

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

**GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES NA  
DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Catiline Schmitt  
(Tese)**

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

**GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES NA  
DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Catiline Schmitt  
Engenheira Agrônoma (UDESC)  
Msc. Manejo do Solo (UDESC)

Tese apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil  
Fevereiro de 2015

#### CIP - Catalogação na Publicação

Schmitt, Catiline  
GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS  
SEDIMENTARES NA DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO  
SUL / Catiline Schmitt. -- 2015.  
156 f.

Orientador: Alberto Vasconcellos Inda Junior.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,  
2015.

1. Solo. 2. Lessivagem. 3. Descontinuidade  
Litológica. 4. Mineralogia. 5. Depressão Central. I.  
Vasconcellos Inda Junior, Alberto , orient. II.  
Titulo.

CATILINE SCHMITT

GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES NA  
DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

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

Aprovada em 27 de fevereiro de 2015  
Homologada em 05 de maio de 2015

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Paulo César do Nascimento  
UFRGS

Prof. Norberto Dani  
UFRGS

Prof. Jaime Antonio de Almeida  
UDESC

Orientador - Prof. Alberto Vasconcellos Inda Junior  
UFRGS

*Ao meu namorado  
Eduardo, e aos meus  
irmãos Amauri e Jaqueline  
que mesmo à distância  
foram incentivadores das  
minhas escolhas.  
Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Agronomia, ao PPG Ciência do Solo e ao Departamento de Solos da UFRGS pela oportunidade da realização deste curso e pela estrutura e ensino de qualidade oferecida;

Ao Cnpq pelo incentivo com a concessão da bolsa de doutorado;

Ao Professor Alberto Vasconcellos Inda pela confiança, orientação, paciência, atenção e principalmente pela transferência do conhecimento;

Aos professores Paulo César do Nascimento e Edgardo Ramos Medeiros e aos colegas Jessica e Luis Fernando pela colaboração a campo;

Ao professor Jaime pela iniciativa e contribuições desde o início deste estudo;

Aos professores, membros da banca, Paulo César do Nascimento Jaime Antonio de Almeida e Norberto Dani pela participação e colaboração;

Ao Adão pela amizade e por auxílio prestado;

Às amigas Jéssica, Estefânia e Paula pelo companheirismo, conversa e ajuda em todas as horas. Aos demais colegas e amigos do PPG Ciência do Solo pela convivência, amizade, troca de conhecimentos.

Aos bolsistas de iniciação científica Israel e Mateus pela dedicação.

Ao meu namorado Eduardo pela paciência, compreensão e por todos estes anos de companheirismo.

Aos meus irmãos Amauri e Jaqueline pelo incentivo constante.

Aos meus pais Vilma e Valderes, que suportam a distância e não deixam de acreditar nas escolhas por mim tomadas.

# GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES NA DEPRESSÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL<sup>1</sup>

Autora: Catiline Schmitt

Orientador: Prof. Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior

## RESUMO

A região da Depressão Central do Rio Grande do Sul é composta predominantemente por solos desenvolvidos de rochas sedimentares apresentando grande variabilidade nas características morfológicas químicas e mineralógicas ainda não bem esclarecidas. A heterogeneidade das rochas sedimentares presentes na região e a porção que esses solos ocupam nas paisagens são responsáveis pelas diferenças apresentadas pelos solos. O conhecimento da distribuição desses solos na região pode contribuir para a escolha do manejo e uso com vistas à sustentabilidade dos sistemas agrícolas e ambientais. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar do ponto de vista morfológico, químico, físico e mineralógico sete perfis de solos desenvolvidos em distintas porções da paisagem e originados de rochas sedimentares na região a sudoeste do município de Santa Maria, RS. Os resultados identificaram perfis profundos, diferenciados principalmente em função da cor e estrutura. A presença de horizontes com acúmulo de argila em subsuperfície foi verificada em todos os perfis. A composição química do complexo sortivo mostrou grande diversidade entre os solos avaliados sendo observados solos distróficos, alíticos, alumínicos e eutróficos, geralmente com altos teores de alumínio na forma trocável. As análises elementares, (ataque sulfúrico) e as dissoluções seletivas (DCB e oxalato de amônio) caracterizaram os perfis de solos 12 RS, 16 RS e 17 RS RS como menos intemperizados. Os perfis 12 RS e 16 RS também apresentaram mineralogia 2:1 corroborando com um estágio de intemperismo menos avançado, enquanto os demais apresentaram mineralogia predominantemente caulínica. A lessivagem não foi confirmada em todos os perfis. Índícios de descontinuidade litológica ao longo do perfil foram observados apenas no perfil 50 RS. É possível que outros processos estejam envolvidos na formação dos gradientes texturais observados. Do ponto de vista morfológico, as características do solo são mais influenciadas pela posição em que o solo se desenvolve na paisagem, enquanto que, do ponto de vista químico as variáveis são melhor correlacionáveis ao material formador de cada solo.

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (156 p.) Fevereiro, 2015. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

# GENESIS OF SOILS DEVELOPED FROM SEDIMENTARY ROCKS IN DEPRESSÃO CENTRAL, RIO GRANDE DO SUL STATE<sup>2</sup>

Author: Catiline Schmitt

Adviser: Prof. Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior

## ABSTRACT

The Depressão Central region in Rio Grande do Sul state, is predominantly composed of soils developed of sedimentary rocks showing a great variability in the chemical and mineralogical morphological features not well understood yet. The heterogeneity of sedimentary rocks in the region and the portion that these soils occupy the landscapes are responsible for the differences presented by the soil. The knowledge of the distribution of these soils in the region can contribute to the choice of the management and use for sustainability of agricultural and environmental systems. Thus, the objective of this study was to evaluate, the point of view morphological, chemical, physical and mineralogical seven soil profiles developed on different portions of the landscape and originated from sedimentary rocks in the area southwest of the city of Santa Maria, RS. The results showed deep profiles, mainly differentiated by color and structure. The presence of dense subsurface horizons was verified in all profiles. The chemical composition of exchangeable cations showed great diversity among soils, being observed dystrophic, alitics, aluminics and eutrophic soils, usually with high aluminum content in exchangeable form. Elemental analyzes, (sulfuric acid attack) and the selective dissolution (DCB and ammonium oxalate) characterized the soil profiles RS 12, RS 16 and RS 17 RS as less weathered. The RS 12 and RS 16 profiles also showed mineralogy 2: 1 corroborating a less advanced weathering stage, while the others were mostly kaolinitic mineralogy. The lessivagem was not confirmed in all profiles. Evidence lithological discontinuity along the profile were observed only in the profile 50 RS. It is possible that other processes are involved in the formation of the observed textural gradients. From the morphological point of view, the soil characteristics are more influenced by the position in which the soil is developed in the landscape, while the chemical point of view the best variables are correlated to each soil-forming material.

---

<sup>2</sup> Phd. Thesis in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (156 p.) February, 2015. Research work supported by CNPq.



## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 Contexto geológico .....	5
2.2 Contexto geomorfológico .....	11
2.3 Contexto pedológico .....	13
2.4 Propriedades específicas e processos pedogenéticos .....	16
2.5 Contexto mineralógico .....	22
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 Caracterização do meio físico e amostragem dos solos.....	26
3.2 Localização dos perfis, descrição morfológica e coleta de amostras .....	27
3.3 Análises laboratoriais.....	31
3.3.1 Análises físicas .....	31
3.3.1.1 Granulometria .....	31
3.3.1.2 Sedimentologia da fração areia e Valor de Uniformidade .....	32
3.3.1.3 Área superficial específica .....	33
3.3.2 Análises químicas .....	33
3.3.2.1 Química do complexo sortivo .....	33
3.3.2.2 Ataque sulfúrico .....	34
3.3.2.3 Análise elementar por Fluorescência de raios x .....	35
3.3.2.4 Dissoluções seletivas dos óxidos de ferro pedogênicos .....	36
3.3.3 Análises mineralógicas .....	36
3.4 Classificação taxonômica dos solos .....	37
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
4.1 Caracterização do material de origem dos solos .....	38
4.2 Caracterização morfológica e química do complexo sortivo e composição granulométrica dos solos.....	43
4.2.1 Perfil 11 RS.....	43
4.2.2 Perfil 12 RS.....	50
4.2.3 Perfil 13 RS.....	53
4.2.4 Perfil 51 RS.....	56
4.2.5 Perfil 16 RS.....	59
4.2.6 Perfil 17 RS.....	61
4.2.7 Perfil 50 RS.....	63
4.2.8 Considerações gerais referentes à morfologia, química e granulometria de perfis desenvolvidos de material sedimentar.....	66

4.3 Índices de intemperismo (Ataque sulfúrico, extrações seletivas e relação silte:argila) .....	67
4.4 Fluorescência de Raios-x .....	75
4.5 Mineralogia da fração argila desferrificada .....	79
4.5.1 Perfil 11 RS.....	80
4.5.2 Perfil 12 RS.....	81
4.5.3 Perfis 13 RS e 51 RS.....	83
4.5.4 Perfil 16 RS.....	86
4.5.5 Perfil 17 RS.....	88
4.5.6 Perfil 50 RS.....	90
4.5 Relação argila fina: argila total (af:at) .....	92
4.6 Área superficial específica (ASE) .....	95
4.7 Indicadores de descontinuidade litológica .....	98
4.7.1 Sedimentologia da fração areia .....	99
4.7.2 Parâmetros sedimentológicos/estatísticos.....	104
4.7.3 Relação areia fina/areia total (arf/art) e Valor de uniformidade (VU) .....	107
4.7.4 Difractometria de raios-x da fração areia.....	109
4.8 Segregações.....	113
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>122</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabela 1</b> Descrição dos materiais observados na base dos perfis de solo coletados.....	39
<b>Tabela 2</b> Teores totais dos elementos maiores dos materiais observados na base dos perfis de solo, obtidos pela técnica de Fluorescência de raios-X.....	42
<b>Tabela 3</b> Características morfológicas descritas nos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria RS.....	45
<b>Tabela 4</b> Caracterização granulométrica e grau de floculação, dos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria RS.....	47
<b>Tabela 5</b> pH em água e pH em sal, teores de carbono e caracterização do complexo sortivo dos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria RS.....	48
<b>Tabela 6</b> Teores dos elementos na forma de óxidos obtidos por ataque sulfúrico (s), dissoluções seletivas (d = DCB e o = oxalato de amônio) e relações Fed/Fes, Feo/Fed e Ald/Fed dos solos provenientes de rochas sedimentares na região de Santa Maria, RS.....	69
<b>Tabela 7</b> Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis argila total, ferro total (Fes), ferro e alumínio extraídos por DCB (Fed e Ald), índice ki, CTC pH 7,0, e relação Fed/Fes.....	71
<b>Tabela 8</b> Composição química total dos elementos maiores (em % de óxidos) obtidos por Fluorescência de Raios-X na fração TFSA dos horizontes dos perfis de solo provenientes de rochas sedimentares na região de Santa Maria, RS.....	77
<b>Tabela 9</b> Valores de diâmetro médio ( $\phi$ - Phi), grau de seleção (Phi), assimetria e curtose relativos à análise sedimentológica da fração areia dos horizontes diagnósticos dos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria – RS, utilizando os	

parâmetros estatísticos propostos por Folk e Ward (1957).....	106
<b>Tabela 10</b> Valores de relação areia fina/areia total (Arf/art) e Valor de Uniformidade (VU) para os perfis de solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região de Santa Maria. ....	108
<b>Tabela 11</b> Teores dos elementos obtidos por ataque sulfúrico (s), dissoluções seletivas (d = DCB e o = oxalato de amônio) e relações Fed/Fes e Feo/Fed nas segregações (S) e na matriz do solo (M) de alguns horizontes de perfis de solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região de Santa Maria.....	114

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, 1:750.000 para a região da Depressão Central. No transecto (RS 158) são observadas as Formações geológicas da região do estudo (CPRM, 2006). T23sm: Formação Santa Maria; T1sc: Formação Sanga do Cabral; P3T1p: Formação Pirambóia .....	7
<b>Figura 2:</b> Imagens de afloramentos da Formação Santa Maria observadas na área de estudo. Na imagem mais próxima é possível observar a estratificação das camadas.....	8
<b>Figura 3:</b> Imagens de afloramentos da Formação Sanga do Cabral observados na área de estudo. Nas imagens à direita é detalhada a presença de glóbulos - esferas de arenito cimentadas por carbonatos - comuns na Formação Sanga do Cabral. ....	9
<b>Figura 4:</b> Imagens de afloramentos da Formação Pirambóia observadas na área de estudo. Na imagem inferior à esquerda detalhe da estratificação das camadas.....	10
<b>Figura 5:</b> Mapa de solos do estado do Rio Grande do Sul em escala 1:750.000 para a área de abrangência do estudo (Emater/RS-ASCAR, 2007). PVd <sub>2</sub> : Argissolo Vermelho Distrófico; APT <sub>2</sub> : Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico; SXe <sub>1</sub> : Planossolo Háplico Eutrófico; MT <sub>01</sub> : Chernossolo Argilúvico Órtico; TPO <sub>2</sub> : Luvissolo Háplico Órtico. ....	15
<b>Figura 6:</b> Localização geográfica da área de abrangência do estudo e respectivas coberturas litológicas da região (CPRM, 2005). Fonte: Google earth, acesso em 10 de outubro de 2014. ....	26
<b>Figura 7:</b> Imagem da área de estudo com a localização dos perfis 11 RS, 12 RS e 13 RS e perfil de elevação do terreno entre os perfis de solos. No detalhe são apresentados os perfis de elevação dos perfis de solo 13 RS, 12 RS e 11 RS evidenciando as variações no relevo em nível detalhado (200m). Fonte: Google earth, acesso em 09 de outubro de 2014.....	28
<b>Figura 8:</b> Imagem da área de estudo com a localização dos perfis 51 RS, 16	

