SUDESTE DE  
PORTO ALEGRE**

PAULA SUÉLEN CORRÊA DE MEDEIROS  
Engenheiro Agrônomo (UFSM)

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

Porto Alegre (RS), Brasil  
Fevereiro de 2010

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

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

## **AGRADECIMENTOS**

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

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

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

A 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;

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

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

Aos Amigos da gênese, pela acolhida e amizade, – ao amigo Lula pelo companheirismo, amizade e vídeos engraçados; ao amigo Diego Silva pela ajuda, amizade e paciência;

Às Amigas Graciela, por sempre estar comigo mesmo longe e por me fazer rir nos momentos difíceis; a Rosele pelo apoio e coleguismo; a Camila e família pelo carinho e pela amizade sempre; a Carla, pela amizade, carinho e pelos “chazinhos” quando estava triste;

Aos Professores, colegas e funcionários do PPG ciência do solo pela acolhida, ensinamentos e ajuda;

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 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 TOPOSSEQUÊNCIA 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

Em áreas de formações graníticas do município de Porto Alegre, a interação dos fatores de formação de solo como clima subtropical, relevo ondulado e material de origem com textura grosseira favorecem a ocorrência de processos pedogenéticos em grau mais avançado, permitindo a ocorrência de solos mais desenvolvidos, mesmo em áreas de morros. Os objetivos do trabalho foram caracterizar a morfologia, os atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos em topossequência granítica e avaliar os processos pedogenéticos atuantes para o enquadramento dos solos no Sistema Brasileiro de Classificação (SiBCS) e na Keys of Soil Taxonomy (KST). Foram realizadas descrições morfológicas de quatro perfis de solos em topossequência e coletado material para determinar a granulometria, a área superficial específica (ASE), complexo sortivo, teores de ferro, índices Ki e Kr; e análise mineralógica por difração de Raios-X (DRX). Também foram coletadas amostras indeformadas para determinar a condutividade hidráulica saturada (K), a porosidade (Pt) e a densidade do solo (Ds). Os perfis descritos mostraram-se profundos, com gradiente textural e cores amareladas. Apresentaram ASE inferior a  $36 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , alta K ( $15 \text{ cm h}^{-1}$ ) nos horizontes superficiais e Ds maior que  $1,38 \text{ g cm}^{-3}$  para todos os horizontes. A  $\text{CTC}_{\text{pH}7}$  foi menor que  $13 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ , sendo os maiores valores nos horizontes subsuperficiais. Apresentaram pouca concentração de Fe (menor que 2,2 % de ferro total) e relação  $\text{Fe}_d/\text{Fe}_t$  maior que 0,50. Também foram encontrados valores de Ki e Kr maior que 1,6. A DRX na TFSA indicou uma predominância de quartzo e presença de caulinita, que aumenta em profundidade. Os resultados mostraram a ocorrência do processo pedogenético de Lessivagem nos perfis avaliados, grau de desenvolvimento variável. Os perfis foram classificados como Argissolos Amarelos (três perfis) e Neossolo Litólico, pelo SiBCS e Hapludalf (três perfis) e Ustorthent, segundo o KST.

---

<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 (48p.) Fevereiro, 2010. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES.

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

**Autor:** Paula Suélen Corrêa de Medeiros

**Orientador:** Paulo César do Nascimento

**Co-Orientador:** Alberto Vasconcellos Inda

## ABSTRAT

In granitic geologic formations areas of Porto Alegre county, Rio grande do Sul state, Brazil, the interaction of sub-tropical climate, undulating topography and parent material with coarse texture favors the occurrence of pedogenic processes in more advanced degree, allowing the occurrence of soils developed, even in areas of hills. The objectives of this work were to characterize the morphology, physical, chemical and mineralogical characteristics of soils in a granitic toposequence and evaluate pedogenic processes acting, permitting the classification of the soils in the framework of Brazilian Soil Classification System (SiBCS) and USDA Soil Taxonomy system (Keys of Soil Taxonomy - KST). Morphological descriptions were made of four soil profiles in toposequence and samples were collected to determine the grain size, specific surface area (SSA), cations exchange capacity (CEC), iron levels,  $K_i$  and  $K_r$  indexes and mineralogical analysis by X-ray diffraction (DRX). Were also collected undisturbed soil samples to determine the saturated hydraulic conductivity (K), porosity (Pt) and bulk density (Ds). The profiles described were shown to be deep, with high textural gradient between surface and subsurface horizons and yellow colors. ASE had less than  $36 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , high K ( $15 \text{ cm h}^{-1}$ ) in the surface horizons and DS was greater than  $1.38 \text{ g cm}^{-3}$  for all horizons. The CEC was less than  $13 \text{ cmolc Kg}^{-1}$ , and the highest values in subsurface horizons. Showed little concentration of Fe (less than 2.2% of total iron) and for  $\text{Fe}_d / \text{Fe}_t$  relationship were greater than 0.50. We also found high values of  $K_i$  and  $K_r$  indexes showed values higher than 1,6. DRX indicated the presence of kaolinite, which increases in depth. The results showed the occurrence of Lessivage as the main pedogenic process in the topossequence, with variable degree of the profiles development. The soils were classified in KST as Hapludalfs (three profiles) and a profile as Ustorthent.

---

<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 (48p.) Fevereiro, 2010. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES.



## SUMARIO

<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRAT</b> .....	vii
<b>SUMARIO</b> .....	viii
<b>RELAÇÃO DE TABELAS</b> .....	ix
<b>RELAÇÃO DE FIGURAS</b> .....	x
<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 .....	6
2.3. Processos pedogenéticos e tipos de solos nas áreas de morros de Porto Alegre .....	7
<b>3. HIPÓTESES e OBJETIVOS</b> .....	12
3.1. Hipóteses .....	12
3.2. Objetivos .....	13
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
4.1. Caracterização da área em estudo .....	14
4.2. Descrição morfológica e amostragem de campo .....	14
4.3. Atributos físicos .....	16
Granulometria, grau de floculação e área superficial específica (ASE) .....	16
Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada .....	17
4.4. Atributos químicos .....	17
Complexo sortivo .....	17
Dissoluções seletivas e ataque sulfúrico .....	18
4.5. Mineralogia do solo .....	19
4.6. Análises estatísticas .....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
5.1. Morfologia .....	21
5.2. Atributos físicos .....	24
Granulometria, grau de floculação e área superficial específica (ASE) .....	24
Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada .....	27
5.3. Atributos químicos .....	29
Complexo sortivo .....	29
Teores de ferro .....	31
Teores de silício, alumínio, titânio, manganês e potássio na forma de óxidos, índices Ki e Kr .....	36
5.4. Mineralogia .....	38
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46
<b>8. APÊNDICES</b> .....	50

## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Descrição morfológica dos perfis de solos estudados.....	22
<b>Tabela 2:</b> Distribuição granulométrica, grau de floculação e área superficial específica da fração TFSA.....	25
<b>Tabela 3:</b> Análises físicas, a partir de amostras indeformadas dos perfis de solos estudados para os principais horizontes superficiais e subsuperficiais ...	28
<b>Tabela 4.</b> Análise química dos perfis de solos estudados.....	30
<b>Tabela 5:</b> Teores de ferro e relações; Al, Si, Ti, Mn e K na forma de óxidos; Índice Ki ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e Kr ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) .....	33

## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa da geologia do Município de Porto Alegre (1:50000). Hasenack et. al.(2008).....	5
<b>Figura 2:</b> Levantamento de Solos do Município de Porto Alegre (1:50000). Hasenack et. al.(2008)..	10
<b>Figura 3:</b> Levantamento de Solos do Município de Sentinela do Sul (1:50000). UFRGS (1996).....	11
<b>Figura 4:</b> Esquema da imagem da topossequência .....	15
<b>Figura 5:</b> Imagem lateral do Morro da Extrema (data da imagem: 24/09/07)...	15
<b>Figura 6:</b> Imagens dos perfis de solos estudados .....	23
<b>Figura 7:</b> Relação entre a área superficial específica (ASE) e argila total.....	26
<b>Figura 8:</b> Distribuição da ASE em profundidade .....	26
<b>Figura 9:</b> Relações entre atributos físicos e distribuição granulométrica.....	28
<b>Figura 10:</b> Relação entre ferro pedogênico ( $Fe_d$ ) e a distribuição granulométrica (a) e a relação $Fe_o/Fe_d$ e carbono orgânico (b).....	34
<b>Figura 11:</b> Distribuição das relações $Fe_o/Fe_d$ e $Fe_d/Fe_t$ em profundidade nos perfis de solos estudados.....	34
<b>Figura 12:</b> Relação entre a Área superficial específica (ASE) (a) e fósforo disponível (b) com ferro pedogênico ( $Fe_d$ ) .....	35
<b>Figura 13:</b> Distribuição dos elementos Si, Al, Ti, Mn e K na forma de óxidos no perfil de solo .....	37
<b>Figura 14:</b> Distribuição do índice Ki e Kr em profundidade.....	38
<b>Figura 15:</b> Difratoograma de raios X da rocha sã.....	40
<b>Figura 16:</b> Difratoogramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P1.....	41
<b>Figura 17:</b> Difratoogramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P2.....	42
<b>Figura 18:</b> Difratoogramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P3.....	43
<b>Figura 19:</b> Difratoogramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P4.....	44

## 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 as áreas de relevos ondulados à forte ondulados formadas por uma diversidade de corpos graníticos. Observando o levantamento de solos do município, na escala 1:50.000 (Hasenack, et al., 2008), percebe-se uma predominância de Argissolos Vermelho-Amarelos associados a Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, desenvolvidos a partir de granitos em áreas de relevos irregulares. O mesmo autor localiza a ocorrência de Cambissolos Háplicos nas encostas dos morros (declividades entre 8 e 20 %).

O horizonte diagnóstico B subsuperficial incipiente (Embrapa, 2006), característico dos 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 disso, ele não é formado por um único processo pedogenético específico e dominante, mas sim por vários (Breemen e Buurman, 1998).

Na região em estudo, a definição da localização da ocorrência dos Cambissolos Háplicos não se mostra tão clara, pois os fatores de formação do solo favorecem um predomínio do processo pedogenético de Lessivagem, resultando em solos com acúmulo de argila em profundidade mesmo nas posições de relevo que são relativas à presença de solos com horizonte B incipiente (Hasenack, 2008; Bastos, 1991; Schneider, 1974). Nestas posições

de relevo, tem-se verificado características do solo que atendem os atributos para definição de horizonte diagnóstico B textural.

As implicações desta ocorrência dos solos, e da distribuição nestas áreas, no que diz respeito ao potencial de uso deste recurso natural, e à suscetibilidade a impactos ambientais induzidos pela atividade antrópica, podem ser percebidas por alguns indicadores utilizados. Como exemplo, Bertoni & 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 diferenciam-se de forma expressiva. Os autores definem valores, para os solos denominados atualmente como Argissolos, de 6,5 a 9,0 Mg/ha.ano, sendo, para os atuais 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, estabelecem entre estes a profundidade do solo, a mineralogia, a textura e a presença de gradiente textural no perfil, fatores que tendem a apresentar variações entre as classes de Argissolos, Cambissolos e Neossolos, e mesmo entre os representantes de cada uma destas. Assim, pode-se avaliar que a melhor 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 a resiliência destas áreas á impactos de diferentes tipos.

## 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 ampla 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, sendo que os corpos graníticos da Suíte Dom Feliciano são petrograficamente sienogranitos e álcali-fesdpato granitos. No Mapa geológico da folha de Porto Alegre (1974) os corpos graníticos foram divididos em seis 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 riolitos, dacitos e diabásios.