RS, 17 RS e 50 RS e perfil de elevação do terreno entre os perfis de solos. No detalhe são apresentados os perfis de elevação dos perfis de solo 50 RS, 16 RS, 17 RS e 50 RS evidenciando as variações no relevo em nível detalhado (200m). Fonte: Google earth, acesso em 09 de outubro de 2014. ....	30
<b>Figura 9:</b> Difratomogramas da fração TFSA dos materiais (rochas) coletados na base dos perfis de solo avaliados analisados na forma de pó. 2:1 – argilominerais 2:1; Mc – micas; Kt – caulinita; Qz – quartzo; Fd – feldspato. ....	41
<b>Figura 10:</b> Perfil de solo, rocha alterada coletada <i>in situ</i> , e vista geral da localização do perfil 11RS. ....	44
<b>Figura 11:</b> Perfil de solo, rocha alterada coletada <i>in situ</i> , e vista geral da localização do perfil 12RS. ....	50
<b>Figura 12:</b> Perfil de solo, rocha alterada coletada <i>in situ</i> e vista geral da localização do perfil 13RS. ....	54
<b>Figura 13:</b> Perfil de solo, rocha coletada nas adjacências do perfil, e vista geral da localização do perfil 51RS. ....	57
<b>Figura 14:</b> Perfil de solo, diferentes fases do conglomerado que compõe o substrato do perfil de solo, e vista geral da localização do perfil 16 RS. ....	60
<b>Figura 15:</b> Perfil de solo, rocha alterada coletada <i>in situ</i> , e vista geral da localização do perfil 17 RS. ....	62
<b>Figura 16:</b> Perfil de solo, rocha alterada coletada <i>in situ</i> , e vista geral da localização do perfil 50 RS. ....	64
<b>Figura 17:</b> Difratomogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A, B1 e C do perfil 11 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....	81
<b>Figura 18:</b> Difratomogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt e BC do perfil 12 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....	83
<b>Figura 19:</b> Difratomogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt1 e C do perfil 13 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25);	

- amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....84
- Figura 20:** Difratogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt1, Bt3 e BC do perfil 51 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.....85
- Figura 21:** Difratogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt e C do perfil 16 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....87
- Figura 22:** Difratogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Btg e C do perfil 17 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....89
- Figura 23:** Difratogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Btf e C do perfil 50 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....91
- Figura 24:** Relação argila fina:argila total (af:at) ao longo de perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria .....93
- Figura 25:** Área superficial específica ( $m^2g^{-1}$ ) do solo nos perfis desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria-RS.....97
- Figura 26:** Relação entre as variáveis Área Superficial Específica e teor de argila do solo para todos os horizontes de todos os perfis de solo estudados (a), e sem os “out liers” (b). ....98
- Figura 27:** Histogramas de distribuição granulométrica da fração areia dos perfis de solo investigados..... 102
- Figura 28:** Teores (g) das classes de tamanho de partículas acumulados para todos os horizontes dos perfis de solo investigados. .... 103

- Figura 29:** Difratoograma da fração areia dos horizontes dos perfis 11 RS, 12 RS, 13 RS e 51 RS analisada na forma de pó..... 110
- Figura 30:** difratoograma da fração areia dos horizontes dos perfis 16 RS, 17 RS, e 50 RS analisada na forma de pó..... 111
- Figura 31:** Teste de separação e identificação de plintitas através de ciclos sequenciais de umedecimento e secagem em casa de vegetação. Na primeira linha, as amostras coletadas a campo no primeiro ciclo de umedecimento; na linha intermediária as amostras úmidas após o 5º ciclo de umedecimento; e na última linha as amostras secas após os 5 ciclos de umedecimento e secagem. .... 118
- Figura 32:** Difratoogramas das amostras de segregações e matriz das amostras dos perfis 11 RS e 12 RS analisadas na forma de pó..... 119
- Figura 33:** Difratoogramas das amostras de segregações e matriz das amostras dos perfis 13 RS, 17 RS e 50 RS analisadas na forma de pó..... 120



## 1. INTRODUÇÃO

Na região fisiográfica denominada Depressão Central no estado do Rio Grande do Sul predominam rochas sedimentares diversificadas, em relevos de coxilhas que variam de suave ondulado a ondulado. Conforme os levantamentos de solos do estado do Rio Grande do Sul (Brasil, 1973, IBGE, 1986), as classes de solos predominantes na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul são os Argissolos, Planossolos, Luvisolos e Chernossolos, sendo ainda descritos Plintossolos e Gleissolos como classes de solos identificadas em algumas topossequências (Menegat, 1998). As unidades de mapeamento que dominam a região são a Unidade São Pedro (Argissolo Vermelho), predominantes nas posições de topo, e a Unidade Santa Maria (Argissolo Bruno Acinzentado), concentrando-se nas posições de encosta e pedimento. Os solos dessas unidades de mapeamento se caracterizam por serem profundos a medianamente profundos, com textura superficial arenosa e subsuperficial argilosa, apresentando saturação por bases baixa nos horizontes superficiais, a qual aumenta à medida que o perfil se aprofunda, sugerindo uma homogeneidade nos solos da região.

Entretanto, analisando as características do relevo e a variabilidade das litologias sedimentares descritas na atualização do mapa geológico recentemente publicado pela CPRM (CPRM, 2006), supõe-se que a diversidade de solos na região da Depressão Central seja mais expressiva.

A litologia da região central do Rio Grande do Sul é composta por sedimentos da Bacia do Paraná, a qual foi formada por uma sucessão complexa de diferentes tipos de sedimentos com características deposicionais distintas. Essas diferenças na litologia podem influenciar expressivamente a formação e a variabilidade dos solos dessa região. Dessa forma, considerando

que os levantamentos e mapeamentos de solos foram realizados sobre informações geológicas menos detalhadas, o atual conhecimento dessa maior variabilidade geológica recentemente descrita, e sua influência nos processos formadores do solo podem fornecer subsídios para melhor identificar a diversidade e a distribuição com que os solos ocorrem nessa região.

A identificação da morfologia, aliada à caracterização dos atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo, contribui para definição mais precisa dos aspectos envolvidos na formação e na distribuição desses solos na região. Além disso, o estudo dessas variações contribui para o refinamento das teorias de evolução do ambiente fornecendo subsídios para uma melhor compreensão sobre a distribuição e formação dos solos e do consequente comportamento destes frente a fenômenos naturais ou induzidos. Destaca-se ainda, a importância da avaliação de contribuições alóctones nos perfis, visto a instabilidade das superfícies onde os solos se desenvolveram. Dessa forma, um estudo integrado que investigue os processos envolvidos na formação, bem como, que defina o comportamento físico e químico dos solos se faz necessário, podendo fornecer importantes contribuições para a determinação do melhor uso e das práticas de conservação para os solos dessa região

Sendo assim, considerando o desenvolvimento de solos a partir de diferentes materiais sedimentares, e localizados sobre diferentes posições da paisagem, o estudo objetivou: i) determinar a influência de variações litológicas e da posição na paisagem nas características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas de perfis de solos ao longo de uma porção representativa da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul; ii) definir parâmetros analíticos que permitam avaliar a ocorrência de discontinuidades litológicas e a proveniência do material formador do solo; e iii) definir os processos pedogenéticos atuantes na formação do contraste textural dos solos.

O conhecimento gerado sobre esses solos refletirá na identificação de diferentes graus de vulnerabilidade e suscetibilidade a impactos ambientais, além de refinar a classificação de aptidão para uso agrícola ou para demais projetos visando à exploração de uma forma sustentável. Além disso, os resultados poderão contribuir em atividades de mapeamento de solos em escala mais detalhada em relação aos levantamentos já existentes podendo

ainda fornecer informações para a atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A parte superior da crosta terrestre, constituída por partículas sólidas, minerais e orgânicas, ordenadas espacialmente, preenchida por água e sais dissolvidos e por gases, contendo matéria viva e podendo ser vegetada ou ocasionalmente modificada por atividades antrópicas, é o que denominamos **solo** (Kämpf e Curi, 2012; USDA, 1993; Embrapa, 2006). Segundo Oliveira (2001), o solo pode ser definido também como um corpo tridimensional da paisagem, resultante da ação combinada de vários fatores pedogenéticos, dependente por sua vez da intensidade de manifestação dos fatores de formação, clima, relevo e organismos, sobre o material de origem, durante certo período de tempo.

O desenvolvimento de um modelo que explicasse as relações entre fatores ambientais e a distribuição geográfica dos diferentes tipos de solos foi idealizado por Dokuchaev (1898) e mais tarde aprimorado por Jenny (1941), sendo até hoje o modelo mais difundido. Este modelo considera que a ação combinada de cinco fatores – o material de origem, os organismos vivos, o relevo e o clima ao longo do tempo - resulta na formação dos solos. Simonson (1959), também contribuiu para o entendimento da formação dos solos quando organizou os processos atuantes em quatro categorias: processos de adições, processos de remoções, processos de translocações e processos de transformações. Dessas quatro classes, derivam os processos específicos, que expressam as feições naturais, os mecanismos ou os ambientes de desenvolvimento dos solos dos quais podemos citar como exemplos a lessivagem, a gleização, a plintização, a ferralitização entre outros (Kämpf e Curi, 2012, Bockheim e Gennadiyev, 2000). As inúmeras combinações e a intensidade das manifestações desses fatores e dos processos atuantes

condicionam a formação de distintos tipos de solos, apresentando natureza, composição e comportamento diferenciados (Oliveira, 2001). Isso explica porque rochas com características idênticas, quando expostas a ambientes climáticos distintos podem desenvolver diferentes tipos de solos (Oliveira, 1972).

A causa da variabilidade dos solos encontrados na região central do estado do Rio Grande do Sul carece ainda de melhor entendimento, o que justifica novos estudos que elucidem a origem dessas diferenças a fim de definir o melhor uso e práticas de conservação para os solos dessa região. Sendo assim, o conhecimento e a compreensão dos fatores envolvidos na formação dos solos, e que ajudem a prever a sua distribuição na região central do Rio Grande do Sul é de grande importância. Dentre os fatores de formação destacamos o material de origem, através do contexto geológico, e o relevo, através do contexto geomorfológico descrevendo as principais características desses fatores na região.

## **2.1 Contexto geológico**

A região da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul é predominantemente composta por rochas sedimentares. Essas rochas são pertencentes à Bacia do Paraná (Milani, 1997), a qual foi formada pelo dobramento do cráton sul americano, durante o Período Devoniano (395-345 m.a.). Até então, toda a região hoje ocupada pelo estado do Rio Grande do Sul era constituída de áreas elevadas, servindo de área-fonte para sedimentos depositados em áreas depressivas adjacentes (Holtz, 2003). A formação de áreas rebaixadas e passíveis de receber sedimentos possibilitou a deposição de pacotes sedimentares até aproximadamente o Jurássico-Triássico (193 m.a.) seguido de recobrimento pelo arenito eólico de ambiente desértico que constitui a Formação Botucatu (145 m.a.) (Holtz, 2003). O período deposicional responsável pela formação da Bacia do Paraná se encerrou com os derrames basálticos da Formação Serra Geral (144 m.a.).

Assim, a província geomorfológica da Depressão Periférica, da qual a Depressão Central faz parte, apresenta uma sucessão complexa de

diferentes tipos de rochas sedimentares (Streck et al., 2008), apresentando características deposicionais com grande variação litológica, tanto vertical, como lateralmente, sendo que a estratigrafia da região passou por um longo período sem um consenso quanto a sua denominação (Veiga, 1979).

Até recentemente, as rochas sedimentares triássicas, então pertencentes à Formação Rosário do Sul (Grupo São Bento), dominavam em extensão, a região da Depressão Central representando o principal material de origem dos solos que ocorrem nessas áreas (Brasil, 1986). Nesta região foram descritos arenitos vermelhos, às vezes com estratificação cruzada, com intercalações delgadas ou espessas de siltitos e argilas vermelhas (Brasil, 1973), se estendendo desde o município de Santo Antônio da Patrulha até Cacequi na direção leste-oeste, tomando a direção norte-sul até a fronteira com o Uruguai, na altura de Santana do Livramento.

Em levantamento recente, realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a Formação Rosário do Sul foi alçada a categoria de Grupo, onde foram separadas e individualizadas três formações geológicas: Formação Sanga do Cabral, Formação Santa Maria e Formação Caturrita (Figura 1) (CPRM, 2006). Segundo as legendas do mapa apresentado e disponibilizado pela CPRM, a formação superior, denominada Caturrita, é composta de arenitos, conglomerados e siltitos; a formação intermediária, denominada Santa Maria é composta de arenitos e arenitos conglomeráticos, com pelitos subordinados; e a formação inferior é denominada Sanga do Cabral, sendo composta de brechas, siltitos e raros argilitos, com idades triássicas diferenciadas. Apesar dessas informações disponibilizadas pela CPRM, novos trabalhos citam uma expressiva variabilidade dentro das formações, as quais podem ser compostas por fácies com características bastante distintas determinando uma geologia muito complexa (Zerfass, 2003; Dias, 2006; Soares 2008).

Outra formação geológica que cobre uma área expressiva da Depressão Central segundo a recente atualização do mapa geológico publicado pela CPRM (CPRM, 2006), é a Formação Pirambóia, composta por um pacote de sedimentos mais antigos pertencentes ao Grupo Passa Dois. Apesar de pertencente a outro Grupo, a Formação Pirambóia indicada no mapa coo sendo de expressiva representatividade na região, podendo ser fonte de

variabilidade de solos, desenvolvendo feições distintas às das formações pertencentes ao Grupo Rosário do Sul, sendo importante o estudo concomitante da mesma (Figura 1).

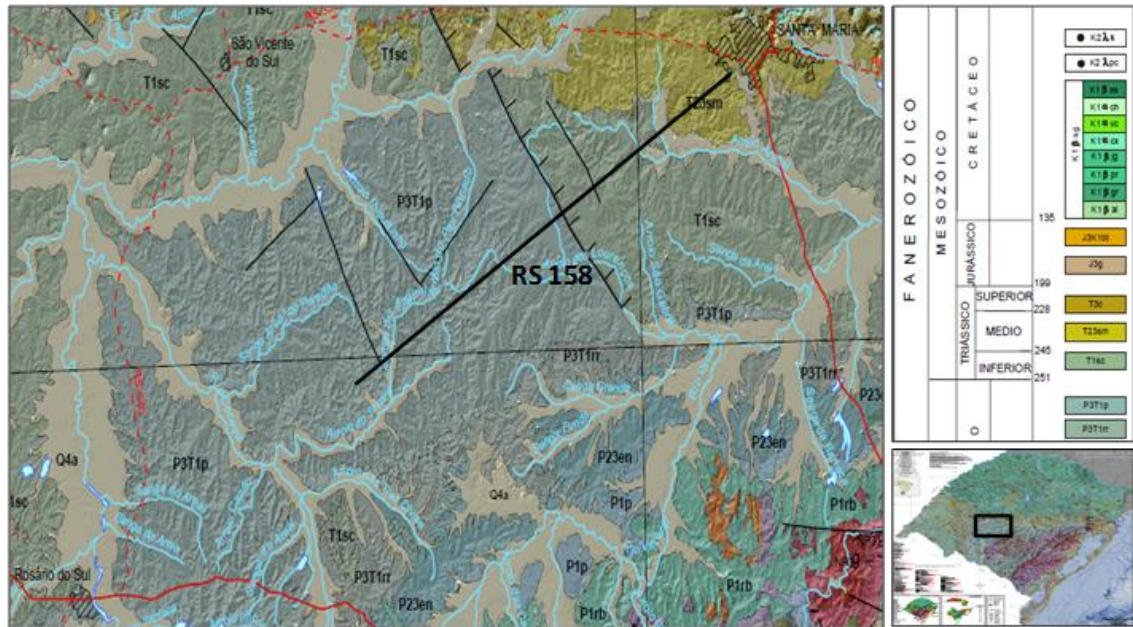


Figura 1: Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, 1:750.000 para a região da Depressão Central. No transecto (RS 158) são observadas as Formações geológicas da região do estudo (CPRM, 2006). T23sm: Formação Santa Maria; T1sc: Formação Sanga do Cabral; P3T1p: Formação Pirambóia

Na figura 2 são mostrados afloramentos da Formação Santa Maria localizados nas proximidades do município de Santa Maria, RS, onde são observados arenitos e arenitos conglomeráticos, com pelitos subordinados (CPRM, 2006).

Essa formação também foi descrita por Zeffass (2003) e Soares (2008) sendo classificada como uma supersequência composta por três camadas distintas, representada por uma sucessão de arenitos e pelitos continentais provenientes de sistema deposicional flúvio lacustre. Essas três supersequências ocorrem verticalmente empilhadas e com relações de interdigitação sendo a supersequência inferior chamada Membro Passo das Tropas (psamítica), a supersequência intermediária conhecida como Membro Alemoa (pelítica) e a sequência superior descrita como Formação Caturrita

(psamítica). Dessas três unidades, a unidade representativa que compreende a região de Santa Maria em direção a Rosário do Sul é o Membro Passo das Tropas. Essa unidade é formada por corpos espessos (cerca de 25 metros) de arenitos acinzentados de granulação grossa, conglomeráticos, feldspáticos, micáceos, intercalados com finas camadas de pelitos (Bortoluzzi, 1971 e Zerfass, 2003).



Figura 2: Imagens de afloramentos da Formação Santa Maria observadas na área de estudo. Na imagem mais próxima é possível observar a estratificação das camadas.

A formação Sanga do Cabral é composta por arenitos subarcóseo e arcóseo, tabular ou lenticular alongado, brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito, proveniente de ambiente continental, fluvial entrelaçado (CPRM, 2006) (Figura 3). Soares (2008) cita que, desta formação, são conhecidos atualmente duas unidades distintas: uma inferior composta por arenito eólico avermelhado quartzoso, de granulação bimodal fina a média, com grãos foscos e arredondados, e outra superior composta por arenitos avermelhados, de granulometria fina e lentes conglomeráticas com



estratificação cruzada acanalada. Zeffass, (2003) descreve as fácies dessa formação compostas de conglomerados e arenitos laminados, contendo material reciclado e fragmentos de rochas sedimentares em pequenos canais confinados. Além disso, ocorrem alguns argilitos lenticulares relacionados a pequenos lagos e lagoas. Essas litologias se desenvolveram em um gradiente aluvial plano sobre uma pequena planície de acomodação num período de condições áridas e semiáridas.



Figura 3: Imagens de afloramentos da Formação Sanga do Cabral observados na área de estudo. Nas imagens à direita é detalhada a presença de glébulos - esferas de arenito cimentadas por carbonatos - comuns na Formação Sanga do Cabral.

Com relação à Formação Pirambóia, um maior consenso em relação à sua origem é observado na literatura, entretanto a presença desta formação no estado do Rio Grande do Sul não é consenso entre os pesquisadores principalmente no que se refere à porção por ela ocupada. Os autores (CPRM, 2006) se referem a esta formação em posição estratigráfica bastante diferenciada daquela proposta por outros autores no estado de São Paulo

(Jabur, 1985). Do este autor, na porção norte da Bacia esta formação encontra-se sotoposta à Formação Botucatu, acima das rochas do Grupo Estrada Nova, entretanto para o Rio Grande do Sul, a CPRM a coloca como de idade permiana, sotoposta à Formação Sanga do Cabral.

Entretanto levando em consideração as informações do mapa geológico recentemente apresentado pela CPRM (CPRM, 2006) e considerando esta formação como componente da bacia sedimentar que compõe a região central do Rio Grande do Sul, em geral, essa ela apresenta arenitos avermelhados de granulação fina a grossa, com partículas bem classificadas onde é possível visualizar a estratificação cruzada de grande escala, a qual é interpretada como depósito residual da migração de dunas eólicas (Dias, 2006). . Na figura 4 são mostradas imagens de afloramentos da Formação Pirambóia observados entre Santa Maria e Rosário do Sul (RS - 158).

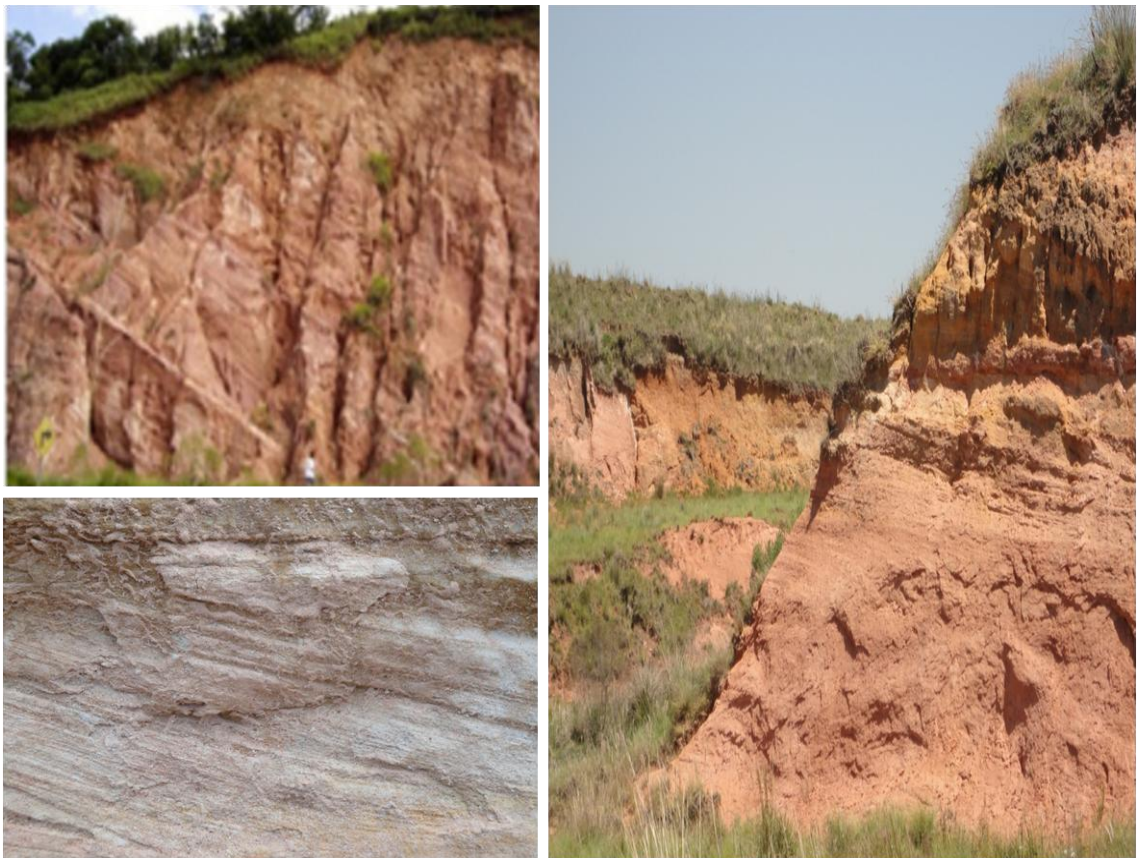


Figura 4: Imagens de afloramentos da Formação Pirambóia observadas na área de estudo. Na imagem inferior à esquerda detalhe da estratificação das camadas.

Segundo a CPRM (2006), a Formação Pirambóia é composta por arenito médio a fino, com geometria lenticular bem desenvolvida, proveniente de ambiente continental, eólico com intercalações fluviais

## **2.2 Contexto geomorfológico**

Segundo Daniels et al. (1971) a predição da distribuição dos solos na paisagem é possível através de estudos das relações entre solos, geologia e da geomorfologia. A geomorfologia engloba o estudo das formas da superfície avaliando os aspectos genéticos, cronológicos, morfológicos, morfométricos e dinâmicos, tanto pretéritos como atuais, naturais ou antropogênicos.

As superfícies geomórficas atuais são produtos de uma história geológico-geomorfológica que mantém testemunhos de sua evolução, podendo estar sendo sustentados por um ou mais substratos geológicos, consolidados ou não, na dependência de sua evolução pós-deposicional (Vidal-Torrado et al., 2005). A compreensão dessa conformação, recente e pretérita, é essencial para o entendimento da formação e distribuição dos solos, uma vez que eles constituem um contínuo tridimensional (Hall, 1985; Kämpf e Curi, 2012).

Apesar de estudos pretéritos já citarem a importância do relevo na diferenciação de solos em uma determinada região, Milne (1935) foi um dos primeiros pesquisadores a detalhar a relação solo e relevo. Através do conceito de catena, proposto por ele, pôde-se compreender a importância da movimentação da matéria (água e massas) identificando movimentos anisotrópicos (vertical e horizontal) ao longo do relevo topográfico (Vidal-Torrado et al., 2005).

Além da dependência da inclinação, forma e comprimento das encostas, o tipo de material rochoso, os fenômenos geológicos, a intensidade de duração desses processos e o histórico climático são condicionantes da ação do relevo sobre a formação dos solos (Humbel, 1978; Boulet et al., 1979; Coltrinari, 1992). Dessa forma, a compartimentalização permite definir limites da paisagem onde as condições e os processos são homogêneos. Vários modelos foram propostos a fim de definir a melhor forma de descrever a

paisagem, dentre os quais podemos citar: Dalrymple et al. (1968), Ruhe (1956), Daniels et al. (1971) e Huggett (1975). Essa vasta possibilidade de classificação dos segmentos do relevo acabou por gerar várias nomenclaturas, sendo a de Ruhe (Ruhe e Walker, 1968) a mais difundida a nível mundial para os estudos das relações solo-paisagem. Nesse modelo, classes de solos específicas vão sempre estar associadas a determinadas formas de relevo características.

De acordo com Daniels e Hammer (1992) a compreensão dos componentes das vertentes nos estudos geomorfológicos, com ênfase nos processos atuantes em cada segmento, vem ganhando destaque, sendo muito útil quando aplicado como complemento ao estudo das superfícies geomórficas. Gobin et al. (2001) cita que, por condicionar o movimento das águas, o reconhecimento da superfície geomórfica é indispensável no estudo dos solos, visto que, o movimento das águas é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo.

Além disso, as características do material onde esses fluxos irão se manifestar também podem condicionar as paisagens. Schaefer (2013), cita que, geralmente em condição de solos desenvolvidos de arenitos quartzosos, o relevo tende a ser tabular nos arenitos mais friáveis e horizontalizados (estratificação) com solos relativamente profundos e arenosos, além de pouco diferenciados em sua morfologia.

Considerando a região do estudo, Müller (1970) a destaca como sendo composta por áreas com altitudes inferiores a 200 m, interplanáticas, onde processos erosivos esculpiram em rochas sedimentares paleozóicas, triássicas e jurássicas da Bacia do Paraná, colinas alongadas, unidas por depressões amplas, sem rupturas bruscas entre colunas vizinhas, conhecidas regionalmente como coxilhas. Segundo Maciel Filho (1990) a Depressão Central apresenta-se com declividade suave e solos bem drenados, originalmente cobertos por campos e vegetação rasteira, intercalando com vegetação subarbustiva. Guaselli et al., (2006), por sua vez, descreve esta unidade geomórfica representada pelos sedimentos mesozóicos da Bacia do Paraná resultante do processo de circundesnudação periférica desta bacia a partir dos eventos do final dos períodos Mesozóico e Cenozóico.

Em termos geomorfológicos, a região da Depressão Central se caracteriza por uma superfície constituída por padrões diferenciados de colinas que se apresentam ora com topo plano ora com topos convexos. Verificando as características topográficas da região e analisando cada ambiente é possível indicar que os atributos do solo apresentam comportamento diferenciado em função das curvaturas do terreno (Souza et al., 2003; Montanari et al., 2005). Assim, o manejo e a conservação dos solos se tornam possíveis quando os horizontes pedogenéticos, os processos atuantes e o estágio evolutivo do solo são conhecidos (Boulet, 1988).

### **2.3 Contexto pedológico**

No Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil, 1973), e posteriormente no Levantamento Exploratório de Solos realizado pelo Projeto Radambrasil (IBGE, 1986) as principais classes de solos ocorrentes (nomenclaturas atualizadas conforme Embrapa, 2013) são Argissolos Vermelhos (Unidade de Mapeamento São Pedro), Argissolos Vermelho-Amarelos (Unidade de Mapeamento Vera Cruz e Rio Pardo), Argissolos Bruno-Acinzentados (Unidade de Mapeamento Santa Maria) e Planossolos (Unidades de Mapeamento Vacacaí). Menegat (1998) cita ainda Plintossolos e Gleissolos como classes de solos identificadas em algumas topossequências na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Segundo Streck et al. (2008), em revisão atualizada do relatório de solos do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul, no sentido sul-norte da Depressão Periférica, acompanhando a bacia dos rios Ibicuí da Armada e Santa Maria, ocorrem Planossolos Háplicos Eutróficos arênicos (Unidade de Mapeamento Vacacaí) nas planícies de inundação dos rios; nas coxilhas de cotas intermediárias situam-se os Argissolos Bruno-Acinzentados Alíticos úmbricos (Unidade de Mapeamento Santa Maria), originados de siltitos e argilitos, ocupando áreas de grande extensão entre Rosário do Sul e Santa Maria; nas cotas mais elevadas ocorrem Argissolos Vermelhos Distróficos arênicos ou espessarênicos abrupáticos (Unidade de Mapeamento São Pedro) desenvolvidos de arenitos (Figura 5).