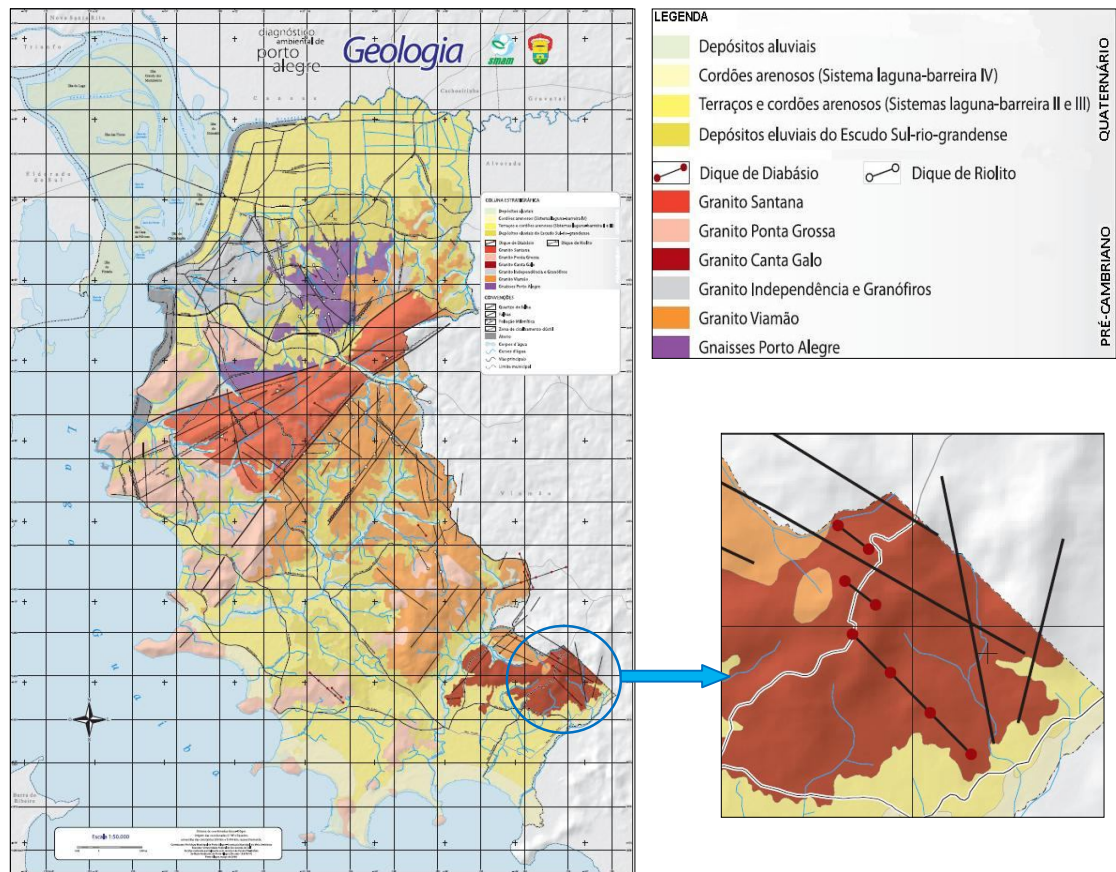
Outro material que compõe o município com pequena participação é o Gnaiss, encontrado na região central, sendo primeiramente classificados por Schneider, et al. (1974) como migmatitos heterogêneos. Este material é

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 na base dos morros e ao longo da margem do Rio Guaíba. São materiais sedimentares areno-argilosos com grau variável de consolidação, associados à matriz argilosa e óxidos de ferro, como agentes cimentantes.

Na figura 1, o Mapa da Geologia, proposto no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (Hasenack et. al., 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. Como têm muita sílica em sua estrutura, os granitos constituem um magnífico exemplo de rochas ácidas. Do ponto de vista da coloração, os granitos vão desde cores claras até tons de cinza escuros dada pelo principal feldspato presente (Hasenack, et al., 2008).

Na porção sudeste de Porto Alegre destaca-se 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. Este mineral ocorre de forma irregular e é constituído de microclínio, quartzo, oligoclásio, biotita, apatita, zirconita, esfebo, alanita, muscovita, fluorita e molibdenita. É um granito subalcalino, com textura equigranular grossa e com feldspatos alcalinos apresentando-se com fenocristais disseminados, os quais,

às vezes, zonados (Schneider, 1974). Hasenack (2008) cita que o feldspato potássico é 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 incolor e, a biotita apresenta coloração preta e ocorre na forma de agregados intersticiais.



**Figura 1:** Mapa da geologia do Município de Porto Alegre (1:50000). Hasenack et. al.(2008). Detalhe no mapa da região composta por Granito Santa Galla, com diques de diabásio.

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 nos dois últimos parágrafos, constituem os morros da Extrema e São Caetano, apresentando um manto de alteração



muito espesso, na ordem de 10 a 40m de profundidade. Esse manto de alteração, que caracteriza o Granito Canta Galo, foi utilizado, ao longo as duas últimas décadas, como fonte de saibro para a região de Porto Alegre. A retirada deste material resultou na formação de uma grande depressão, que atualmente é utilizada para abrigar o Aterro Sanitário da Extrema (Hasenack et al., 2008).

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

O intemperismo é a expressão 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 solo. A resistência ao intemperismo varia de mineral para mineral e é baseada, entre outras, na série de Goldich, que propõe a ordem crescente da estabilidade dos minerais das rochas de composição granítica. Reiche (1950) estabelece que em média o granito seja quase três vezes mais resistente ao intemperismo que um basalto. 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 autor afirma que os processos de intemperismo físicos aumentam o diaclasamento da rocha 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 sã 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. Continuando os processos intempéricos, os núcleos dispersos de rocha (matações) 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 sã e C é o horizonte que ainda apresenta feições da rocha sã, 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 sã, sendo composto por concentração de óxidos de ferro e alumínio, enquanto o horizonte A, mais superficial contém material orgânico proveniente dos processos intempéricos biológico.

Nos solos de Porto Alegre, que apresentam fatores de formação que favorecem a iluviação de materiais minerais, este horizonte pedogenético B apresenta uma maior quantidade de argila, quando comparado ao horizonte superficial A, sendo caracterizado como B textural.

### **2.3. Processos pedogenéticos e tipos de solos 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 intemperizada em climas diferentes. No entanto, rochas diferentes podem formar solos idênticos quando sujeitas ao mesmo ambiente climático de intemperismo (Leinz e Amaral, 1998). Considerando que, no município de Porto Alegre o clima não varia significativamente, pode-se estimar que a interferência do relevo e do material de origem é bastante decisiva, já que as idades dos materiais geológicos dominantes no município são as mesmas (Pré-Cambriana).

Os processos pedogenéticos são a combinação destes fatores de formação do solo com o ambiente que se encontram, e em Porto Alegre, as condições ambientais e, conseqüentemente, os fatores de formação das áreas

de relevo ondulado, (como clima subtropical úmido e material de origem com textura grosseira) favorecem o desenvolvimento do processo pedogenético de Lessivagem. Este processo tem por característica a translocação de materiais sólidos, principalmente argila, de um horizonte superficial (eluvial) para um horizonte subsuperficial (iluvial), formando assim um horizonte mais adensado. A Lessivagem pode ser designada de diferentes maneiras, sendo que Duchaufour et. al., (1982) relata que geralmente significa o movimento vertical de materiais na solução do solo, mais especificamente, movimento das partículas em suspensão, enquanto que Fanning e Fanning (1989) descrevem o processo enfatizando a combinação dos processos de eluviação e iluviação de 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, na 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 e ou formação em situ. Como a formação do horizonte B textura em geral é um processo gradual, sua presença no perfil de solo indica alto grau de desenvolvimento. Contudo, processos secundários como erosão seletiva, neoformação, remoção e também Ferrólise, podem contribuir para a formação de gradiente textural. A ferrólise é o processo pedogenético freqüente em solos sujeitos aos ciclos de umedecimento e secagem, logo, de redução e oxidação do íon Fe, que pode causar o gradiente textural (Almeida et al., 1997; Mafra et al., 2001). Na fase de oxidação, a passagem de  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ , libera íons de  $H^+$  capaz de deslocar cátions da estrutura dos argilo minerais, destruindo os, o que gera, em estádios avançados, um gradiente textural no perfil (Van Ranst e de Coninck, 2002). a dissolução de argilas finas pelo intemperismo torna o perfil de solo predominantemente mais arenoso no topo.

Bastos (1991) relata que o processo de formação, de solos graníticos e gnáissicos, é a Podzolição, porém, atualmente, este processo é

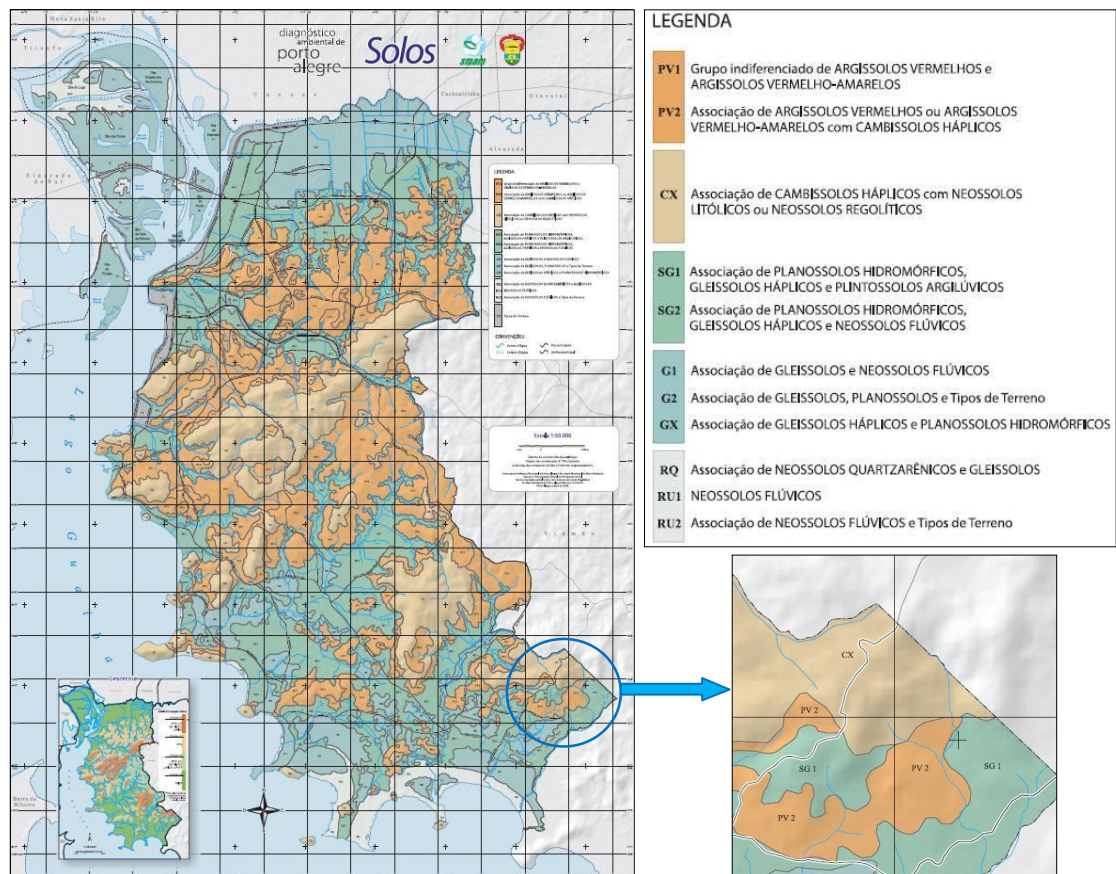
descrito especificamente como translocação de material orgânico e Al, acompanhado ou não de Fe, dos horizontes superficiais para o horizonte subsuperficial, formando o horizonte espódico (Embrapa, 2006).

Favorecida pelos fatores de formação do solo da região em estudo, a Lessivagem forma nas áreas de relevos ondulados, os Argissolos Vermelho-Amarelos, com horizonte B textural e cores brunadas - amareladas. Em ambiente com relevo forte ondulado, a Lessivagem torna-se menos ativa, limitando os processos de eluviação/ iluviação e assim, formando horizontes subsuperficiais menos desenvolvidos, em termos de evolução pedogenética, como o B incipiente e ou solos com ausência de B pedogenético, como os Neossolos Litólicos.

Os Cambissolos caracterizam-se por apresentarem horizonte B incipiente, que é pouco intemperizado, mas que sofreu alteração química e física suficiente para o desenvolvimento de cor e unidades estruturais, no qual mais da metade do volume de todos os sub-horizontes não deve consistir em estrutura da rocha original. Breemen e Buurman (1998) citam que este horizonte é tipicamente intermediário entre os demais horizontes diagnósticos e possui grau de intemperismo fraco, devido a pouca idade ou baixa intensidade de formação do solo. Assim, com frequência, apresenta pouca expressão dos processos pedogenéticos. Os Neossolos Litólicos, por sua vez, caracterizam-se por apresentarem horizonte superficial assentado diretamente sobre um horizonte C ou Cr, com contato lítico a uma profundidade menor que 50 cm. Os Neossolos Regolíticos diferenciam-se dos Neossolos Litólicos por apresentarem contato lítico a uma profundidade maior que 50 cm (Streck, et al. 2008; Embrapa, 2006).

Se observarmos o mapa do levantamento de solos na escala 1:50000 do município, percebemos 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 2). As Associações de Cambissolos e Neossolos Litólicos e Regolíticos representam grande parte da área de Porto Alegre, sendo considerados rasos e pouco desenvolvidos, com restrições severas de qualquer espécie de uso. Hasenack et. al., (2008) destacam que estas associações apresenta-se entre a região dos morros na Zona Sul, Ponta

Grossa, Ponto do Cego, Morro São Pedro e da Extrema, zona do município com atividade rural mais acentuada.