Os estudos sobre a ocorrência e a distribuição dos solos na Depressão Central do Rio Grande do Sul, invariavelmente, consideraram que os mesmos seriam formados de um mesmo material de origem: as rochas sedimentares que constituíam a anteriormente denominada Formação Rosário do Sul. Entretanto, apesar de supostamente derivados de uma mesma litologia, já no material revisado por Streck et al., (2008), verificam-se variações nas características dos solos, tais como texturais, mineralógicas e de fertilidade, que não condizem com uma litologia tão uniforme conforme verifica-se nos mapas geológicos utilizados como base para o levantamento de solos de 1973 (Brasil, 1973).

O que se observa, é que, nas porções mais elevadas da paisagem (topos e terço superior das encostas), os solos geralmente apresentam textura superficial arenosa e horizonte diagnóstico subsuperficial B textural com acumulação de argila, geralmente sendo classificados como Argissolos Vermelhos. Na base das encostas (terço médio) devido às maiores restrições da drenagem vertical imposta pela presença de siltitos pouco permeáveis, observa-se menor contraste textural além da acumulação de compostos de ferro oriundos do transporte subsuperficial lateral. Argissolos Bruno-Acinzentados e Plintossolos Argilúvicos são as principais classes de solos formadas nessa situação. Já nas posições inferiores da paisagem (terço inferior), em topografia suave ondulada, ocorrem principalmente Argissolos Bruno-Acinzentados, com mosqueados na base dos perfis, em contato com a rocha alterada. Já na planície aluvial, predominam as classes de solos Planossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos.

A maioria destes solos apresentam caráter distrófico, alumínico ou alítico (Embrapa, 2013). Porém, acredita-se que a ocorrência de solos com caráter eutrófico, associada às variações na constituição do material originário também podem ser verificadas. Ao longo desta extensa região, variações nas características físicas, químicas e mineralógicas dos solos indicam que as mesmas podem também estar relacionadas a variações no material originário e também pela contribuição de materiais alóctones (Bortoluzzi et al. 2008, Medeiros, et al. 2013). Assim, o que podemos observar, é que a região da Depressão Central do Rio Grande do Sul possui ampla diversidade de solos, a

qual se deve, em geral, à variações no relevo e à complexidade e diversidade dos materiais sedimentares base para a formação desses solos.

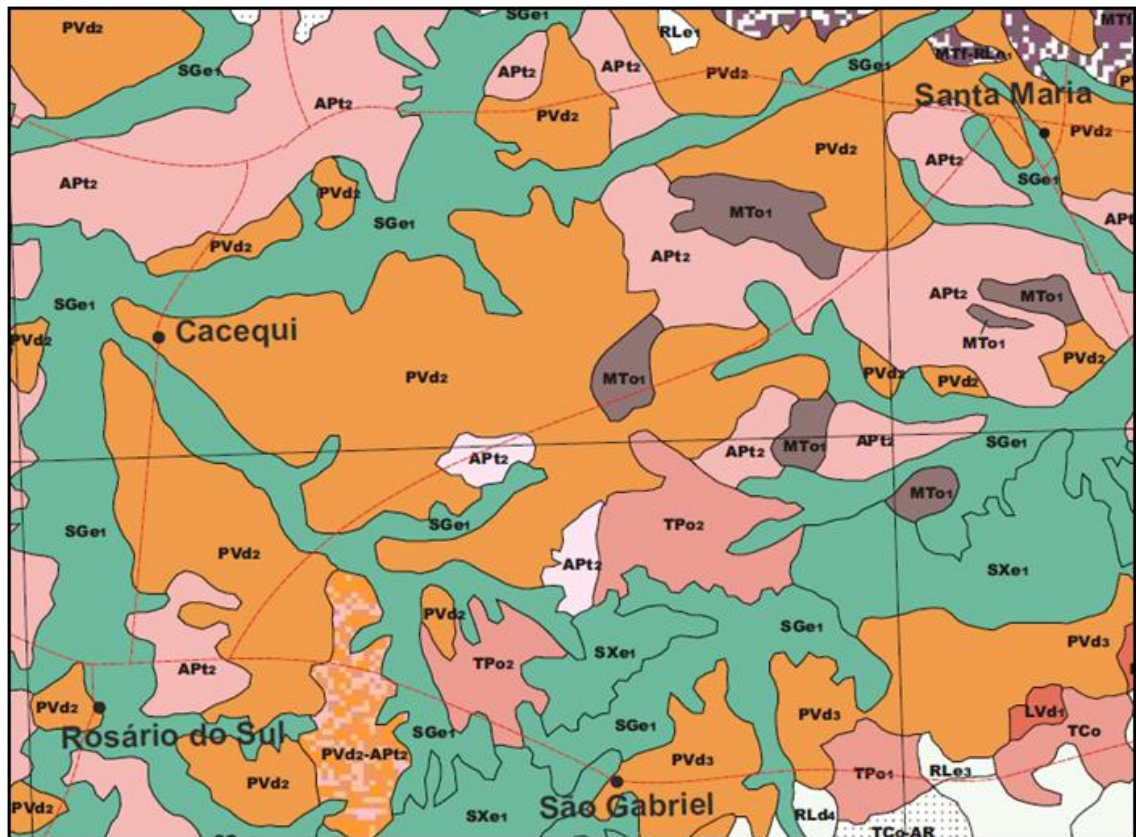


Figura 5: Mapa de solos do estado do Rio Grande do Sul em escala 1:750.000 para a área de abrangência do estudo (Emater/RS-ASCAR, 2007). PVd<sub>2</sub>: Argissolo Vermelho Distrófico; APT<sub>2</sub>: Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico; SXe<sub>1</sub>: Planossolo Háplico Eutrófico; MTo<sub>1</sub>: Chernossolo Argilúvico Órtico; TPo<sub>2</sub>: Luvisso Háplico Órtico.

Das características mais peculiares dos solos dessa região se destaca a presença de horizonte superficial arenoso e espesso, aliado ou não à ocorrência de horizonte E, os quais estão sobrepondo horizontes de acúmulo de argila (horizonte B textural). Além disso, a coloração dos solos varia de vermelhos, vermelhos-amarelos, amarelos, brunados e até gleizados, podendo ainda, apresentar ou não mosqueados, nódulos e plintitas. Embora a ocorrência dessas características morfológicas sejam descritas, os processos que levam a sua formação e a forma como se distribuem no solo, e ao longo da paisagem, carecem ser melhor compreendidos.

## 2.4 Propriedades específicas e processos pedogenéticos

Segundo Kämpf e Curi (2012), a conceituação dos processos pedogenéticos fornece modelos úteis para o entendimento das feições do solo, bem como para a sua identificação no campo e organização da classificação. Bockheim e Gennadiyev (2000) citam que os processos de formação dos solos são dinâmicos e mudam em resposta a mudanças nos fatores ambientais, ou seja, mudanças nos fatores de formação durante a evolução do solo resultam em mudanças nos processos de formação do solo. Assim, alguns processos pedogenéticos, além de poderem ocorrer simultaneamente, também podem ter ocorrido durante parte da história evolutiva de cada solo sendo importante que o pedólogo busque elucidar condições atuais e pretéritas.

Apesar de, a nível de ordem, o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos considerar principalmente os processos, para os demais níveis categóricos a classificação é geralmente determinada pelas propriedades específicas que apresentam (presença ou ausência de determinados atributos diagnósticos). Essas propriedades são mais facilmente quantificáveis do que os processos do solo (Arnold, 1983), em contrapartida os processos específicos fornecem uma visão dinâmica do solo, entretanto eles são considerados pouco compreendidos pela complexidade com que ocorrem no ambiente (Bockheim e Gennadiyev, 2000).

Das propriedades mais comumente observadas nos solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul, se destaca a ocorrência de horizontes superficiais de textura arenosa, seguidos ou não por horizonte E (sobrepondo horizontes subsuperficiais com acúmulo de argila (iluvial), geralmente classificados como B textural (Brasil, 1973, IBGE, 1986)).

O principal processo de formação desse contraste textural, comumente verificado em várias superfícies geomórficas do Brasil, é a translocação vertical de argila no perfil do solo, também denominada de lessivagem. Como definição, a lessivagem consiste na migração vertical de partículas finas em suspensão (argila) no perfil de solo, através da infiltração da água. Segundo Schaetzl (1998), partículas com diâmetro inferior a 30  $\mu\text{m}$  podem ser consideradas móveis no interior do perfil e passíveis de migração de horizontes superficiais ao horizonte subsuperficial, B. Essas partículas são



removidas dos horizontes A e E (eluviais) para horizontes mais profundos (iluviais), produzindo horizontes B texturais (Bt) mais adensados, resultantes do preenchimento dos poros e do recobrimento da superfície dos pedos pelas partículas de argila (Kämpf e Curi, 2012, Fanning e Fanning, 1989). Segundo Quénard et al. (2011), a lessivagem pode ser dividida em três fases: mobilização, translocação e deposição. Assim, o horizonte com acúmulo de argila (iluvial), deve conter um incremento mínimo de argila relativo ao horizonte eluvial (de onde foi mobilizada a argila) e mostrar evidências do movimento da argila (translocação) (Buol e Hole, 1961).

Entre os atributos físicos, a área superficial específica (ASE) e a relação argila fina:argila total, são bons indicadores de algumas características e processos do solo. A superfície específica do material do solo é uma propriedade fundamental e intrínseca que apresenta correlação com fenômenos importantes, como a troca catiônica, adsorção e liberação de produtos químicos diversos, dilatação, retenção de água, e propriedades mecânicas, tais como plasticidade, coesão e força. Por isso, é uma propriedade altamente pertinente para estudo, e sua medição pode fornecer uma base para avaliar e prever o comportamento do solo (Hillel, 1998). Em relação à mineralogia ela auxilia na diferenciação de solos visto que ocorrem diferenças na estrutura das partículas de argila resultando em valores de ASE distintos.

O aumento da relação argila fina:argila total, por sua vez, ao longo do perfil de solo é indicativo do processo de lessivagem visto que as partículas de menor tamanho tem maior chance de serem translocadas ao longo do perfil de solo, atuando na formação do gradiente textural (Bortoluzzi et al., 2008). Além disso, outras duas características que podem auxiliar na comprovação desta translocação são: a presença de argila dispersa (baixo grau de floculação) em horizontes sobrejacentes aos horizontes de iluviação; e superfícies com aspecto brilhante revestindo as faces das unidades estruturais (cerosidade). Para que as partículas sejam mobilizadas e translocadas no perfil de solo, é necessário que a natureza das partículas e a interação entre solo e partícula sejam favoráveis. Quando a carga da superfície dos coloides é maior, como no caso de argilominerais 2:1, a mobilização é facilitada, pois as partículas tendem a permanecer mais dispersas que solos com minerais 1:1 (Seta e Karathanasis, 1997, Lado e Bem-Hur, 2004), ao passo que solos com

predominância de cátions polivalentes causariam maior floculação, enquanto monovalentes causam dispersão (Gal et al., 1984).

O deslocamento vertical de argila ao longo do perfil de solo e sua deposição nos horizontes subjacentes ocasiona o revestimento e preenchimento dos canais por onde a água é translocada. Esse revestimento fornece um aspecto brilhante e ceroso nas superfícies naturais dos agregados dos horizontes iluviais, as quais são chamadas de cerosidade. Em muitos solos a presença da cerosidade é indicativa da lessivagem, sendo utilizada como atributo diagnóstico na definição dos horizontes B textural e na distinção entre estes e outros horizontes diagnósticos (Embrapa, 2013). Porém a ausência de cerosidade não exclui a lessivagem como processo de formação, visto que, processos físicos como contração e expansão de minerais de argila expansivos podem agir destruindo a película formada pela argila iluviada (Reynders, 1972).

A lessivagem pelo fluxo subsuperficial lateral de água ao longo dos declives, também tem sido referida como possível causa da diferenciação textural em solos. Numa transeção de solos em Luxemburgo, Van den Broek (1989), valendo-se de avaliações hidrológicas e pedológicas, verificou que, após períodos de altas precipitações pluviais, a ocorrência de um fluxo subsuperficial lateral, responsável pela remoção e transporte de argila na interface dos horizontes Eah e Bg ao longo do declive, foi a principal causa da diferenciação textural do solo. Hugget (1976), concluiu que tanto compostos químicos em solução como material em suspensão foram transportados lateralmente em solos de Hertfordshire, Inglaterra. Estes estudos indicam que o processo de transporte lateral pode ser favorecido quando a anisotropia vertical (textural, de porosidade ou densidade) é alta no solo, visto que dificultam e modificam a direção dos fluxos de água no sistema.

Em recente revisão, Quénard, et al. (2011) aborda solos onde a lessivagem foi descrita como principal processo de formação do solo. Eles avaliaram a quantidade de partículas que migram através do solo, bem como a duração do processo de lessivagem e concluíram que, para a maioria dos solos avaliados, a lessivagem não foi o processo dominante na formação do gradiente textural. Utilizando micromorfologia, Brewer (1968) e McKeague et al. (1978), também observaram que as partículas de argila iluviadas em horizontes subsuperficiais de vários solos com expressivo contraste textural

representavam, geralmente, uma pequena proporção da argila total presente nesses horizontes. Processos pedogênicos como a lessivagem e a bioturbação, e processos geogênicos como a erosão/deposição e descontinuidades no material formador do solo são citados ainda como processos de criação e modificação de contrastes texturais (Phillips, 2004). Esses estudos indicam que o gradiente textural em perfis de solo pode ter outra origem a não ser a lessivagem, podendo apresentar causas tanto pedogenéticas (Gamble et al, 1970; Cabrera-Martinez et al, 1988) como geológicas (Arnold, 1968). Segundo Fanning e Fanning (1989) a eluviação-iluviação não é a única forma de produzir o horizonte Bt, havendo outros meios como a destruição de argilas dos horizontes superficiais pelo intemperismo; erosão seletiva das partículas finas dos horizontes superficiais e a sedimentação de materiais grosseiros na superfície.

A presença de descontinuidades litológicas é comumente citada e investigada em solos desenvolvidos sobre topossequências e mesmo dentro de um mesmo perfil de solo quando estes são desenvolvidos sobre rochas sedimentares. Schaetzl (1998) cita que a origem do gradiente textural no perfil de solo pode estar ligada à herança do material parental, à descontinuidade litológica, decorrente da deposição de camadas sedimentares sobre um solo já existente. Bortoluzzi et al. (2008), estudando um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto do RS, observou que o transporte vertical de argila não foi o único responsável pela formação de gradiente textural, sugerindo que uma possível descontinuidade litológica também influenciou a formação do gradiente. Embora a identificação de descontinuidade litológica seja facilitada em perfis de solos com ocorrência de linhas de pedras ou pela presença de transições abruptas de cor entre os horizontes, sua identificação no campo nem sempre é fácil e, nesses casos, algumas técnicas complementares são utilizadas para comprovar sua ocorrência.

Em solos formados sobre arenitos, o estudo da fração areia pode ser eficiente na distinção dessas descontinuidades devido principalmente às diferenciações que ocorrem na forma e/ou no tamanho dos grãos. Suguio (1973) cita que, dentre as informações que podem ser obtidas pela análise granulométrica da fração areia, estão os conhecimentos relacionados à gênese

dos sedimentos, além de ser possível correlacionar sedimentos de distintas áreas fontes por meio de tratamentos estatísticos.

Por ser a fração do solo que mais resiste às forças do intemperismo, a fração areia pode contribuir com importantes informações sobre o material de origem. A distribuição da granulometria da fração areia em histogramas também pode auxiliar na determinação das principais características do material de origem, como a classe de frações mais abundante, ou se existem assimetrias entre as quantidades de partículas grosseiras e finas. Essas características permitem identificar se a amostra apresenta padrões de classes de tamanhos e peculiaridades que podem ocorrer no processo de seleção das partículas tanto em relação a sua rocha de origem quanto aos processos envolvidos no desenvolvimento do perfil.

Dentre as possíveis metodologias estatísticas de avaliação desses parâmetros, gerados pela análise sedimentológica, Folk e Ward (1957) propuseram medidas de tendência central e de dispersão. As medidas de tendência central são aquelas que expressam a distribuição do tamanho médio das partículas, ou seja, revelam o comportamento da curva de distribuição em sua parte central. Estas medidas incluem a moda, mediana e o tamanho médio de grãos. Já as medidas de dispersão incluem o desvio padrão, a assimetria e a curtose. Silva et al., (2002) avaliaram parâmetros sedimentológicos na fração areia em solos do semi-árido brasileiro concluindo que não houve indícios de descontinuidades litológicas em função da homogeneidade nos materiais sedimentares dos quais os solos foram desenvolvidos.

Schaetzl (1998) propôs o valor de Uniformidade (VU) como um indicador de descontinuidade litológica em solos. O VU é obtido pela razão entre a granulometria de um horizonte superficial e a do horizonte subjacente, sendo que valores próximos a unidade denotam descontinuidade litológica entre os horizontes. A relação entre as frações areia fina e areia total também é utilizada como indicador de descontinuidade, sendo que a uniformidade dos valores desta relação nos horizontes do solo, indicam formação a partir de um mesmo material de origem (Ribeiro, 1980).

O processo de lessivagem, a ferrólise e a ocorrência de descontinuidades litológicas têm sido descritos como os principais agentes na formação do contraste textural dos solos do Rio Grande do Sul (Michelon, et

al., 2010, Bortoluzzi, et al., 2008, Almeida et al., 1997). Por sua vez, a formação de horizontes com acúmulo de argila reduz a drenagem interna da água no perfil do solo, desenvolvendo zonas propícias a reações de óxi-redução. Tal condição pedoambiental favorece o processo de degradação da argila no solo, processo denominado de ferrólise (Brewer, 1968).

A formação do contraste textural em muitos solos sujeitos a encharcamento temporário de água pode também ser atribuída à destruição de argilas em certos horizontes do pedon, pelo processo da ferrólise, tornando os argilominerais instáveis (Brinkman, 1979). A instabilidade desses argilominerais é resultante de um conjunto de reações de oxidação-redução, hidrólise, acidólise e dessilicação (Brinkman, 1969), originando solos com horizontes eluviais ácidos e descorados sobre horizontes iluviais subsuperficiais mais argilosos e menos ácidos (Kämpf e Curi, 2012).

Nesses horizontes subsuperficiais com acúmulo de argilas, a presença de feições/estruturas (mosqueados, nódulos, concreções, e/ou plintitas) em meio a uma matriz com tons distintos é comum. Entretanto, a diferenciação entre estas estruturas a campo nem sempre é realizada com facilidade e os processos que possibilitam a formação de cada uma destas feições não são identificados com clareza. Santos et al., (2005) identifica os mosqueados pela presença de cores mescladas nos horizontes ou camadas do solo. Eles podem ocorrer pela presença de partes do material de origem do solo não ou pouco intemperizado (remanescente), podendo também ser decorrente da drenagem imperfeita do perfil de solo. Nódulos/concreções, por sua vez, são corpos cimentados que podem ser removidos intactos da matriz do solo. As concreções distinguem-se dos nódulos pela organização interna apresentando simetria interna disposta em torno de um ponto, enquanto nódulos carecem de uma organização interna ordenada (Santos et al., 2005). As plintitas, entretanto, são formações constituídas da mistura de argila, pobre em carbono orgânico e rica em óxidos de ferro ou ferro e alumínio com grãos de quartzo (Embrapa, 2013). A formação das plintitas está ligada a acumulações localizadas de óxidos de ferro resultante de processos de precipitação cíclica de Fe na zona de flutuação do lençol freático (Kämpf e Curi, 2012).

Tanto a presença de remanescentes do material de origem pouco intemperizados, como a pedogênese de estruturas bem desenvolvidas (plintitas e petroplintitas) podem ocorrer nos solos da região da Depressão Central (Miguel et al., 2013). Além da variabilidade estrutural, a variabilidade química dessas feições morfológicas também é condicionada pelos processos que dão origem a essas estruturas. Como exemplo temos a segregação e precipitação de ferro, mecanismos de ferrólise e de iluviação de compostos de ferro e dissoluções de materiais aluminossilicatados como alguns dos processos envolvidos na formação das plintitas/petroplintitas (Coelho e Vidal-Torrado, 2003; Miguel, et al., 2013).

A ocorrência de solos que apresentam transição textural abrupta, com horizontes subsuperficiais com acúmulo de argilas, apresentando ou não horizontes com colorações variegadas, parece indicar que a lessivagem, a ferrólise e a gleização sejam os principais processos pedogenéticos envolvidos na formação dos solos na região da Depressão Central, podendo ainda, esses processos ocorrerem de forma concomitante. Acredita-se que os processos pedogenéticos mais comuns estão ligados a condições impostas pela posição em que o solo ocupa na paisagem, e por características próprias do material de origem do qual o solo foi desenvolvido, porém não há evidências que comprovem a atuação de cada um desses fatores na formação desses solos.

## **2.5 Contexto mineralógico**

Além de influenciar diretamente as características químicas, físicas e morfológicas, os processos pedogenéticos condicionam diretamente a mineralogia do solo, determinando principalmente as taxas de intemperismo.

No processo de formação dos solos, os minerais constituintes das rochas são a base fundamental sobre o qual se desenvolverá o intemperismo (Fontes, 2012). De acordo com a sua formação, os minerais podem ser classificados em minerais primários, minerais secundários, e minerais pretéritos ou residuais. Os minerais primários são aqueles formados na mesma ocasião e condições que a rocha enquanto os minerais secundários são produtos da

ação do intemperismo sobre os minerais das rochas (primários) (Zanardo e Marques Junior, 2009).

No solo, a mineralogia das frações areia e silte é formada principalmente por minerais resistentes ao intemperismo, como quartzo, além de outros minerais primários menos resistentes como feldspatos e micas (Buckman e Brady, 1989). Em contrapartida, a fração argila é constituída principalmente por minerais secundários, resultantes dos processos de modificação física, química e biológica (Allen e Hajek, 1989).

Os argilominerais têm expressiva importância no solo, uma vez que afetam as propriedades físicas (textura, estrutura, consistência, permeabilidade, expansão e contração, etc.) e as propriedades químicas (disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions e ânions, pH, sorção, etc.). Tais propriedades dos argilominerais decorrem, principalmente, do seu pequeno tamanho de partícula (propriedades coloidais), elevada área superficial e reatividade (Kämpf et al., 2012). A composição mineralógica e as transformações que ocorrem no material parental propiciam uma melhor compreensão da evolução dos sistemas de formação dos solos, podendo indicar a dimensão com que os diferentes processos têm atuado nas paisagens atuais (Coelho e Vidal-Torrado, 2003).

Alterações mineralógicas, principalmente de minerais silicatados, ocorrem inicialmente sobre os minerais primários, os quais tendem a se alterar em minerais secundários, estando estes também sujeitos a novas alterações, de maneira a se tornarem cada vez mais estáveis em relação às condições pedoambientais (Leinz e Amaral, 1995). Dentre os agentes intempéricos, a água é, sem dúvida, o principal. No estado líquido, ela atua, como agente de dissolução, como solvente e reagente da maioria das reações, além de constituir meio no qual os solutos dissolvidos são transportados dentro do perfil ou para outras posições na paisagem (Fontes, 2012, Melfi e Pedro, 1977). Nas reações de hidrólise, ocorre a despolimerização da estrutura dos silicatos, com liberação de Si e de cátions básicos para a solução. Assim conforme a intensidade da hidrólise e da lixiviação há a formação, via solução, de minerais diferentes a partir do mesmo mineral primário (Kämpf et al., 2012).

Pedro, et al. (1969) classificou os níveis de hidrólise em três classes: bissialitização, monossialitização e alitização. No processo de bissialitização o

fluxo de água é pouco intenso, a lixiviação é fraca e a dessilicação é limitada, ocorrendo uma hidrólise parcial. Nesse sistema, a concentração de silício é suficiente para a formação de argilominerais do tipo 2:1 (ex. vermiculitas e esmectitas), com parte dos cátions básicos permanecendo no sistema e ocupando as entrecamadas dos argilominerais. No processo de monossilicização o fluxo de água é moderado, a lixiviação se acentua e a dessilicação é moderada permitindo a formação de argilominerais do tipo 1:1 (ex. caulinita). Quando o fluxo de água é muito intenso, a lixiviação é expressiva e propicia a dessilicação completa do sistema, permanecendo apenas alumínio e/ou ferro que precipitarão na forma de óxidos de alumínio (ex. gibbsita) e de ferro (ex. hematita, goethita). Este processo de perda drástica de cátions básicos é denominado de alitização (Melfi e Pedro, 1977; Resende et al., 2002, Kämpf et al., 2012).

Em algumas situações, no entanto, onde a hidrólise é limitada e a intensidade de lixiviação é fraca, ocorre apenas uma alteração parcial da estrutura, não ocorrendo a dissolução e posterior neoformação, e sim reações de transformação dos minerais no estado sólido. Vermiculitas e micas são exemplos dessas transformações, onde os cátions das entrecamadas são substituídos por polímeros de hidróxi-alumínio (Sposito, 1989), porém este processo não foi ainda bem elucidado.

Outros argilominerais de importância no solo são os óxidos de ferro (óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos) e óxidos de alumínio. São minerais não silicatados, de baixa solubilidade e ampla ocorrência em solos de regiões tropicais e subtropicais. Podem ocorrer homoganeamente distribuídos na matriz do solo, ou concentrados na forma de ferricretes, camadas, horizontes, nódulos, mosqueados, plintitas, etc. (Kämpf, et al., 2012). A formação desses minerais está condicionada pelo ambiente (temperatura, umidade, atividade biológica, pH, etc.), onde a sua concentração está intimamente relacionada com tipo do material de origem (quantidade e disponibilidade de Fe e Al), com o grau de intemperização e com os processos pedogenéticos de acumulação ou remoção (Kämpf e Curi, 2003; Fontes, 2002). Complexas transformações e reações como as de oxi-redução, desidratação, dissolução, precipitação, entre outras, estão envolvidas na formação óxidos de ferro e de alumínio.



Em vista do exposto, os argilominerais estão presentes no solo na forma de diferentes espécies minerais, cuja ocorrência é condicionada pelo material de origem, pelo intemperismo e pela pedogênese, incluindo etapas de estabilidade, transformações e neoformações de minerais (Kämpf et al., 2012).

A caracterização dos minerais pode auxiliar na compreensão de diversas características químicas e físicas do solo. Determinados minerais podem parcialmente, desde controlar a fertilidade natural dos solos, pelo suprimento de nutrientes, até atuar como agente tamponante em diversos problemas ambientais preocupantes nos dias de hoje (Fontes, 2012). A identificação dos principais minerais constituintes das frações desses solos contribui na estimativa do grau de evolução, comportamento químico, físico dos solos, entre outros.

Em solos de regiões tropicais e subtropicais a composição mineralógica depende muito do material de origem sendo que nas frações silte e areia o mineral quartzo é usualmente o mineral predominante (Resende, et al., 2005). Nessas frações também são comumente observados minerais primários como feldspatos e micas. Na fração argila, caulinita é quase sempre presente (Resende, et al., 2005) além de óxidos de ferro e alumínio e minerais 2:1. A compreensão dos processos atuantes em cada perfil de solo, relacionando fatores como a litologia e o relevo local, deverá também contribuir para a identificação e distribuição do comportamento mineralógico dos solos ao longo da região investigada.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização do meio físico e amostragem dos solos

A área do estudo está situada na Mesorregião Centro Ocidental do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de Santa Maria e Dilermando de Aguiar, (Figura 6), sobre a Macrorregião Hidrográfica do Guaíba e situada a norte da Bacia Hidrográfica do Vacacaí, Vacacaí-Mirim.