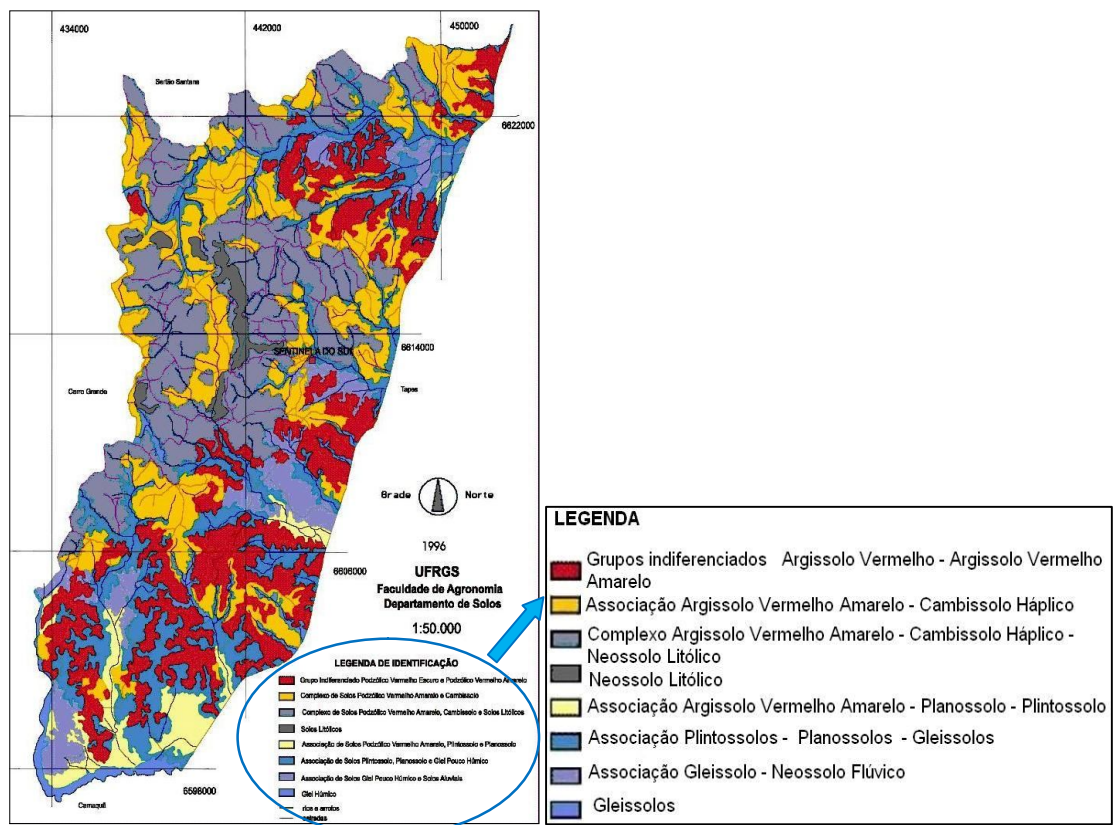


**Figura 2:** Levantamento de Solos do Município de Porto Alegre (1:50000). Hasenack et. al.(2008). Em destaque a região de ocorrência do Granito Canta Galo.

Os Cambissolos formados das rochas graníticas de Porto Alegre 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. Na região sudeste do município, onde prevalecem corpos graníticos denominados Canta Galo (Detalhe da figura 2), há uma dominância dos Cambissolos Háplicos associados a Neossolos Litólicos Estes últimos são mais rasos e também apresentam textura cascalhenta, com coloração bruno avermelhada escura. Estudos de compartimentos de relevo do município de Porto Alegre (Fujimoto, 2009) corroboram com Hasenack, et. al. (2008), pois

descrevem, para a região sudeste, nos padrões em forma de morros, Neossolos Litólicos juntamente com afloramentos rochosos nas médias e altas vertentes e solos mais profundos nas baixas vertentes.

O Levantamento de Solos de Sentinela do Sul, RS (Figura 3), município que também encontra-se 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.



**Figura 3:** Levantamento de Solos do Município de Sentinela do Sul (1:50000). UFRGS (1996).

Esta concordância com o Levantamento de Solos do município de Porto Alegre, com certeza é em função das semelhanças em relação aos fatores de formação do solo, com reflexos na natureza e tipo de processos pedogenéticos. Assim, indicando que Porto Alegre não é um caso a parte, em termos de evolução pedogenética, e que o estudo do comportamento dos processos pedogenéticos elucidaria não apenas o município em estudo, mas sim todas as regiões que encontram-se em condições ambientais semelhantes.

### **3. HIPÓTESES E OBJETIVOS**

#### **3.1. Hipóteses**

Com base no exposto, podem-se formular algumas hipóteses acerca da formação, distribuição e características dos solos formados nas áreas de morros graníticos do município de Porto Alegre, a saber:

a) A interação entre os fatores ambientais na formação dos solos dos morros graníticos de Porto Alegre, particularmente o relevo, o clima e os materiais de origem, permite a ocorrência de processos pedogenéticos em natureza e grau expressivo, particularmente a Lessivagem, resultando em feições específicas para estes solos;

b) Os fatores de formação e os processos pedogenéticos ocorrentes resultam em uma distribuição de solos onde duas situações se destacam, sendo (i) a ocorrência de solos pouco desenvolvidos, com pouca espessura e diferenciação de horizontes incompleta, resultando em ausência de horizonte pedogenético subsuperficial, e (ii) a ocorrência de solos com maior grau de desenvolvimento (espessura, constituição e diferenciação de horizontes), onde os processos de Lessivagem permitem a diferenciação dos horizontes B textural (Embrapa, 2006);

c) A distribuição dos solos, como consequência, resulta em uma predominância das classes de Neossolos e Argissolos, com a ocorrência de Cambissolos de forma marginal, isto é, ocupando áreas de menor extensão e apresentando características de transição para uma das classes

predominantes.

### **3.2. Objetivos**

Os objetivos do presente trabalho, tendo em vista a verificação e teste das hipóteses formuladas, são:

a) Estudo das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de perfis de solos em topossequência na região sudeste de Porto Alegre;

b) Avaliação da influência dos fatores de formação do solo presentes, e da natureza e intensidade dos processos pedogenéticos envolvidos, permitindo estimar-se a natureza e a extensão das relações solo-ambiente nestes locais;

c) Enquadramento destes solos avaliados nas classes estabelecidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) e no “Sistema Americano” de classificação de solos ("Keys of Soil Taxonomy" - KST - Soil Survey Staff, 1999), contribuindo para maior detalhamento sobre a distribuição dos tipos de solos nestas áreas.



## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Caracterização da área em estudo**

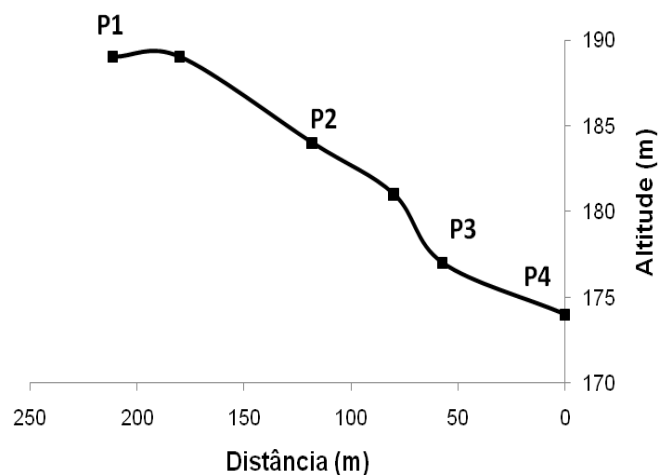
O presente estudo foi realizado em propriedade particular (30°11'25.32" S –51°2'45.88" O), no Morro da Extrema, região sudeste de Porto Alegre. Essa região é composta basicamente por corpos graníticos, denominados como Granito Canta Galo (Schneider, 1974; Hasenack, et. al., 2008) e diferenciam-se dos demais corpos graníticos do município de Porto Alegre por apresentarem textura mais grosseira. O Levantamento semidetalhado (1:50.000) de solos do município indica para a região sudeste a ocorrência de Cambissolos Háplicos associados a Neossolos Litólicos (Hasenack, et al., 2008). 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. O 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.

Atualmente, no Morro da Extrema, encontra-se o Aterro Sanitário da Extrema que foi construído em uma grande depressão gerada pela utilização durante décadas para exploração de “saibro”.

### **4.2. Descrição morfológica e amostragem de campo**

Foram abertas trincheiras em 4 pontos distintos em topossequência, onde localizam-se perfis representativos dos solos da área: no topo aplainado do morro – campo sujo 30 anos (P1); no terço superior – campo sujo 30 anos

(P2), no terço inferior- campo sujo 30 anos (P3) e na base da topossequência – mata ciliar de arroio (P4) (figura 4 e 5). 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.



**Figura 4:** Esquema da imagem da topossequência



**Figura 5:** Imagem lateral do Morro da Extrema (data da imagem: 24/09/07).

Também foram coletadas amostras indeformadas em cilindros de Uhland com dimensões de 7,5 x 7,5 cm em duas profundidades com 3 repetições (horizonte superficial A e horizonte subsuperficial B – profundidades dos horizontes subsuperficiais encontram-se No quadro 1).

#### 4.3. Atributos físicos

##### *Granulometria, grau de flocculação 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, 2006) 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 dos horizontes dos perfis avaliados.

Para a determinação da área superficial específica (ASE), que foi realizada no Laboratório de Raio 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 nm<sup>2</sup>, calculou-se a ASE pela seguinte expressão:

$$ASE \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} = \text{no Avogadro } (6,02214 \times 10^{23}) \times 0,108 \text{ nm}^2 \times (\text{g água adsorvida/g amostra})$$

### *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° C durante 48 h obtendo o peso seco da amostra. Assim a densidade, porosidade, macroporosidade e microporosidade do solo foram obtidas pela fórmulas, segundo metodologia de Embrapa (1997):

Densidade do solo-  $D_s = \text{Massa do solo seco (Mss)} / \text{Volume total (Vt)}$ ,

Porosidade total -  $P_t = \text{Massa saturada (Msat)} - \text{Mss} / \text{Vt}$ ,

Macroporosidade =  $\text{Msat} - (\text{M60})^* / \text{Vt}$

Microporosidade =  $\text{M60} - \text{Mss} / \text{Vt}$ .

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-s, 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:  $K \text{ (cm h}^{-1}\text{)} = (60 \times V \times h) / (A \times t \times H)$ , 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 lamina de água sobre o anel.

#### **4.4. Atributos químicos**

##### *Complexo sortivo*

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. O K<sup>+</sup> trocável foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> e seu teor determinado por fotometria de chama. O Al<sup>3+</sup> trocável foi extraído com solução KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e titulado com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) foram determinados por extração com acetato de cálcio, e posterior titulação

(Embrapa, 1997). O fósforo disponível foi extraído com solução  $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  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%).

#### *Dissoluções seletivas e ataque sulfúrico*

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 ( $\text{Fe}_d$ ) a  $80^\circ\text{C}$ , 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. Em cada extração de 15 minutos adicionou-se 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  $80^\circ\text{C}$  em banho-maria. Ao fim do extrato a suspensão foi centrifugada a 3000 rpm 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 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 rpm 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).

Teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{MnO}_2$  foram 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 1g 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 total ( $\text{SiO}_2$ ). 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).

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.

#### **4.5. 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 são 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  $^\circ 2\theta$ , com velocidade de varredura de 2  $^\circ 2\theta$ /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 & Brown (1980) e interpretações

contidas em Resende et al. (2005).

#### **4.6. 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.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Morfologia

Na tabela 1 encontram-se as descrições morfológicas dos quatro perfis de solos estudados (Anexos 1,2, 3 e 4). Exceto o perfil 3, que apresentou contato lítico a 35 cm de profundidade, os demais perfis de solos são considerados profundos pelo SiBCS (Embrapa, 2006), por apresentarem contato lítico a uma profundidade maior que 100 cm. Os perfis do topo e da base da topossequência foram os mais profundos, sendo que nestes locais o relevo é plano ou suave ondulado, permitindo que a taxa de formação do solo seja maior que a taxa de perda. 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 por conter um acúmulo de material orgânico, proveniente da mata, apresentou valores e cromas menores, entre 2 e 3 (figura 6). A matéria orgânica e os óxidos de ferro são os principais agentes responsáveis pela cor dos solos, sendo que o valor apresenta normalmente relação inversa com a quantidade de matéria orgânica do solo, isto é quanto mais matéria orgânica apresentar um horizonte de um solo, menor será o valor da cor do solo. Não foram encontradas relações significativas entre o valor da cor e a quantidade de carbono total, ou quantidade de óxidos de ferro ( $Fe_d$ ), uma vez que estes componentes encontram-se em quantidades baixas nos perfis avaliados (tabela 4 e 5). A cor do solo também está relacionada com a sua distribuição granulométrica 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).



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

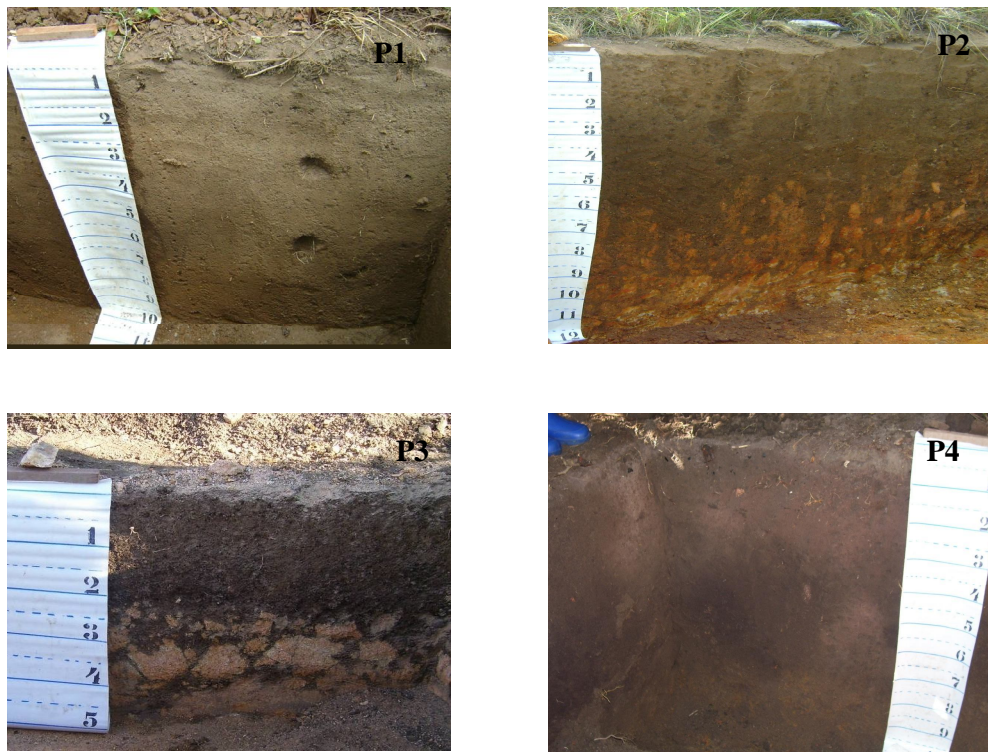
	<b>HZ.</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor</b>	<b>Classe textural</b>	<b>Estrutura</b>
Perfil 1	A1	0-18	10YR 3/3	areia franca/franco arenosa	mod. médios/gr Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	A2	18-48	7,5YR 3/2	franco arenosa	mod. médios Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	A3	48-66	7,5YR 3/2	franco arenosa	mod médios. Bl. Subangulares/fraca peq. Granular
	AB	66-85	10YR 3/3	franca /franco argilosa	fraco/ mod. médios Bl. Subangulares/mod.gr. Laminar
	BA	85-100	7,5YR 3/3	franco argilosa	fraco/ mod. médios Bl. Subangulares/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. médios Bl.subangulares
	A2	12-32.	10YR 4/3	franco arenosa	mod. médios Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	Bt1	32-52/62	7,5YR 3/2	franco argilo arenosa	mod.gr. Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	Bt2	52/62 - 93/98	7,5YR 3/4	argilosa	mod. médios Bl. Subangulares/ mod. gr. Laminar
	C	93/98 a 118+	Variegada*	franco argilosa	mod.mto gr. 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/R	18/25 - 35/42	Variegada**	franco argilo arenosa	maciça
	R	32/42 - 50+	-	-	-
Perfil 4	A1	0-12	10YR 4/2	franco arenosa	mod.médios/gr. Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	A2	12-28.	7,5YR 4/3	franco arenosa	mod. médios Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	BA	28-55/58	10YR 2/2	franco argilo arenosa	mod. médios Bl. Subangulares/ fraca peq. Granular
	Bt1	55/58-75/77	10YR 2/1	franco argilo arenosa	fraco/ mod. médios Bl. Subangulares/mod.gr. Laminar
	Bt2	75/77-95	7,5YR 3/2 mosq***	franco argilosa	fraco/ mod. médios Bl. Subangulares/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

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 acumulo de carbono orgânico.

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).

As classes texturais dos solos, quando avaliadas a campo, não variaram muito entre si, a maioria apresentou textura franca arenosa nos horizontes superficiais e textura franco argilosa ou franco argilo arenosa nos horizontes subsuperficiais.



**Figura 6:** Imagens dos perfis de solos estudados

## 5.2. Atributos físicos

### *Granulometria, grau de flocculação e área superficial específica (ASE)*

Na tabela 2 encontram-se os resultados das análises granulométricas dos perfis de solos estudados. Todos os horizontes superficiais apresentaram mais de 60 % de areia na sua constituição e pouca concentração de argila (menos de 20 %). Quando observado em subsuperfície 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), isto é, maior que mostrando acúmulo de argila em profundidade. O perfil 2 apresentou mudança textural abrupta, enquanto que os perfis 1 e 4, não apresentaram este atributo, pois o acúmulo de argila em subsuperfície foi gradual. Estes perfis apresentaram mais de 15 % de silte e relação silte/ argila maior que 0,5, mostrando que, apesar da evidência do desenvolvimento pelo gradiente textural e profundidade, existe a possibilidade de ocorrência, na constituição mineralógica do solo, de material intemperizável. Este estudo corrobora com as observações de Bastos (1991), que ao se referir a ocorrência de Cambissolos Háplicos na região, destacou a presença de solos com características indicativas de intenso intemperismo, ao lado de outras indicativas de desenvolvimento pouco expressivo, e ainda afirma que, em termos de evolução pedogenética, estes solos constituem uma fase intermediária na evolução de um perfil de Neossolo Litólico a um Argissolo Vermelho-Amarelos.

Todos os horizontes subsuperficiais B descritos enquadram-se em B textural, conforme definição do SiBCS (Embrapa, 2006), não podendo enquadrar-se na definição de B incipiente. A composição granulométrica dos perfis descritos mostrou indícios da ocorrência significativa do processo pedogenético da Lessivagem. Este processo caracteriza-se pelo o movimento vertical de materiais na solução do solo, mais especificamente, movimento das partículas em suspensão (Duchaufour et al., 1982).

O grau de flocculação (GF) dos solos estudados encontrado 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 flocculada e é dependente de pH e dos cátions presentes na solução do solo e adsorvidos (Azevedo e Dalmolin, 2004).

Nos horizontes superficiais, em média, 50 % da fração argila encontra-se agregada, sendo que o restante, em pequenas turbações, pode ficar em suspensão na solução do solo, favorecendo a eluviação neste horizonte. A dinâmica deste atributo nos perfis de solos apresenta-se de forma bastante irregular, sendo que os horizontes que apresentam maiores conteúdos de carbono orgânico tendem a ter maiores GF (mesmo estes atributos não apresentando boas relações), provavelmente devido ao fato de a matéria orgânica afetar o desenvolvimento da estrutura e relaciona-se com o balanço das cargas elétricas do solo (Gomes et al., 1994).

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

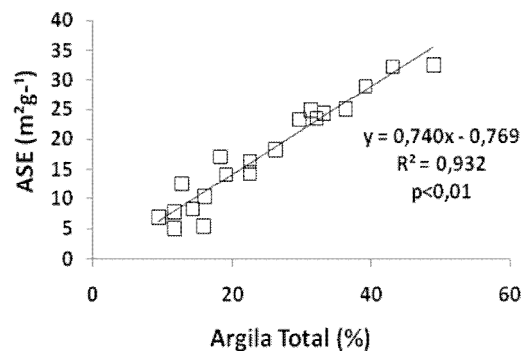
	HZ.	Prof. (cm)	AF	AG	Argila	Silte	Casca lho	Silte/ Argila	ADA	GF	ASE
			.....%.....						.....%.....		m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
Perfil 1	A1	0-18	15	58	9	18	0	1,93	4	59	6,86
	A2	18-48	13	58	12	18	1	1,53	8	33	5,03
	A3	48-66	13	52	16	19	1	1,21	11	33	10,40
	AB	66-85	13	34	26	27	4	1,05	17	33	18,23
	BA	85-100	10	32	33	24	5	0,73	17	48	24,24
	Bt	100-130+	10	33	36	21	5	0,57	16	55	24,99
Perfil 2	A1	0-12	20	53	12	16	2	1,35	6	52	7,77
	A2	12-32.	17	48	16	19	4	1,20	9	45	5,42
	Bt1	32-52/62	13	34	32	21	10	0,65	19	41	23,39
	Bt2	52/62 - 93/98	7	27	49	17	10	0,35	20	59	32,48
	C	98/98 a 118+	13	27	39	22	2	0,55	20	50	28,91
Perfil 3	A1	0-12/15	17	46	19	18	13	0,96	10	47	14,12
	A2	12/15 - 18/25	15	44	18	23	22	1,25	13	28	17,03
	CR/R	18/25 - 35/42	14	39	23	24	20	1,08	7	70	16,28
Perfil 4	A1	0-12	10	61	13	17	11	1,30	4	65	12,50
	A2	12-28.	17	47	14	22	6	1,52	8	45	8,28
	BA	28-55/58	14	39	23	24	2	1,08	11	50	14,36
	Bt1	55/58-75/77	11	40	31	18	5	0,58	14	54	24,78
	Bt2	75/77-95	10	29	43	18	12	0,42	19	55	32,18
	C	95-110	12	38	30	20	13	0,68	12	61	23,21

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

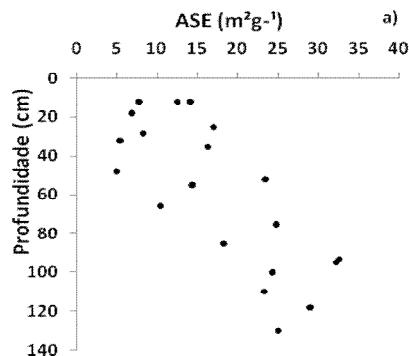
Já os horizontes com maiores teores de argila total (horizontes subsuperficiais) apresentaram, também, uma tendência a maiores valores de GF, porém não encontrou-se relação significativa com este atributo. O GF também pode ser indicativo de uma condição de intemperismo mais avançada, onde uma maior estabilidade 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 ( $R^2 = 0,93$ ;  $p < 0,01$ ) com a argila total presente (figura 7). Verificou-se, também, um aumento da ASE em profundidade (figura 8), corroborando com o processo pedogenético de Lessivagem. Em trabalhos de avaliação dos atributos físicos dos Latossolos paulistas, os autores também encontraram um aumento da ASE em profundidade dos perfis de solos que apresentaram aumento de argila no perfil (Alleoni e Camargo, 1994), 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.



**Figura 7:** Relação entre a área superficial específica (ASE) e argila total



**Figura 8:** Distribuição da ASE em profundidade

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

Os resultados das características físicas do solo encontram-se na tabela 3. A condutividade hidráulica saturada (K) dos perfis avaliados tiveram valores considerados altos por Cauduro e Dorfman (1988), sendo acima de 15 cm h<sup>-1</sup> nos horizontes superficiais, com exceção do perfil 1, e acima de 7 cm h<sup>-1</sup> para os horizontes subsuperficiais. Esses altos valores estão, provavelmente, relacionados com a granulometria do solo, que é dominada pela fração areia, principalmente nos horizontes superficiais. Nestes horizontes, os altos valores de K são explicados pelo alto teor de cascalhos nos solos. A figura 9a mostra que a condutividade hidráulica saturada do solo aumenta com o aumento do teor de cascalho, apresentando relação significativa positiva ( $R^2 = 0,57$ ;  $p = 0,047$ ). 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 cascalho, principalmente nos horizontes superficiais, pode ter criado esses “megaporos” através de caminhos preferências.