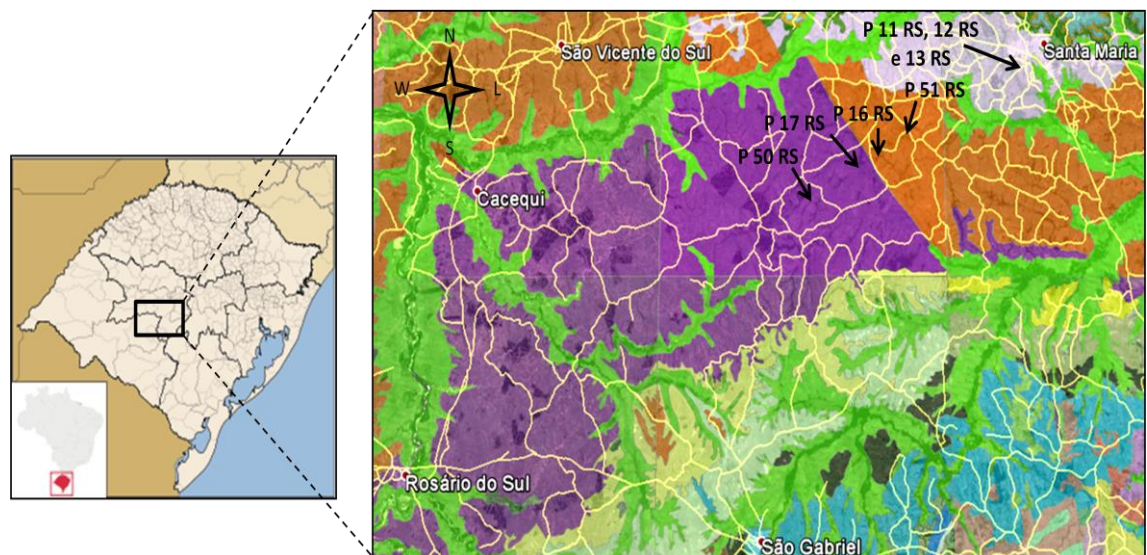


Figura 6: Localização geográfica da área de abrangência do estudo e respectivas coberturas litológicas da região (CPRM, 2005). Fonte: Google earth, acesso em 10 de outubro de 2014.

O clima da região é subtropical úmido com invernos frios e verões quentes, enquadrando-se como Cfa segundo classificação de Köppen, com

temperatura média anual de 19 °C, índices pluviométricos entre 1.500 e 1.700 mm ano<sup>-1</sup> e distribuição regular da precipitação entre as estações do ano, podendo ocorrer um déficit hídrico no período de dezembro a abril. Os ventos predominantes são de leste e sudoeste, entretanto, a região de Santa Maria caracteriza-se também pela constante presença de ventos originários do quadrante norte. A frequência anual de geadas é de 10 a 15 dias, e a taxa de insolação de 2.200 a 2.800 h ano<sup>-1</sup> (Sartori, 1979, Fabres, 2009; Mota, 1953).

O relevo regional é suave ondulado e ondulado formado por coxilhas com declividades variando entre 3 e 20 % e com altitude média regional de 113 m acima do nível do mar. A vegetação é constituída predominantemente de áreas de campos limpos e pastagens, formações campestres – campos cobertos por gramináceas contínuas, entremeadas de subarbustos isolados; e formações especiais, correspondentes a matas de galeria e vegetação ribeirinha (IBGE, 1986; IBGE, 2010). A atividade agrícola é composta principalmente pela pecuária, geralmente extensiva, e mais recentemente, pela exploração de culturas comerciais.

### **3.2 Localização dos perfis, descrição morfológica e coleta de amostras**

Os perfis de solo foram coletados ao longo da rodovia RS 158, que liga os municípios de Santa Maria e Rosário do Sul, na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os perfis de solos estão alinhados no sentido sudoeste, entre os paralelos 29° 43' 2,15" e 29° 51' 31,2" latitude sul, e 53° 54' 17,4" e 54° 13' 10" longitude oeste.

A escolha dos locais para descrição e amostragem dos solos no campo levou em consideração, a facilidade de acesso (corte de barranco a beira da estrada), a posição dos perfis de solos na paisagem (altitude, declividade, distancia entre perfis) e a presença de material rochoso acessível ou afloramentos de rochas nas proximidades para observação, descrição e coleta. Primeiramente foi realizada uma viagem exploratória saindo de Porto Alegre e passando pelos municípios de Santa Cruz do Sul, Candelária, Santa Maria e Rosário do Sul a fim de identificar e catalogar perfis de solo com potencial de estudo, sempre fazendo uso do mapa geológico georreferenciado

e GPS para a identificação das formações geológicas. Nesta viagem foram selecionados sete perfis de solos, todos desenvolvidos sobre material de origem sedimentar. Em uma segunda viagem, os sete perfis de solos foram descritos morfologicamente e coletados (Figuras 7 e 8).

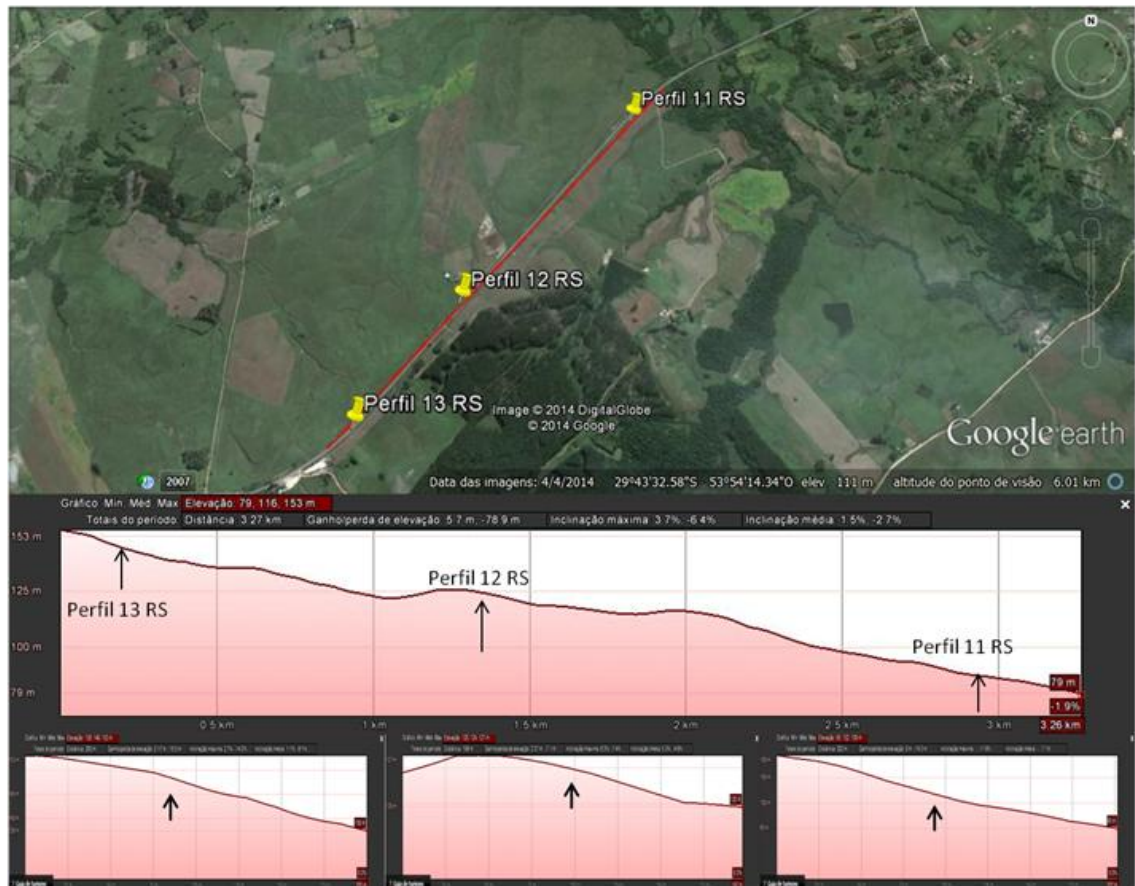


Figura 7: Imagem da área de estudo com a localização dos perfis 11 RS, 12 RS e 13 RS e perfil de elevação do terreno entre os perfis de solos. No detalhe são apresentados os perfis de elevação dos perfis de solo 13 RS, 12 RS e 11 RS evidenciando as variações no relevo em nível detalhado (200m). Fonte: Google earth, acesso em 09 de outubro de 2014.

Conforme o mapa geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006), na região do estudo os perfis de solo ocorrem sobre três diferentes litologias: os perfis de solo 11 RS, 12 RS e 13 RS ocorrem sobre material sedimentar da Formação Santa Maria; os perfis 51 RS e 16 RS sobre material sedimentar da Formação Sanga do Cabral; e os perfis 17 RS e 50 RS foram descritos sobre material sedimentar da Formação descrita como Pirambóia. Para verificar a concordância das litologias in situ com as litologias descritas no mapa

geológico apresentado pela CPRM, foram realizadas descrições do material geológico subjacente a cada perfil de solo, seguidas da coleta de material para análise química e mineralógica. As cotas altimétricas e coordenadas geográficas de cada local foram determinadas por GPS e a declividade determinada por clinômetro.

Os perfis 11 RS, 12 RS e 13 RS compõe uma topossequência (Figura 7), sendo um perfil de pedimento (13 RS), um perfil de meia encosta (12 RS) e um perfil no sopé coluvial (11 RS) (Kämpf e Curi, 2012), distanciados do ponto 13 para o ponto 12 em 1050 m, e do ponto 12 para o ponto 11 em 1430 m. Segundo a classificação proposta por Huggett (1975), o perfil 11 RS está posicionado em superfície linear sem curvatura (fluxos lineares); o perfil 12 RS está localizado sobre superfície convexa (não foi possível determinar as linhas de fluxo); e o perfil 13 RS está em superfície suave convexa com curvatura suave convexa, como pode ser observado em maior detalhe nos perfis de elevação para cada perfil de solo.

Os perfis 51 RS, 16 RS, 17 RS e 50 RS foram descritos e amostrados em posições distintas na paisagem, não correspondendo uma topossequência clássica (Figura 8). O perfil 51 RS foi descrito sobre pedimento na porção superior da encosta, o perfil 16 RS foi descrito em posição de encosta; o perfil 17 RS em posição de sopé coluvial; e o perfil 50 RS desenvolvido em posição pedimento na porção superior da encosta (Kämpf e Curi, 2012). Os perfis 51 RS e 16 RS estão distanciados entre si em 8.600 m; os perfis 16 RS e 17 RS estão distanciados em 3.000 m; e os perfis 17 RS e 50 RS estão distanciados em 6.200 m.

Segundo a classificação proposta por Huggett (1975), o perfil 51 RS está posicionado em superfície côncava com fluxos lineares; o perfil 16 RS está localizado sobre superfície convexa com fluxos lineares; o perfil 17 RS é desenvolvido sobre superfície suave convexa/linear sendo um perfil caracterizado por condições de impedimento de drenagem mantendo o lençol freático suspenso em períodos do ano; e o perfil 50 RS está localizado sobre superfície convexa com curvatura convexa.

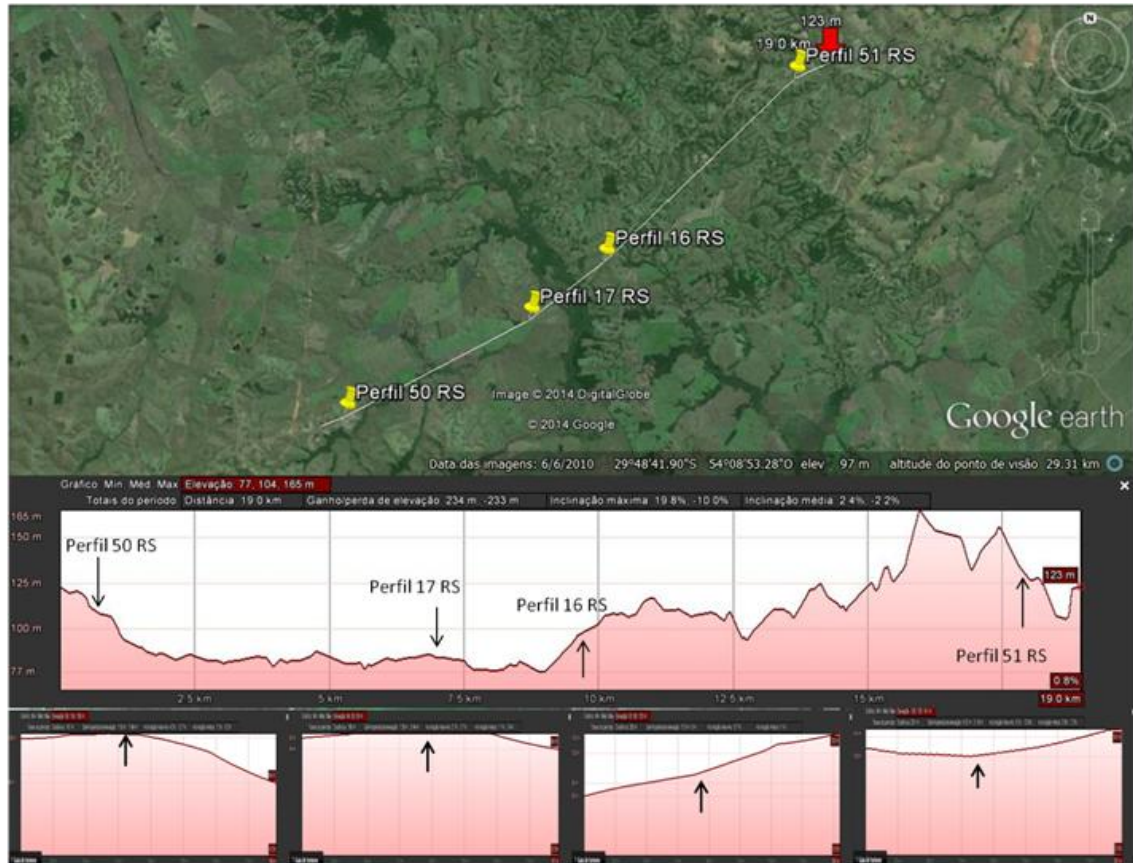


Figura 8: Imagem da área de estudo com a localização dos perfis 51 RS, 16 RS, 17 RS e 50 RS e perfil de elevação do terreno entre os perfis de solos. No detalhe são apresentados os perfis de elevação dos perfis de solo 50 RS, 16 RS, 17 RS e 50 RS evidenciando as variações no relevo em nível detalhado (200m). Fonte: Google earth, acesso em 09 de outubro de 2014.