À medida que aumentou a profundidade dos solos, apesar de nos perfis 1 e 2 aumentarem 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 Lessivagem, apresentou relação significativa positiva com o aumento dos microporos ( $R^2 = 0,62$ ;  $p = 0,03$ ). A figura 9b mostra que 62% das variações na quantidade de microporos são influenciadas por mudanças na quantidade de argila. O aumento da microporosidade nos horizontes subsuperficiais avaliados é acompanhado pela diminuição da quantidade de macroporos, e esta macroporosidade apresenta forte associação com a K, sendo que pequenas mudanças no seu valor alteram consideravelmente os valores da K. Em estudo comparando metodologias de determinação do valor da condutividade hidráulica saturada em topossequência, os autores concluíram que mudanças na condutividade hidráulica saturada estiveram relacionadas a alterações nas propriedades físicas do solo e as posições no relevo em que se encontram (Marques, et al., 2008).

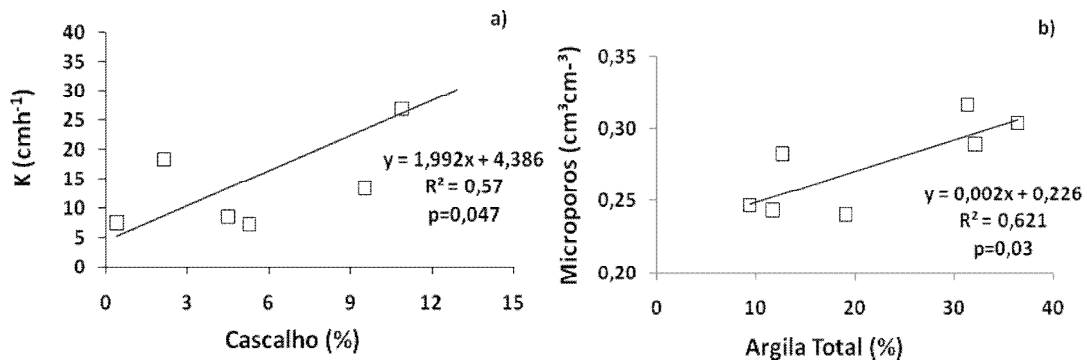
A densidade do solo manteve-se alta e variou bastante de horizonte

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.

**Tabela 3:** Análises físicas, a partir de amostras indeformadas dos perfis de solos estudados para os principais horizontes superficiais e subsuperficiais

	Hz	Prof. Cm	K cmh <sup>-1</sup>	Ds gcm <sup>-3</sup>	Porosidade %	Macroporos ..... cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Microporos .....
Perfil 1	A1	0-5	7,5	1,61	44,52	0,20	0,25
	Bt	100-105	7,2	1,44	46,87	0,17	0,30
Perfil 2	A1	0-5	18,3	1,48	49,46	0,25	0,24
	Bt1	32-37	13,4	1,58	45,67	0,17	0,29
Perfil 3	A1	0-5	40,2	1,46	46,93	0,23	0,24
Perfil 4	A1	0-5	26,8	1,44	46,47	0,18	0,28
	Bt1	55-60	8,5	1,38	46,65	0,15	0,32

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



**Figura 9:** Relações entre atributos físicos e distribuição granulométrica

Em média os valores de Ds foram maiores nos horizontes superficiais (1,61 g cm<sup>-3</sup>) e menores nos horizontes subsuperficiais (1,38 g cm<sup>-3</sup>), apresentando uma tendência à diminuição em profundidade. Já que a quantidade de argila no perfil aumenta a microporosidade, pode-se aferir que a densidade do solo diminui devido ao menor tamanho e peso das partículas da fração argila, porém estes atributos não apresentaram relações estatísticas significativas.

No perfil 2, o horizonte B apresentou densidade do solo ( $1,58 \text{ g m}^{-3}$ ) bem maior que o horizonte A ( $1,48 \text{ g cm}^{-3}$ ). Os valores de Pt mantiveram-se na faixa de 45 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.

### 5.3. Atributos químicos

#### *Complexo sortivo*

A análise de rotina dos perfis de solos estudados é apresentada na tabela 4 e mostra baixa reserva de nutrientes e acidez dos solos, corroborando com estudos sobre solos graníticos de Porto Alegre (Bastos, 1991; Hasenack 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, refletindo em baixa reserva de nutrientes, juntamente com uma  $\text{CTC}_{\text{pH}7}$  menor que  $15 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ . Há uma tendência de maior concentração de bases trocáveis nos horizontes iluviais, juntamente com uma maior  $\text{CTC}_{\text{pH}}$ , exceto no perfil 4, onde o maior valor de soma de bases encontra-se no horizonte A1, enquanto a  $\text{CTC}_{\text{pH}7}$  apresenta-se bem distribuída no perfil de solo. A  $\text{CTC}_{\text{pH}7}$  apresentou uma relação positiva significativa com a argila total ( $R^2 = 0,30$ ;  $p = 0,01$ ) dos perfis de solos avaliados, possivelmente devido maior ASE desta fração .

A saturação por alumínio é alta em quase todos os solos estudados, sendo maiores que 45 % em todos os horizontes B texturais. 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).



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

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

Hz= Horizontes; C. org. = carbono orgânico; S= Soma de bases; V= Saturação de bases;  
T= Atividade da fração argila;

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 consequência 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  $27 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ .

As menores densidades encontradas no perfil 4, quando comparado aos outros perfis de solos, podem estar relacionadas ao teor de matéria orgânica presente, que neste perfil, observou-se os maiores valores de carbono orgânico total (tabela 4). O aporte de material orgânico em um solo exerce poder cimentante, agregando as partículas de solo e melhorando a sua estruturação e esta estrutura exerce influência direta sobre a movimentação de água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade, fatores esses responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento vegetal (Letey, 1985).

#### *Teores de ferro*

A concentração de ferro na forma óxidos de ferro pedogênicos ( $Fe_d$ ) aumentou em profundidade, porém apresentou valores pequenos, não ultrapassando 1,36 % (tabela 5). Este aumento do  $Fe_d$  em profundidade ocorre devido ao fato de os óxidos de ferro serem minerais secundários e estarem presentes na fração argila dos solos (figura 10a). 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.

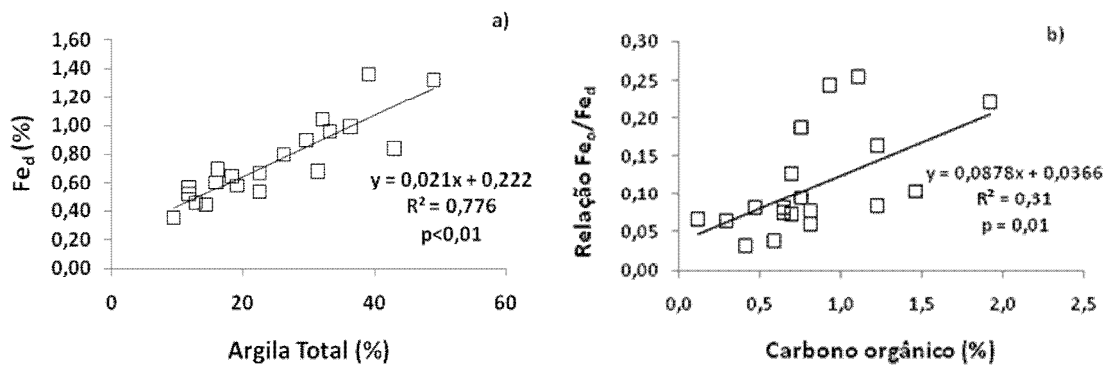
A razão  $Fe_d/Fe_t$  permite uma estimativa da intensidade de intemperização do material e determina a transformação dos silicatos contendo  $Fe^{2+}$  em óxidos contendo  $Fe^{3+}$  (Kämpf e Curi, 2000). A partir dos teores de ferro total, obtido do extrato sulfúrico, pode-se discutir a relação  $Fe_d/Fe_t$ , que nos perfis de solos estudados variou de 0,49 a 0,83 sendo que quanto mais próximo o valor de 1, mais ferro contido em minerais primários terá se neoformado como óxidos de ferro pedogênicos. Ocorre uma tendência ao aumento desta relação em profundidade seguida de uma diminuição, como mostra a figura 11. Os maiores valores da relação  $Fe_d/Fe_t$  foram observados nos horizontes A2 de cada perfil de solo, exceto no perfil 4. Seguindo a seqüência lógica do intemperismo, os horizontes superficiais são os mais desenvolvidos e que menos apresentam feições da rocha original, porém nos horizontes A1 há muita influência do material orgânico presente, que pode atuar como inibidor da cristalinização dos óxidos de ferro, assim como anions de silício que bloqueiam o crescimento cristalino (Schwertmann, 1966; Schwertmann e Taylor, 1989). No perfil 4 há um pequeno aumento em profundidade do carbono orgânico total, e isso pode explicar a diminuição da relação nos horizontes A2 e BA, já que a argila total deste perfil acompanha a distribuição dos outros perfis, aumentando em profundidade. Os menores valores desta relação são verificados nos horizontes iluviais, e mostra que a Lessivagem ocorre até a frente de intemperismo dos solos estudados.

Nos perfis de solos estudados foram encontradas relações  $Fe_o/Fe_d$  que variaram de 0,03 a 0,25. Esta relação proporciona uma indicação do conteúdo relativo de óxidos de ferro mal cristalizados e dos cristalinos, sendo seu aumento correspondente a 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, e pode-se aferir que está relacionado com a maior quantidade de carbono orgânico de, já que apresentou relação significativa positiva ( $R^2= 0,31$ ;  $p = 0,01$ ) com o carbono orgânico do solo (figura 10b). 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 óxidos de ferro (Schwertmann e Taylor, 1989; Kämpf e Curi, 2000).

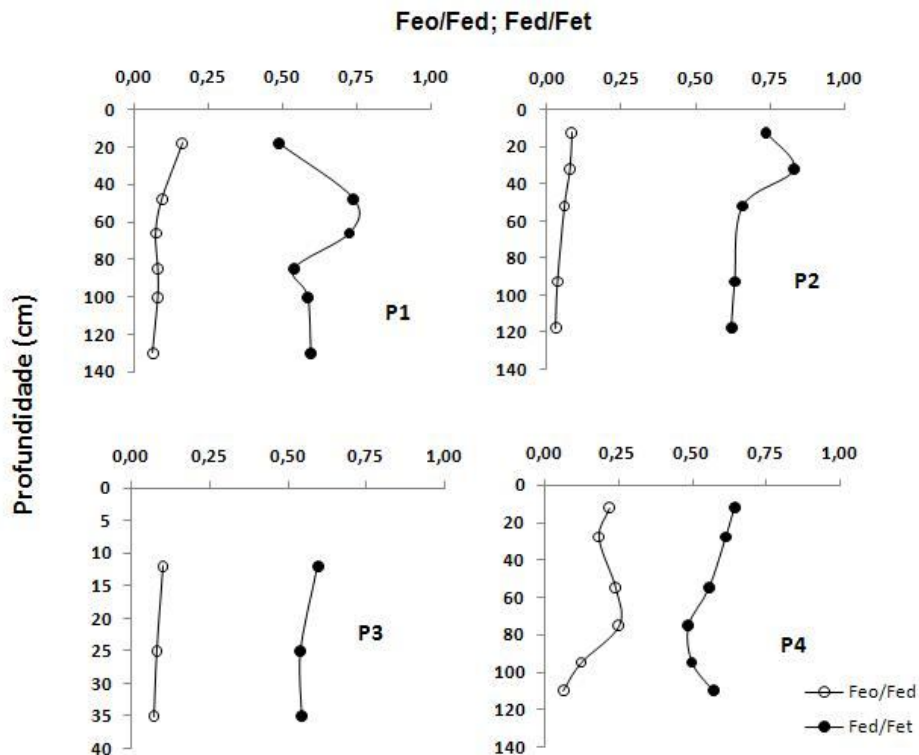
**Tabela 5:** Teores de ferro e relações; Al, Si, Ti, Mn e K na forma de óxidos; Índice Ki ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e Kr ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ )

	H <sub>z</sub> .	Fe <sub>d</sub> .....%.....	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> / Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> / Fe <sub>t</sub>	SiO <sub>2</sub> .....%.....	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> .....%.....	MnO	K <sub>2</sub> O	Ki	Kr
Perfil 1	A1	0,35	0,06	0,72	0,16	0,49	3,43	2,08	0,16	0,0036	0,16	2,8	2,1
	A2	0,57	0,05	0,77	0,09	0,74	4,58	2,30	0,16	0,0027	0,15	3,4	2,5
	A3	0,70	0,05	0,96	0,07	0,73	10,29	3,63	0,22	0,0022	0,22	4,8	3,8
	AB	0,80	0,06	1,47	0,08	0,54	10,13	6,25	0,33	0,0018	0,36	2,8	2,2
	BA	0,96	0,08	1,64	0,08	0,59	10,98	7,83	0,34	0,0018	0,43	2,4	2,0
	Bt	0,99	0,06	1,67	0,06	0,60	11,45	7,96	0,32	0,0013	0,42	2,4	2,0
Perfil 2	A1	0,52	0,04	0,71	0,08	0,74	4,88	2,59	0,15	0,0012	0,13	3,2	2,5
	A2	0,60	0,05	0,72	0,08	0,83	4,98	2,82	0,13	0,0009	0,15	3,0	2,4
	Bt1	1,04	0,06	1,58	0,06	0,66	19,67	8,43	0,29	0,0013	0,40	4,0	3,3
	Bt2	1,32	0,05	2,09	0,04	0,63	17,73	12,57	0,28	0,0009	0,49	2,4	2,0
	C	1,36	0,04	2,20	0,03	0,62	14,62	12,39	0,21	0,0009	0,53	2,0	1,7
Perfil 3	A1	0,58	0,06	0,96	0,10	0,60	9,77	5,30	0,18	0,0011	0,26	3,1	2,6
	A2	0,65	0,05	1,20	0,08	0,54	10,45	6,99	0,23	0,0009	0,33	2,5	2,2
	CR/R	0,67	0,05	1,23	0,07	0,54	11,66	8,33	0,14	0,0004	0,36	2,4	2,1
Perfil 4	A1	0,46	0,10	0,71	0,22	0,64	7,24	2,96	0,19	0,0027	0,18	4,2	3,4
	A2	0,44	0,08	0,72	0,19	0,61	6,11	3,00	0,19	0,0018	0,18	3,5	2,8
	BA	0,54	0,13	1,58	0,24	0,56	8,50	4,89	0,26	0,0013	0,24	3,0	2,5
	Bt1	0,68	0,17	2,09	0,25	0,49	13,66	7,30	0,29	0,0011	0,31	3,2	2,7
	Bt2	0,84	0,11	2,20	0,13	0,50	7,14	9,40	0,33	0,0009	0,37	1,3	1,1
	C	0,90	0,06	1,57	0,07	0,57	11,67	6,64	0,26	0,0004	0,28	3,0	2,4

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



**Figura 10:** Relação entre ferro pedogênico (Fe<sub>d</sub>) e a distribuição granulométrica (a) e a relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> e carbono orgânico (b)



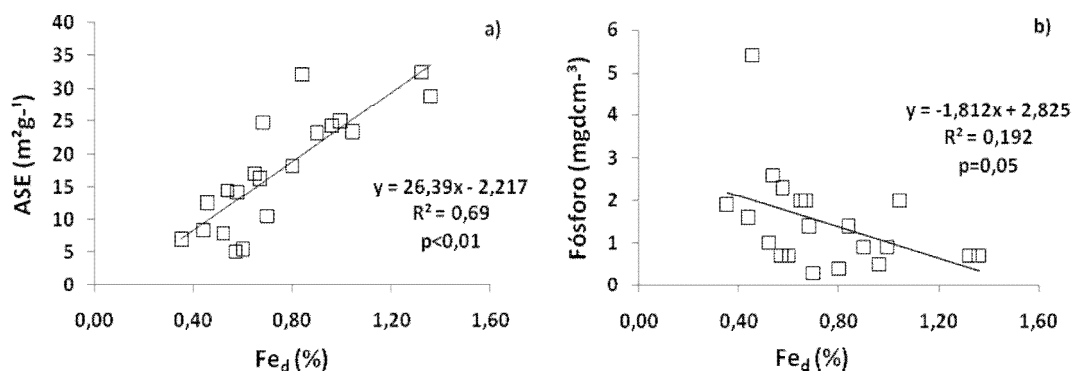
**Figura 11:** Distribuição das relações Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> e Fe<sub>d</sub>/Fe<sub>t</sub> em profundidade nos perfis de solos estudados

Entre os horizontes dos perfis avaliados houve uma diminuição da relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> em profundidade (figura 11) que pode estar associada, também, ao baixo conteúdo de carbono orgânico que limita a atividade microbiana na redução do ferro, contribuindo para a maior preservação de

óxidos cristalinos em segregações. Isto explica, também, a diminuição dos valores desta relação em profundidade.

Verificou-se, neste estudo, que a quantidade de ferro, nas formas pedogênicas, influenciou a ASE, apresentando uma relação significativa positiva ( $R^2= 0,69$ ;  $p < 0,01$ ), como mostra a figura 12a. 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). Também foi verificado que à medida que aumenta o  $Fe_d$  há uma diminuição do fósforo disponível. Percebe-se na figura 12b que mesmo em quantidades pequenas nos perfis de solos avaliados, a relação do fósforo com o ferro pedogênico foi significativa ( $R^2 = 0,19$ ;  $p = 0,01$ ). Nas condições de pH ácido a moderadamente ácido, os óxidos de ferro e alumínio apresentam-se preferencialmente com cargas positivas, sendo assim capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, preferencialmente os íons fosfatos.

A maior densidade, no horizonte B do perfil 2, pode estar relacionada também à presença de ferro na forma de óxidos, 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 principalmente por hematita, cuja densidade é de  $5,26 \text{ g cm}^{-3}$ , e ainda a goethita, com  $4,26 \text{ g cm}^{-3}$  (Schwertmann e Taylor, 1989).



**Figura 12:** Relação entre a Área superficial específica (ASE) (a) e fósforo disponível (b) com ferro pedogênico ( $Fe_d$ )

*Teores de silício, alumínio, titânio, manganês e potássio na forma de óxidos, índices Ki e Kr*

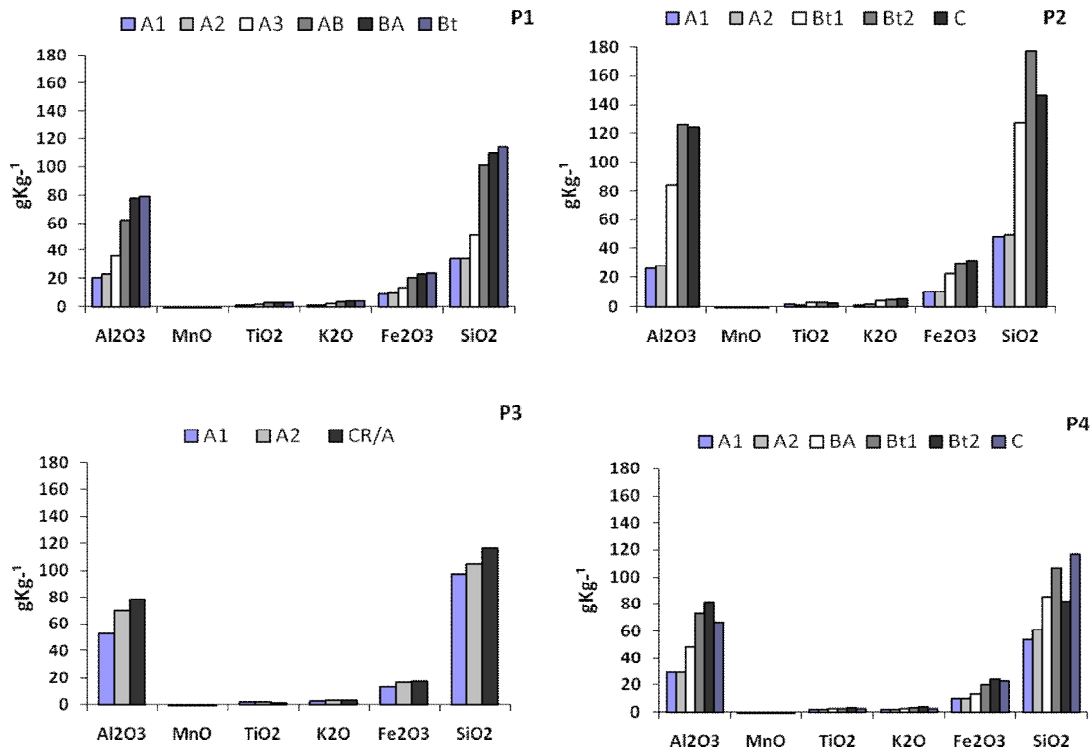
Os teores encontrados de Si, Al, Ti, Mn e K na forma de óxidos são apresentados na tabela 5. As quantidades de silício são altas e aumentam em profundidade em todos os perfis de solos (figura 13). Solos derivados do granito são ricos em quartzo e tendem a apresentar altos valores de silício, sendo que os horizontes menos intemperizados apresentam as maiores concentrações. O fato de o silício ser um elemento móvel que sai do sistema no decorrer desse processo, também pode 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.

O alumínio também apresentou valores expressivos e tende a aumentar em profundidade, assim como a sílica (figura 13), concordando com o material de origem rico em alumínio. Esse aumento em profundidade é um indicativo de processos de eluviação, onde elementos móveis são transportados para horizontes iluviais. 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 (Hasenack, et.al., 2008), é bastante móvel e pode ser facilmente lixiviado do perfil de solo (figura 13).

O índice Ki foi alto, sendo que nos horizontes superficiais foi superior a 2,8, enquanto que nos horizontes subsuperficiais foi maior que 2,2, com exceção do horizonte C do P2 e Bt2 do P3 que apresentaram Ki 2,01 e 1,48 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 abundante 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 (Kehrig, 1949). 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).

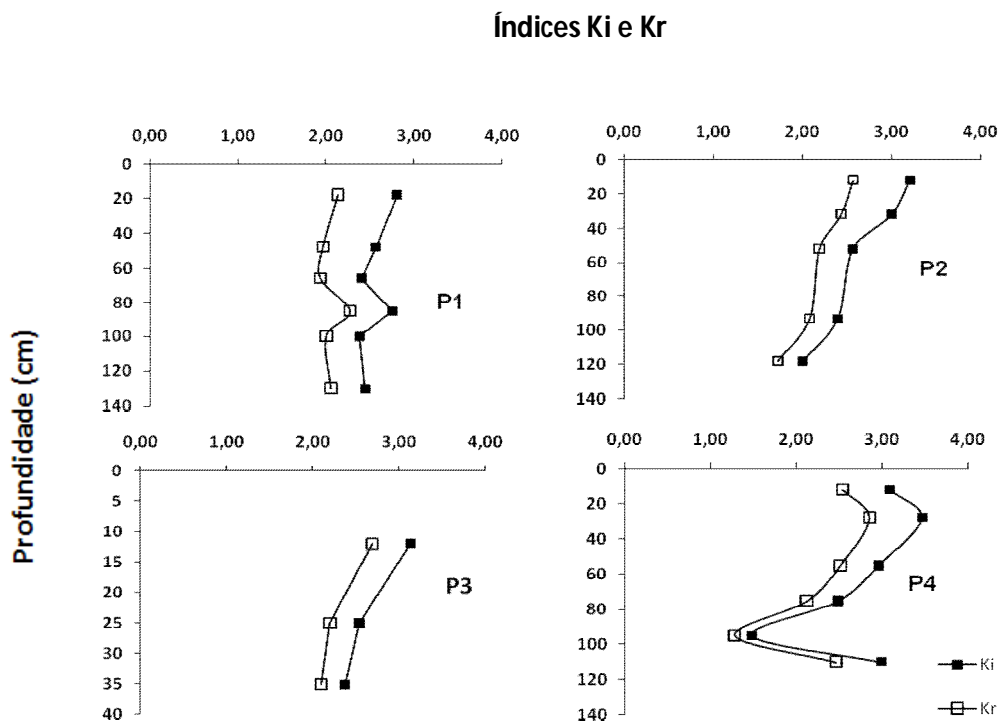


**Figura 13:** Distribuição dos elementos Si, Al, Ti, Mn e K na forma de óxidos no perfil de solo

A distribuição nos perfis de solos, em profundidade, dos índices Ki e Kr é apresentada na figura 15. Há uma tendência à diminuição destes índices em profundidade, sendo que esta diminuição segue até o horizonte Bt e após tende a aumentar. Essa distribuição irregular no perfil de solo, que contraria a seqüência lógica de intemperismo, pode ser atribuída a maior quantidade do valor da sílica cristalina (quartzo) nos horizontes superficiais ou ainda a presença deste elemento em profundidade juntamente com a grande quantidade de alumínio de origem iluvial nos horizontes subsuperficiais Bt, já que o Ki é obtido pela razão entre sílica e alumínio.



Quando observado a CTC dos perfis avaliados (tabela 4) percebe-se valores considerados baixos, o que é incompatível com valores altos de  $K_i$  e  $K_r$  encontrados. Este estudo corrobora com a distribuição do índice  $K_i$  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  $K_i$ , 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  $K_i$  de 8,47 e sugeriu que tais dados apontam inconsistências do método quando se trata de solos com pouca argila.