Após a definição dos perfis de solos a serem estudados, se procedeu a descrição geral da área, sendo consideradas características do ambiente dos solos, como localização (coordenadas), altitude, declividade, situação de relevo, vegetação, erosão, drenagem, clima e uso atual. Na sequência, os perfis de solos foram descritos morfologicamente e coletados de acordo com Santos et al., (2005). Inicialmente foram identificados e separados os horizontes genéticos e a transição entre os mesmos em cada perfil de solo. Após a separação dos horizontes seguiu-se a determinação da cor (matiz, valor e croma) em diferentes condições de umidade (seca, úmida e úmida amassada) utilizando-se a carta de Munsell; o tipo, o grau e o tamanho da estrutura do solo; a cerosidade do solo e a consistência do solo seco, úmido e molhado.

Para execução das análises laboratoriais foram coletadas amostras deformadas de todos os horizontes pedogenéticos, as quais foram secas ao ar, destorroadas e tamisadas (peneira malha 2 mm) obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA). A proporção de cascalho foi definida a partir do material retido na peneira.

Nos horizontes que apresentam mosqueados/nódulos foram separadas amostras da matriz e das segregações para a avaliação dos teores de óxidos de ferro. Para esses mesmos horizontes foram coletadas amostras para o estudo sobre a formação dessas feições. Essas amostras foram compostas de aproximadamente 2 kg de torrões de solo coletados com estrutura preservada, sendo posteriormente submetidas a ciclos de umedecimento e secagem em casa de vegetação a fim de observar a estabilidade dos materiais segundo metodologia proposta por (Jacomine et al, 2010, Daniels et al., 1978).

### **3.3 Análises laboratoriais**

#### **3.3.1 Análises físicas**

As análises físicas foram compostas pela granulometria, pela sedimentologia da fração areia e pela área superficial específica (ASE).

##### **3.3.1.1 Granulometria**

A composição granulométrica foi determinada após dispersão de amostras da fração terra fina seca ao ar (TFSA) com água e calgon (hexametáfosfato de sódio + carbonato de sódio anidro). As suspensões foram deixadas em repouso por 16 horas, seguido de agitação mecânica por quatro horas em agitador horizontal. A fração areia foi separada por tamisação úmida em peneira com malha de 0,053 mm. A fração argila foi determinada pelo

método do densímetro, com o silte calculado por diferença (Embrapa, 1997). O mesmo procedimento foi realizado sem a adição de dispersante químico, para a determinação da argila dispersa em água, permitindo o cálculo do grau de floculação deste material (Embrapa, 1997). A fração argila total foi coletada por sedimentação com base na Lei de Stokes sendo posteriormente fracionada em argila fina ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) e argila grossa ( $>0,2\mu\text{m}$ ) por centrifugação (Jackson, 1965) obtendo-se assim a relação argila fina/argila total.

### 3.3.1.2 Sedimentologia da fração areia e Valor de Uniformidade

O fracionamento da areia total foi realizado por agitação mecânica a seco em um agitador de peneiras (rot-up) durante 5 minutos. Foram obtidas nove classes de tamanhos de partículas: 0,052 a 0,075; 0,076 a 0,150; 0,151 a 0,212; 0,213 a 0,300; 0,301 a 0,425; 0,426 a 0,600; 0,601 a 0,850; 0,851 a 1,7 e 1,7 a 2 mm; escala correspondente em Phi ( $\phi$ ) 3,73; 2,73; 2,23; 1,73; 1,23; 0,73; 0,23; -0,76 e -1. O diâmetro (D), em milímetro, correspondente a cada peneira, foi transformado para a escala f (phi), em que  $f = -\log_2 D(\text{mm})$ . Nessa escala quanto maior o valor em Phi, menor será o diâmetro da partícula. A partir da distribuição dos tamanhos das partículas da fração areia foram avaliados parâmetros estatísticos segundo Folk e Ward (1957), utilizando o programa Sysgran de análise de sedimentos desenvolvido pelo Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná (Camargo, 2006).

Além do fracionamento da areia total, o Valor de Uniformidade (VU) proposto por Cremeens and Mokma (1986) e adaptado (utilizando a areia fina (AF) em substituição à areia muito fina (AMF)), foi utilizado como indicativo de descontinuidade litológica no perfil, sendo calculado através da expressão:

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

onde: VU é o valor de uniformidade; S teor de silte; A teor de areia total; e AF teor de areia fina.



### 3.3.1.3 Área superficial específica

A determinação da área superficial específica (ASE) foi realizada por diferença de peso (obtido em balanças analíticas) entre amostras secas em atmosfera a 0 % de umidade relativa e após adsorção de água em atmosfera a 20 % de umidade relativa conforme Quirk (1955). As amostras com aproximadamente 1,000 g foram colocadas em recipientes pesa filtros de vidro previamente pesados, submetidas a uma atmosfera com UR=0 % por 12 dias em dessecadores contendo pentóxido de fósforo, sendo então novamente pesadas. Na sequência, as amostras foram submetidas a uma atmosfera com UR=20 % por doze dias em dessecadores contendo uma solução saturada de acetato de potássio e novamente pesadas. Considerando que uma molécula de água cobre uma área de  $0,108 \text{ nm}^2$ , a ASE foi calculada conforme a seguinte equação:

$$\text{ASE (m}^2 \text{ g}^{-1}) = (6,02214 \times 10^{23} \text{ moléculas de H}_2\text{O} / 18 \text{ g de H}_2\text{O}) \times (0,108 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{molécula de H}_2\text{O}) \times (\text{g H}_2\text{O/g de amostra}).$$

### 3.3.2 Análises químicas

As análises químicas compreenderam análises do complexo sortivo (pH em água e sal,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e H+Al); extração dos teores semitotais dos elementos Fe, Al, Si, Mn e Ti pelo método do ataque sulfúrico e análise elementar pela técnica de Fluorescência de Raios-X quantificando os teores totais dos mesmos elementos quantificados pelo ataque sulfúrico além do Ca, Mg, K e P.

#### 3.3.2.1 Química do complexo sortivo

Na caracterização química dos solos foram determinados, segundo Embrapa (1997): valores de pH em água e pH em KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  na relação 1:1;

teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{K}^{+}$  trocável extraído com solução de  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  e seu teor determinado por fotometria de chama;  $\text{Al}^{3+}$  trocável extraído com solução  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{NaOH}$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ; ( $\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$ ) determinados por extração com acetato de cálcio, tamponado a pH 7,0, e posterior titulação com  $\text{NaOH}$  (0,0606 N). O teor de fósforo disponível foi extraído com solução  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  e o carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley-Black (adaptado) através da oxidação dos compostos orgânicos, sendo as duas análises quantificadas pelo método colorimétrico de acordo com Tedesco et al, (1995).

A partir dos dados analíticos foram calculadas a soma de bases (S), a capacidade de troca de cátions CTC a pH 7,0 (CTC<sub>pH7</sub>), o  $\Delta\text{pH}$ , a saturação por alumínio (m%) e a saturação por bases (V%), segundo as seguintes expressões:

$$S = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$$

$$\text{CTC}_{\text{pH7}} (\text{T}) = S + [\text{H} + \text{Al}]$$

$$\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$$

$$\text{m}\% = [\text{Al} / (\text{Al} + S)] * 100$$

$$\text{V}\% = (S / \text{T}) * 100$$

### 3.3.2.2 Ataque sulfúrico

Os teores de Si, Al, Fe e Ti foram extraídos por meio de ataque sulfúrico (Embrapa, 1997). A amostra de solo foi colocada em contato com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1 (v/v), a temperatura de  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  por trinta minutos contados a partir do início da fervura com posterior resfriamento, filtração e diluição. A determinação dos teores de Fe, Al e Ti foi realizada através da leitura do extrato em espectrômetro de emissão por plasma (ICP).

Para a determinação do Si, foi realizada um ataque com  $\text{NaOH}$  30 % no resíduo da filtragem em Becker de teflon sobre banho de areia até o início da fervura. Após resfriado, o volume das amostras foi aferido em balão

volumétrico. No extrato determinou-se o Si através da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

A partir dos teores dos elementos determinados após o ataque sulfúrico, foi calculado o índice de intemperismo  $K_i$  indicando quais minerais de argila e/ou óxidos-hidróxidos de Fe e Al predominam em cada horizonte dos solos investigados conforme a equação a seguir (Embrapa, 1997):

$$K_i = 1,7 * (\%SiO_2 / \%Al_2O_3)$$

### 3.3.2.3 Análise elementar por Fluorescência de raios x

Foi realizada a análise dos teores totais dos elementos expressos na forma de óxidos através da técnica de Fluorescência de raios-X (FRX) na fração TFSA, das amostras de solo deformadas coletadas em todos os horizontes dos perfis, e do material de origem (rocha), sendo todas analisadas na forma de pó. Na análise da fração TFSA para padronização foram usadas 2,0 g de solo por amostra, previamente moída e passada em peneira de malha de 0,125 mm e acondicionadas em porta amostra padrão revestida com filme de poliéster mylar de 3,6  $\mu$ m e dispostas em um carrossel removível com capacidade de 10 amostras.

A determinação foi feita através de um equipamento de FRX modelo Epsilon 3 da PANalytical, sendo este basicamente um espectrômetro compacto de energia dispersível de raio X (EDX), com gerador de potência máxima em alta tensão de 9000 mW, voltagem de 4 a 30 kV e intensidade da corrente de 1 a 1000  $\mu$ A, com tubo de raios-X de material anodo (Rh – ródio), janela de berílio com 50  $\mu$ m de espessura e detector diodo Si-PIN com processamento dos dados através de um analisador multi-canal (MCA). O sistema utiliza um sistema de alimentação com gás hélio pressurizado e refrigeração a ar termo-elétrica (Peltier).

A quantificação dos elementos foi feita através da criação de uma aplicação (OMNIAN) via software Epsilon, calibrada a partir de amostras padrões no formato de pastilhas fundidas e prensadas. A leitura das amostras dos horizontes foi feita em cada condição de leitura do equipamento utilizando seis filtros programáveis de diferentes espessuras (Cu-500, Ti, Al-50, Al-200,

Cu-300 e Ag). Também foi utilizada uma amostra de referência NIST (solo padrão) para correlação dos resultados, e uma amostra monitora para checar a calibração do OMNIAN.

#### 3.3.2.4 Dissoluções seletivas dos óxidos de ferro pedogênicos

Os teores de Fe e Al nas estruturas de óxidos de ferro pedogênicos foram extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) a 80 °C em duas extrações sucessivas (Mehra e Jackson, 1960). Os teores de Fe, Al e Si em estruturas minerais de baixa cristalinidade foram extraídos com oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> a pH 3,0, em ausência de luz (Schwertmann, 1964). Os elementos solubilizados nas dissoluções seletivas foram determinados por espectrometria de emissão por plasma (ICP).

#### 3.3.3 Análises mineralógicas

As análises mineralógicas foram realizadas por difratometria de raios-x (DRX) em aparelho Bruker D2 Phaser (Tubo de Cu com filtro de Ni, detector LynxEye® e slit primário com abertura de 0,3 mm) do Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos UFRGS. Para tanto foram confeccionadas lâminas com material em pó das frações areia, silte e argila e lâminas com material orientado da fração argila desferrificada e tratada para identificação de argilominerais dos principais horizontes de cada perfil de solo.

As amostras em pó das frações areia e silte foram analisadas no intervalo angular de 04 a 50 °2θ, em velocidade angular de 0,02 °2θ s<sup>-1</sup> em modo por passos com tempo de leitura de 0,5 s passo<sup>-1</sup>. As amostras de argila em pó foram analisadas no intervalo angular de 04 a 70 °2θ, em velocidade angular de 0,02 °2θ em modo de passos com tempo de leitura de 0,5 s passo<sup>-1</sup>.

As amostras de argila desferrificada foram submetidas à saturação com solução de cloreto de potássio (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) e com solução de cloreto de magnésio (MgCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>) a fim de avaliar a contração e expansão,

respectivamente, dos argilominerais 2:1. Para a saturação das amostras de argila desferrificada com K e Mg foram pesados 0,15 g de argila desferrificada sendo posteriormente colocados em contato com 30 mL das respectivas soluções deixando em repouso por no mínimo 1 hora. Após o repouso, as amostras foram centrifugadas a 2.000 rpm por 15 minutos sendo o sobrenadante descartado. Esse processo foi repetido mais duas vezes. Após a saturação as amostras foram lavadas com água destilada seguidas por centrifugação por 3 vezes a fim de remover o excesso de sais.

Das amostras de argilas desferrificadas e saturadas foram preparadas lâminas com material orientado pelo método da pipeta (Resende et al, 2005). Após a orientação, as lâminas confeccionadas com argila desferrificadas e saturadas com potássio foram analisadas a 25 °C no intervalo angular de 04 a 70 °2 $\theta$ , e após tratamentos térmicos de uma hora a 110, 350 e 550 °C, foram novamente analisadas em intervalo angular de 04 a 40 °2 $\theta$ . As lâminas confeccionadas com argila desferrificada e saturada com Mg foram analisadas antes e após solvatação com etilenoglicol, em dessecador mantido em estufa a 60 °C por 48 horas, no intervalo angular de 04 a 40 °2 $\theta$ .

Nos difratogramas gerados, a identificação e caracterização dos minerais foram realizadas com auxílio do programa EVA/3.0. Os resultados foram interpretados baseando-se nos espaçamentos das reflexões dos minerais disponíveis em Brindley e Brown (1980) e Resende et al. (2005).

### **3.4 Classificação taxonômica dos solos**

A definição dos atributos diagnósticos dos solos, a identificação dos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais, e a classificação taxonômica dos mesmos até o 4º nível categórico foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do material de origem dos solos

O mapa geológico desenvolvido pela CPRM (2006) descreve três litologias presentes na região de abrangência do estudo: a Formação Santa Maria, a Formação Sanga do Cabral, e a Formação Pirambóia. De acordo com o mapa da CPRM, os três primeiros pontos (11 RS, 12 RS, e 13 RS), estão localizados sobre a Formação Santa Maria, os dois pontos seguintes (51 RS e 16 RS), estão descritos sobre a Formação Sanga do Cabral e os dois últimos pontos (17 RS e 50 RS), descritos sobre a Formação Pirambóia. Entretanto a identificação de cada formação nas superfícies onde os solos se desenvolvem não é facilmente realizada visto à movimentação que ocorre nessas camadas mais superficiais e à mistura de materiais nessas zonas. Além disso, as informações do mapa geológico publicado recentemente pela CPRM não é consenso entre os pesquisadores principalmente no que se refere à presença da Formação Pirambóia nessa região de abrangência do estudo.