**Figura 14:** Distribuição do índice  $K_i$  e  $K_r$  em profundidade

#### 5.4. Mineralogia

O difratograma de Raio X da rocha em pó é apresentado na figura 15. 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 mostra-se mal definido. Embora sejam

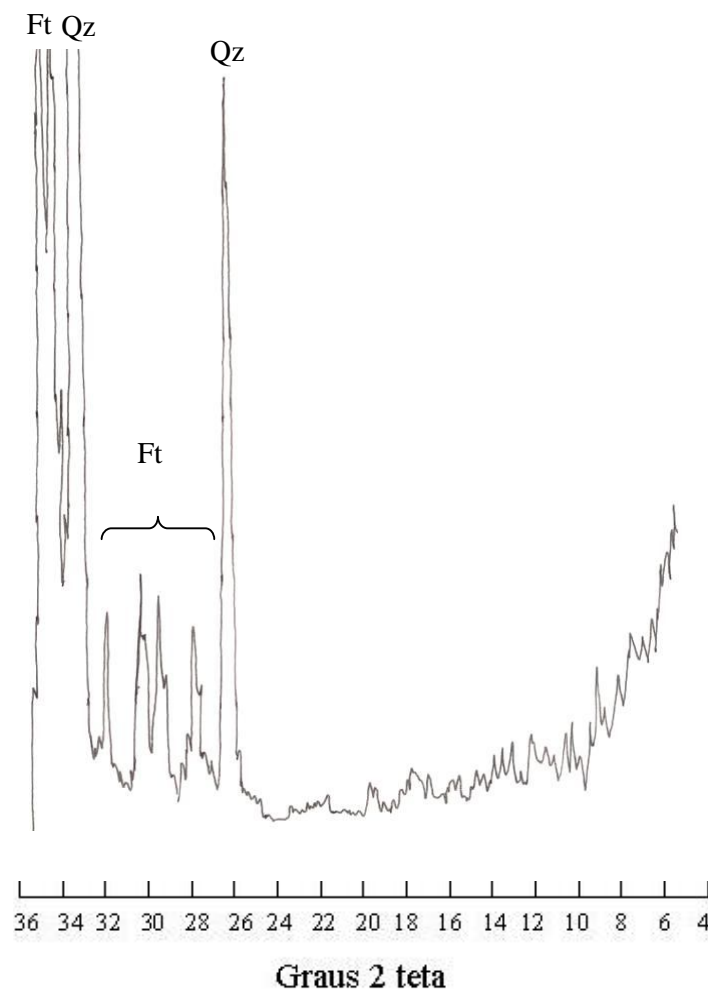
componentes freqüentes de rochas graníticas, Bastos (1991) em seus estudos em perfis de solos derivados do Granito Ponta Grossa, encontrou dominância de feldspatos e quartzo na análise da rocha em pó, sendo encontrada participação de apenas 3% de mica biotita. O granito Ponta Grossa é muito semelhante 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 16, 17, 18 e 19. Percebe-se pela intensidade das reflexões que em todos os perfis de solos há uma predominância 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. 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.

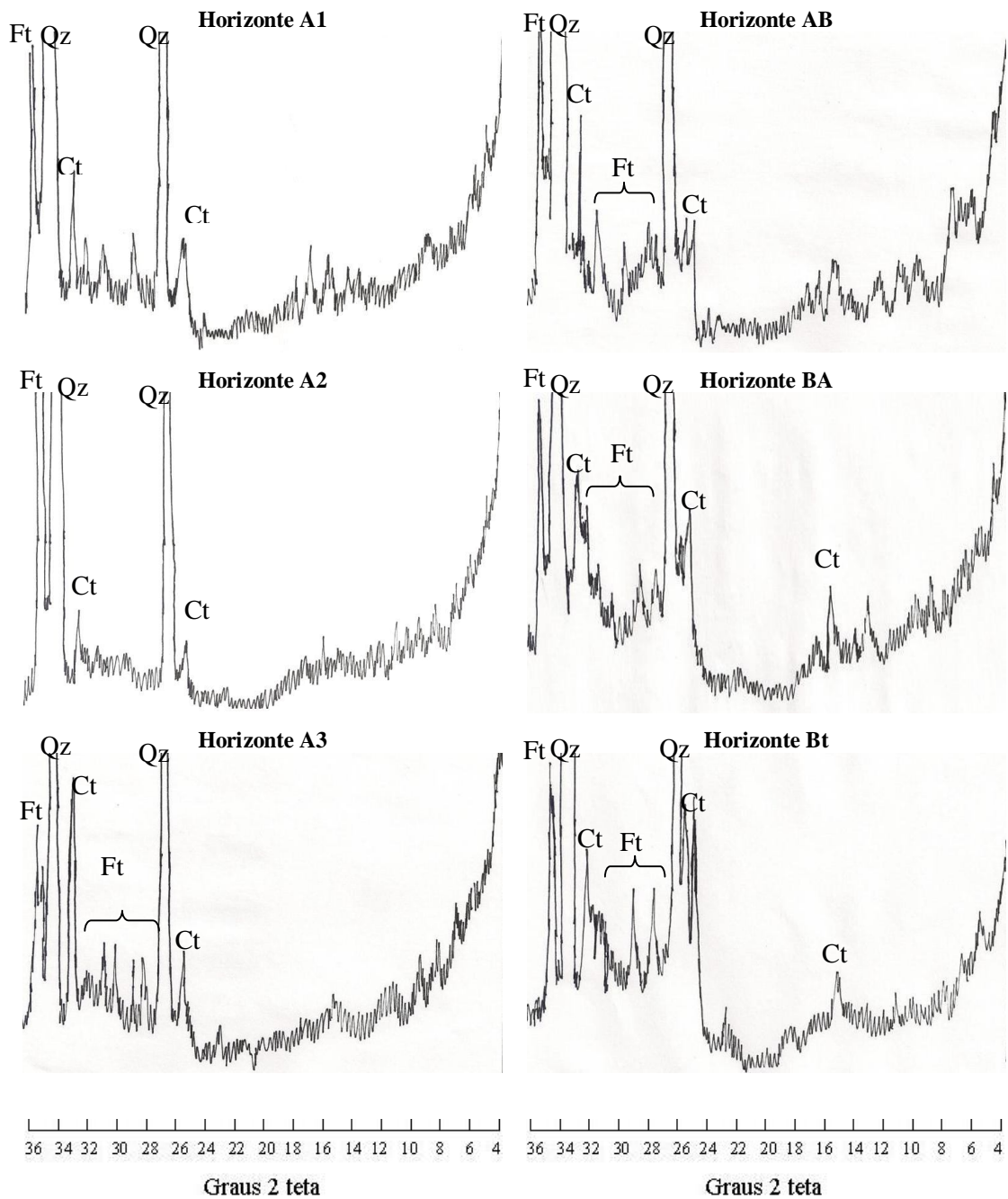
Os reflexos de feldspatos não aparecem tão expressivamente nos perfis de solos, como na rocha original, pois estes minerais apresentam menor resistência ao intemperismo, comparativamente ao quartzo, devido a substituição isomórfica que ocorre na sua estrutura. Percebe-se isso, verificando sua distribuição nestes perfis, que diminui à medida que se aproxima dos horizontes mais superficiais, que são os mais expostos as intempéries. O perfil 2, que apresentou as maiores concentrações de argila nos horizontes iluviais, também apresentou os menores reflexos de feldspatos, expressando 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.

A DRX dos perfis estudados indica que com o aumento da profundidade, aparecem os reflexos de caulinita, que são raros nos horizontes superficiais e bem mais expressivos nos horizontes subsuperficiais. A caulinita é um mineral secundário 1:1, resultante do intemperismo de minerais primários, neste caso feldspato, em condições ácidas. Seu aumento em profundidade e diminuição nos horizontes mais intemperizados (A1e A2) deve-se ao fato de

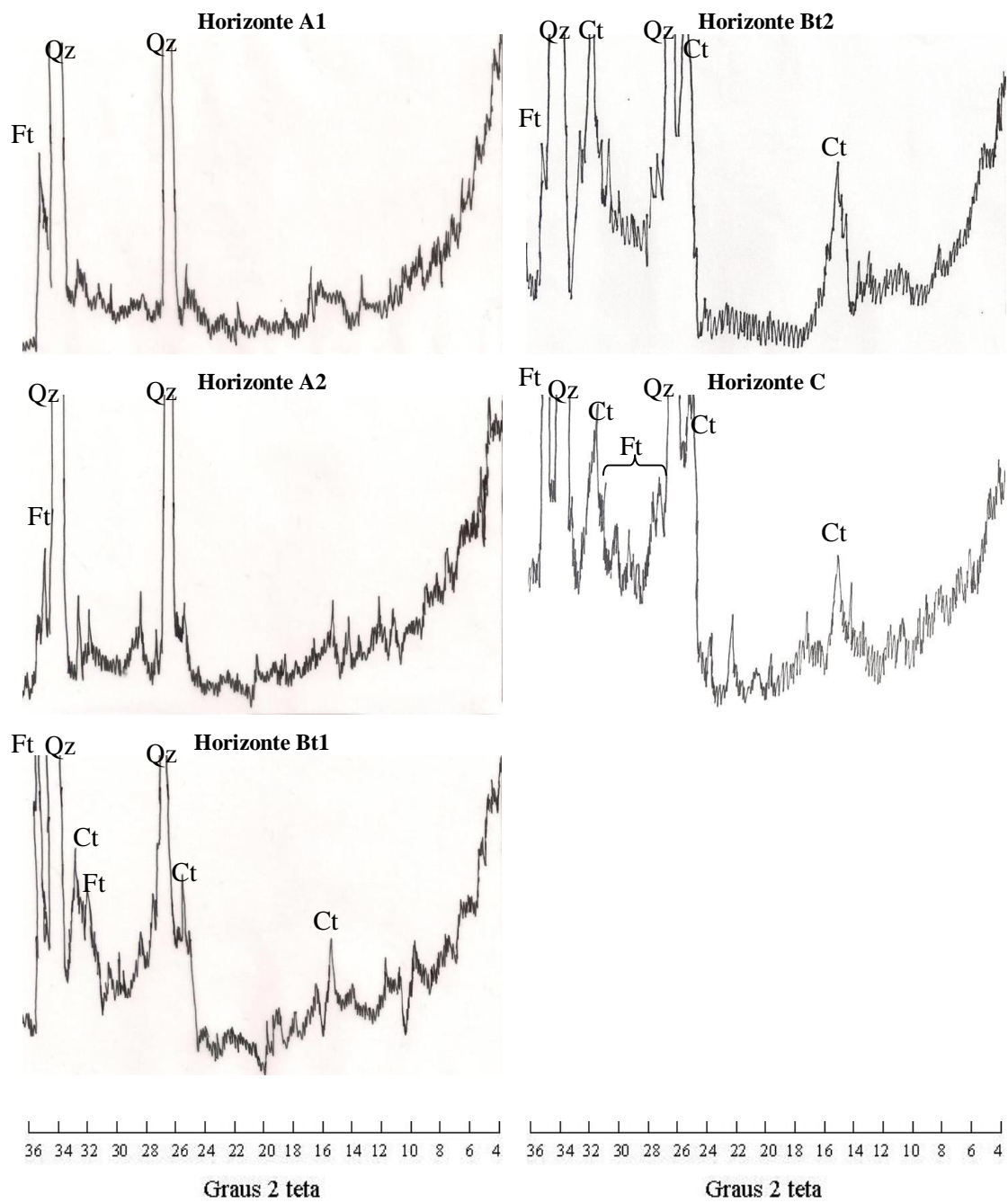
esses minerais apresentarem-se na fração argila do solo, e provavelmente, terem sido transportados pelo processo de iluviação, sendo sugerida a atuação do processo pedogenético de Lessivagem pela diminuição dos picos de caulinita nos horizontes C de cada perfil e evidenciando seu caráter pedogenético. Nota-se também, que no perfil de solo que não apresenta horizonte B pedogenético (figura 19), a caulinita apresenta distribuição homogênea no perfil de solo.



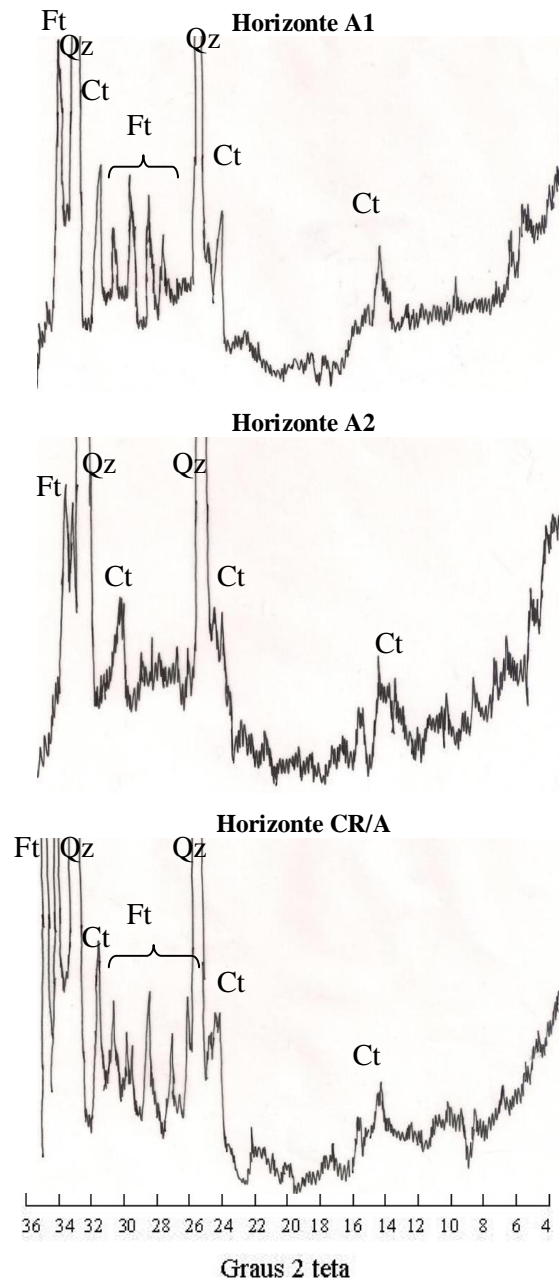
**Figura 15:** Difratograma de raios X da rocha sã. Qz– quartzo, Ft- feldspato.



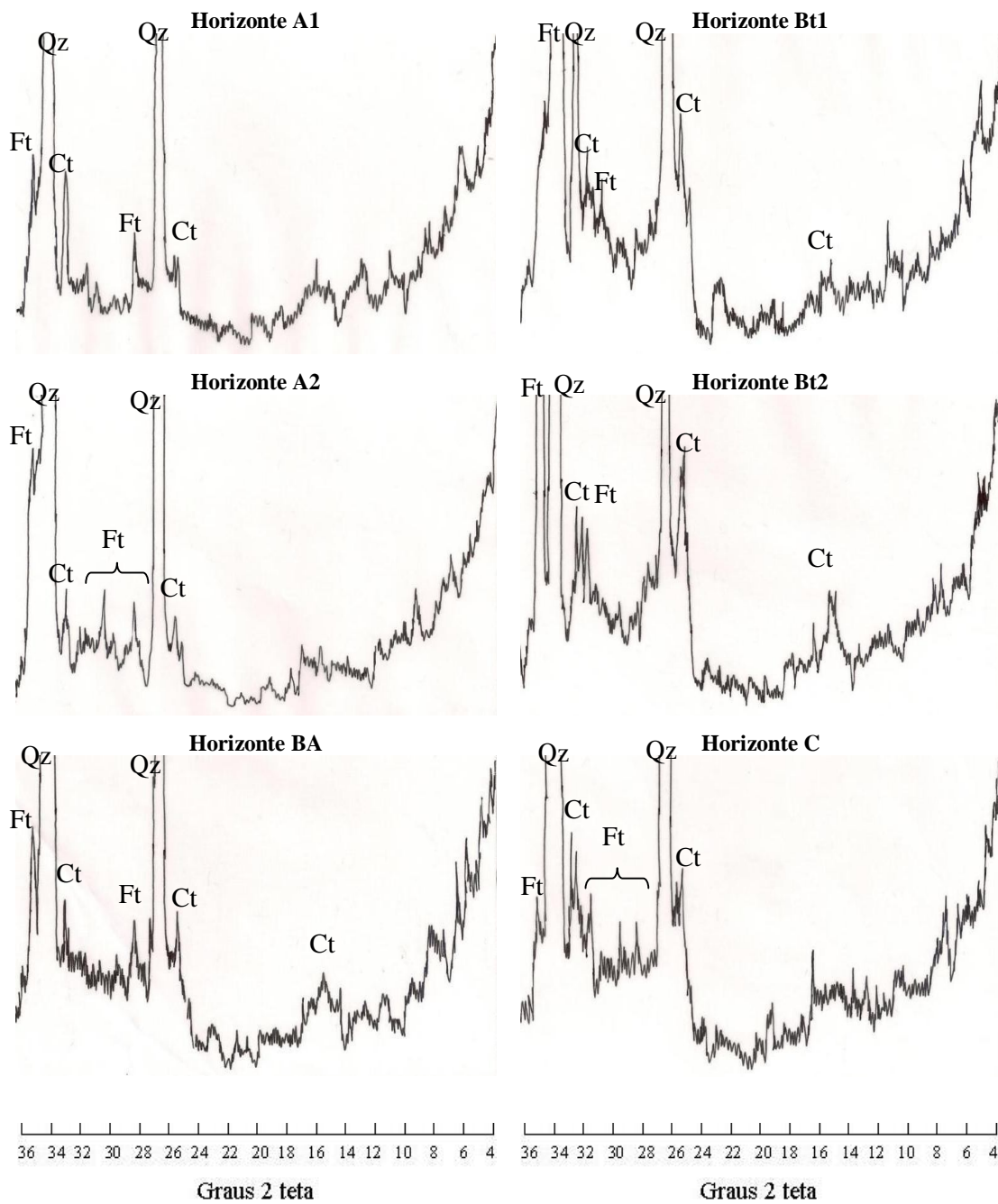
**Figura 16:** Difractogramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P1. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft– feldspato.



**Figura 17:** Difratoigramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P2. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.



**Figura 18:** Difratoqramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P3. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.



**Figura 19:** Difratoqramas de raios X da fração terra fina seca ao ar dos horizontes pedogenéticos do perfil P4. Ct– caulinita, Qz– quartzo, Ft- feldspato.

## 6. CONCLUSÕES

As avaliações da morfologia, atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo mostraram a ocorrência do processo pedogenético de Lessivagem em grau expressivo;

Os perfis de solos enquadraram-se no Sistema Brasileiro de Classificação dos solos nas seguintes classes:

- Perfil 1 (topo aplainado do morro): Argissolo Amarelo Distrófico típico.
- Perfil 2 (terço superior da topossequência): Argissolo Amarelo Distrófico abrupto
- Perfil 3 (terço inferior da topossequência): Neossolo Litólico Distrófico típico
- Perfil 4 (base da topossequência): Argissolo Amarelo Alítico típico

Os perfis de solos enquadraram-se no “Sistema Americano” de classificação de solos (Keys of Soil Taxonomy ) nas seguintes classes:

- Perfil 1 (A umbric e B argilic) Arenic Hapludalfs
- Perfil 2 (A ochric e B argilic) Typic Hapludalfs
- Perfil 3 (A ochric) Lithic Ustorthents
- Perfil 4 (A ochric e B argilic) Typic Hapludalfs



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L.R.F. e CAMARGO, O.A. de. 1994. Atributos físicos de latossolos ácricos do norte paulista. **Sci.agr.**, Piracicaba, maio/ago.

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

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

BASTOS, C.A.B. 1991. **Mapeamento de caracterização geomecânica das unidades geotécnicas de solos oriundos de granitos, gnasses e migmatitos de Porto Alegre.** Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Porto Alegre.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETTO, F. 1990. Erosão. In: **Conservação do Solo.** Ícone Editora, São Paulo (SP). p. 86-90.

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

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. 1973. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado Rio Grande do Sul.** Recife 431p. (Boletim técnico, 30).

BREEMEN, N. van e BUURMAN, P. 1998. **Soil formation.** Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 376p.

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

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

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

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

EMBRAPA 1997. **Manual de métodos de análise de solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa. 221p.

EMBRAPA 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo.** 2 ed., Brasília: Embrapa. 306p.

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

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

FRAGOSO CESAR, A. R. S, et al. 1986. O Batólito Pelotas (proterozóico superior/paleozóico) no escudo do Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Geologia** , 34, Goiania. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia v.3 1322 – 1343.

FUJIMOTO, N. S. V. M. ; Dias, T. S. 2009. **Compartimentos de relevo do município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul - Brasil.** In: 12º Encontro de Geógrafos da América Latina, 2009. 12º Encontro de Geógrafos da América Latina. Montevideo.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. 1994. 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.

GOOGLE, 2007. **Google Earth Professional.** Versão 4.2.0180.1134 (beta). Acesso em dezembro de 2009.

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, p.167-185, 1972b.

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

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

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

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

LEINS, V.; AMARAL, S.E. 1998. **Geologia geral**. 13ª edição, São Paulo. Companhia Editora Nacional, 399p.

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

LIMA, J.M.J.C.L.1995. **Alterações das propriedades dos solos cultivados com cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 164p.

MARQUES, J.D.O.; et al 2008. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v38, n8, p 193.

MEHRA, O.P. e JACKSON, M.L.1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Proc. Clays Clay Miner. Conf., 7:317- 327.

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

MELO,V.F. 2006. 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**, V:30, n.6.

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

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

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

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

SANTOS, R. D. LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C. & ANJOS, L. H. C. 2005. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos – EMBRAPA. Rio de Janeiro (RJ). 92 p.

SCHWERTMANN, U. 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch extraction mit Ammoniumoxalat-lösung. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk., 105:194-202.

SCHWERTMANN, U. e KÄMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:251-255, 1983.

SCHERTMANN, U. e TAYLOR, R. M. 1989. Iron oxides. p. 379- 438. In J. B. Dixon & S. B. Weed. (Ed.). **Minerals in soil environments**. SSSA Book Sr. 1. SSSA, Madison, WI. 1244 p.

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

SOARES, J.L.N. e ESPINDOLA, C.R. 2001. Atributos físicos de um Argissolo sob mata nativa em Bariri, SP. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 28., Resumos. Londrina. Resumos. Londrina, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo. p.18.

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

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. 116 p.2008

TEDESCO, M.J., et al, 2005. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p. Boletim Técnico, 5.

## 8. APÊNDICES

### Apêndice 1: Descrição morfológica do perfil 1:

PERFIL: nº 1 – Topo da topossequência

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: 0495564 – 6660119 UTM

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

ALTITUDE: 189 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano a Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Morros

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: vassouras, caraguatá; eucaliptos.

USO ATUAL: campo sujo

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; blocos subangulares, moderados, médios/grandes, granular, fraca, pequena; muito friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A2 18-48 cm; 7,5YR 3/2 (úmida); franca arenosa; blocos subangulares, moderados, médios, granular, fraca, pequena; muito friável; não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana

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

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

BA -85-100 cm; 7,5YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; blocos subangulares, fraco/moderados, médios, laminar, moderada, grande,; 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

### **Apêndice 2:** Descrição morfológica do perfil 2:

PERFIL: nº 2 – Encosta superior da topossequência

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrófico abruptico

LOCALIZAÇÃO: 0495519 -6660156 UTM

DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Declividade de 20%, sob campo sujo 30 anos.

ALTITUDE: 184 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado a forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Morros

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: vassouras, caraguatá; pinus novos

USO ATUAL: campo sujo

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; granular, fraca, pequena, blocos subangulares, moderados, médios; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

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

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

Bt2 52/62-93/98 cm; 10YR 3/4 (úmida); argilosa; blocos subangulares, moderados, médios, laminar, moderada, grande; 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; laminar, moderada, muito grande, partes maciças; friável, não plástico e não pegajoso.

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

### **Apêndice 3:** Descrição morfológica do perfil 3:

PERFIL: nº 3 – Encosta inferior da topossequência

CLASSIFICAÇÃO: Neossolo Litólico Distrófico típico

LOCALIZAÇÃO: 0495533 – 6659958 UTM

DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: Declividade de 15 -20%, sob campo sujo 30 anos.

ALTITUDE: 176 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado a forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Morros

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: vassouras, caraguatá, pinus novos.

USO ATUAL: campo sujo

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; granular, fraca, pequena/média; friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana.

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

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

R 35/42 – 50+



RAÍZES: Comuns no A1, A2; raras no C.

#### **Apêndice 4:** Descrição morfológica do perfil 4:

PERFIL: nº 1 –Base da topossequência

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Alítico típico

LOCALIZAÇÃO: 0495497 – 6659912 UTM

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

ALTITUDE: 174 m

LITOLOGIA: Rochas ígneas intrusivas

MATERIAL ORIGINÁRIO: Granito

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Morros

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: mato 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; blocos subangulares, moderados, médios/grandes, granular, fraca, pequena; muito friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

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

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

Bt1 55/58-75/77 cm; 10YR 3/3 (úmida); franco argilo arenosa; blocos subangulares, fraco/moderados, médios, laminar, moderada, grande; 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; blocos subangulares, moderados, médios, laminar, moderada, grande,; 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.

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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