Dessa forma, para determinar a origem e a correspondência de cada material base para a formação dos perfis, foram coletados *in situ* fragmentos da rocha subjacente dos sete perfis de onde os solos foram desenvolvidos, a fim de confrontar com as informações do mapa geológico desenvolvido pela CPRM. A descrição do material observado em cada perfil foi realizada com o auxílio do professor Edgardo R. Medeiros (professor titular do departamento de Geociências da UFSM), sendo apresentada na tabela a seguir:

Tabela 1. Descrição dos materiais observados na base dos perfis de solo coletados

<b>Amostra</b>	<b>Descrição</b>
<b>P 11 RS</b>	Arenito fino a médio, quartzoso, acinzentado/esbranquiado (reduzido) com feições avermelhadas (zonas de oxidação), não reagente a HCl, aparentemente sem estrutura (possivelmente destruída), permeável. Sedimentos das formações Santa Maria e/ou Sanga do Cabral
<b>P 12 RS</b>	Arenito fino, avermelhado, apresentando micas pequenas e bem distribuídas, reagente ao HCl evidenciando a presença de carbonatos, com pouco e finos recobrimentos escurecidos reagente à H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> constatando óxido de manganês. Possivelmente sedimentos da base da formação Santa Maria (Membro Passo das Tropas) e/ou parte superior da formação Sanga do Cabral.
<b>P 13 RS</b>	Arenito fino a muito fino, sem estrutura pouco argiloso, rosa esbranquiado, aparentemente quartzoso, já bastante lixiviado, bem litificado (endurecido). Sedimentos das formações Santa Maria e/ou Sanga do Cabral.
<b>P 51 RS</b>	Nível de material arenoso médio a grosseiro, finamente e pouco micáceo, contendo além dos clastos de quartzo pequenos fragmentos de troncos (0,5 cm). Alteração de sedimentos retrabalhados da formação Sanga do Cabral
<b>P 16 RS</b>	Níveis conglomeráticos algumas vezes atingindo 0,5 m de espessura, cujos clastos são compostos por concreções arredondadas de tamanhos diversos, discoides e irregulares de quartzo cimentados por carbonatos (glébulos), intercaladas com argilitos (clayballs) e arenitos da formação Sanga do Cabral. Presença de micas (biotita e muscovita) bem visíveis (≈ 2mm), distribuídas nas diferentes fases da rocha.
<b>P 17 RS</b>	Arenito médio, amarelado, quartzoso, pequenos e poucos feldspatos alterados, pouco cimentado, aparentemente sem estrutura (possivelmente destruída), permeável, argiloso, possivelmente caulínico. Produto da alteração de arenito da formação Sanga do Cabral.
<b>P 50 RS</b>	Arenito médio, quartzoso e feldspático já em estágio de alteração avançado (presença de caulinita), estrutura fortemente laminado (estratificação fina), pouco micáceo, proveniente de ambiente fluvial. Não foi possível identificar a formação geológica da qual estes sedimentos são provenientes.

De acordo com a descrição realizada a campo, as rochas subjacentes aos perfis de solo são constituídas por arenitos, já em processo de alteração avançado, com colorações distintas (acinzentado, vermelho, amarelo, e rosáceo), de constituição mineralógica variável, predominantemente quartzosa, micácea (P 12 RS, P 51 RS, e P 16 RS), feldspática (P 17 RS e P 50 RS), podendo apresentar carbonatos como agente cimentante (P 12 e P16).

Fazendo uma comparação à descrição realizada pela CPRM (2006), o material descrito sob os perfis 11 RS e 13 RS apresentam características correspondentes à material da formação Santa Maria, enquanto o perfil 12 RS,

faz correspondência com a caracterização descrita para a formação Sanga do Cabral.

O perfil 50 RS, que corresponde à formação Sanga do Cabral no mapa geológico da CPRM (2006), apresentou características semelhantes à fácies inferior desta formação descrita por Soares (2008), enquanto o perfil 16 RS, também descrito sobre a formação Sanga do Cabral, apresenta características descritas semelhantes à fácies superior desta formação, desenvolvido sobre afloramento de arenito laminados, conglomerático, típico de ambiente fluvial.

Os perfis 17 RS e 51 RS, apesar de apresentarem colorações diferenciadas (acinzentado e avermelhado respectivamente), devido às condições de drenagem, apresentaram composição mineralógica semelhante, porém distinta dos demais perfis e da descrição referente à formação Pirambóia (CPRM, 2006). Apesar de o mapa geológico apresentar uma grande área estabelecida por esta formação na região da Depressão Central, a localização desta formação, não é consenso entre os pesquisadores. O desenvolvimento do perfil 17 RS sobre superfície próxima à drenagem, pode também, ter recebido contribuição de material aluvial. Suspeita-se que, outras formações além da formação Sanga do Cabral, podem ter contribuído para dar origem a esses solos (formação Guará ou formação Santa Maria - membro Passo das Tropas).

Além da descrição dos materiais sedimentares encontrados na base dos perfis, foram realizadas análise mineralógicas (Difratometria de Raio X-DRX) e químicas (Fluorescência de Raio X – FRX) das amostras totais das rochas de cada um dos perfis analisados.

Os difratogramas mostraram a predominância de quartzo em todas as amostras analisadas. Argilominerais 2:1, micas, caulinitas, feldspatos, e piroxênios também foram verificados em algumas amostras e em menor expressão (Figura 9).

Segundo a mineralogia, é possível identificar dois grupos distintos: o primeiro, composto pelas amostras P12 e P16, apresentando mineralogia 2:1, micas, feldspatos e piroxênios com intensidades diferentes; e o segundo, reunindo as demais amostras, apresentando mineralogia predominantemente quartzosa, com poucos indícios de outros minerais além da caulinita (P 13 RS)



e feldspatos com menor expressão (P 11 RS, P 17 RS e P 50 RS). A amostra referente ao P17 RS também apresentou um leve indício de mineralogia 2:1 com um reflexo em  $d=1,5$  nm.

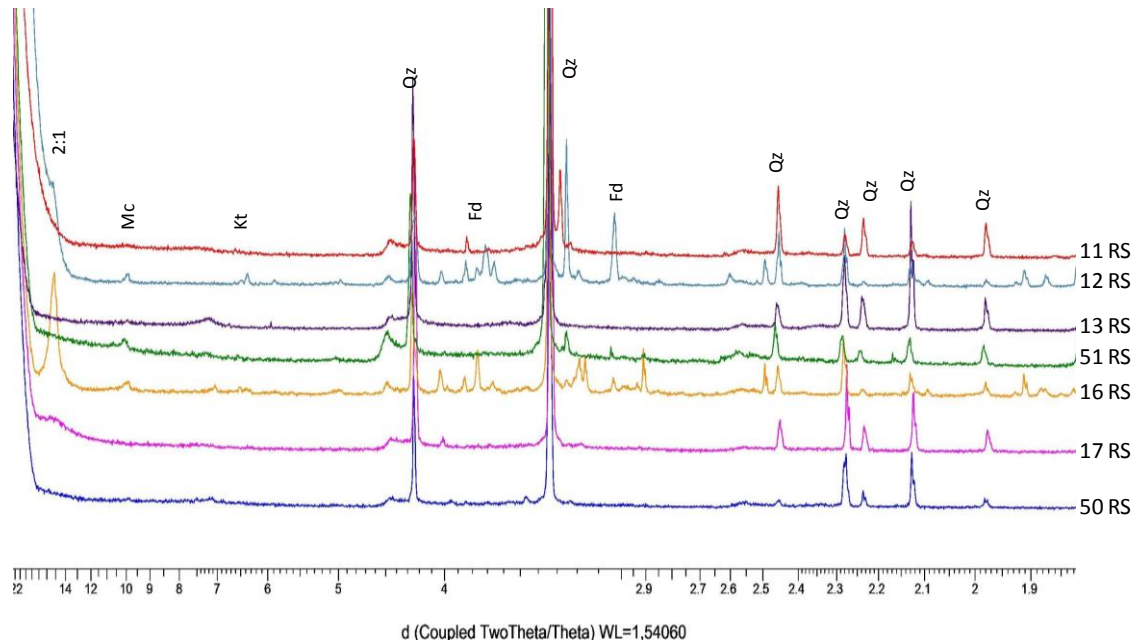


Figura 9: Difratomogramas da fração TFSA dos materiais (rochas) coletados na base dos perfis de solo avaliados analisados na forma de pó. 2:1 – argilominerais 2:1; Mc – micas; Kt – caulinita; Qz – quartzo; Fd – feldspato.

A análise de Fluorescência de raio X (FRX), quantifica os teores totais dos elementos presentes as amostras. Na tabela 2 são apresentados os teores dos elementos maiores, constituintes de cada rocha analisada, expressos na forma de óxidos.

Segundo a composição química das amostras analisadas houve grande variação nos constituintes dos materiais base de cada perfil. Os constituintes que apresentaram as maiores variações foram:  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ , e com maior expressividade o  $CaO$ .

Os teores de  $SiO_2$  apresentaram as maiores diferenças entre todos elementos avaliados. Os teores de  $Al_2O_3$  foram variáveis definindo dois grupos: um com altos teores ( $>20\%$ ) e outro com baixos teores ( $<13\%$ ), sendo que, deste último os perfis 12 RS e 16 RS juntamente com o P 17 se diferenciaram compondo o grupo com baixos teores de  $Al_2O_3$ . Os teores de  $Fe_2O_3$ , também

apresentaram grande variação, separando os perfis 12 RS, 16 RS e 50 RS, com os maiores teores. A diferença mais expressiva foi observada no CaO, que apresentou valores consideravelmente maiores nos perfis 12 RS e 16 RS. MgO, e K<sub>2</sub>O apresentaram comportamento semelhante com os mais altos teores observados no perfis 11 RS, 12 RS, 51 RS e 16 RS. Os teores de MnO foram elevados na amostra do perfil 12 RS.

Tabela 2 Teores totais dos elementos maiores dos materiais observados na base dos perfis de solo, obtidos pela técnica de Fluorescência de raios-X.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
	%								
<b>11 RS</b>	72,210	21,280	2,366	0,571	0,263	0,621	2,032	0,472	0,006
<b>12 RS</b>	49,241	11,015	4,352	0,762	29,345	1,162	2,655	0,474	0,280
<b>13 RS</b>	74,082	21,710	1,381	0,321	0,222	0,556	1,078	0,500	0,009
<b>51 RS</b>	69,138	20,353	5,037	0,569	0,318	1,315	2,454	0,492	0,053
<b>16 RS</b>	60,707	12,966	4,138	1,062	15,719	1,419	2,964	0,556	0,089
<b>17 RS</b>	80,024	13,471	2,794	0,809	0,622	0,422	1,121	0,493	0,007
<b>50 RS</b>	72,666	20,185	3,688	0,425	0,259	0,544	1,603	0,425	0,018

De modo geral, as amostras dos perfis que mais se assemelharam apresentando os maiores teores de soma de todas as bases (SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, e K<sub>2</sub>O) foram os perfis 12 RS e 16 RS, os quais já haviam sido diferenciados dos demais também pela mineralogia.

Visto que as informações coletadas a campo, juntamente com as informações mineralógicas e químicas não foram condizentes com as informações do mapa geológico (CPRM, 2006), o material de origem será tratado apenas como rochas sedimentares seguido das características predominantes apresentadas por cada uma das amostras. Esta dificuldade na identificação e diferenciação dos materiais de origem revela a importância da integração de diferentes áreas (Pedologia-Geologia) para o entendimento das variações observadas entre perfis de solo. Além disso, é importante salientar que para levantamentos de solos e estudos pedogênicos, seria muito interessante haver informações da geologia superficial, visto que na superfície os materiais são muito instáveis, susceptíveis à influência de outros fatores como clima e o relevo, principalmente quando se trata de materiais de origem sedimentar.

## 4.2 Caracterização morfológica e química do complexo sortivo e composição granulométrica dos solos

Os solos investigados foram descritos e coletados às margens da RS 158, sentido Santa Maria-Rosário do Sul. As cotas altimétricas variaram entre 87 a 143 m, com declividade aproximada de 3 %, sendo descritos perfis em distintas posições na paisagem. Todos os perfis de solo ocorrem sob vegetação natural de campo nativo, tendo como usos atuais pastagem e lavoura.

Os perfis foram descritos em distâncias variáveis entre eles, sendo alguns desenvolvidos no mesmo segmento de paisagem. As principais diferenças foram observadas na profundidade e sequência de horizontes, coloração e drenagem do perfil, e na caracterização do complexo sortivo. Dos sete perfis avaliados, a predominância foi de solos das ordens dos Argissolos, sendo também descritos Planossolo, Luvisolo e Plintossolo.

A descrição completa dos perfis investigados encontra-se nos apêndices (A-G). Neste item, será apresentada uma síntese das características morfológicas, químicas e granulométricas de cada perfil.

### 4.2.1 Perfil 11 RS

O perfil 11 RS situa-se a 103 m de altitude, em posição de sopé coluvial com 3% de declividade e drenagem classificada como moderada a imperfeita. O material de origem é composto da alteração de sedimentos das formações Santa Maria e/ou Sanga do Cabral. A cobertura do solo é composta por gramíneas nativas e o relevo classificado como suave ondulado. Na figura 10 se observa o perfil de solo, suas características morfológicas, a rocha, substrato de desenvolvimento do perfil coletada *in situ*, e a paisagem de ocorrência do perfil.



Figura 10: Perfil de solo, rocha alterada coletada *in situ*, e vista geral da localização do perfil 11RS.

Na tabela 3 são apresentadas as principais características morfológicas dos perfis estudados. O perfil 11 RS. é profundo (160+ cm), o que indica uma intensa atuação dos processos pedogenéticos (Schneider et al., 2007). Apresenta sequência de horizontes A, BA, B1, B2 e C, e variação da cor ao longo do perfil, com colorações brunadas nos horizontes mais superficiais, A e BA, proporcionadas pela matéria orgânica. Os horizontes subsuperficiais (B1 e B2) apresentaram cores variegadas com matriz acinzentada e mosqueados avermelhados, característica de horizontes que apresentam restrições de drenagem. Os mosqueados avermelhados constatados nesses horizontes podem ser destacados da matriz com certa dificuldade, não permitindo uma definição clara sobre a origem dos mesmos nem sua caracterização como plintitas. Segundo Coelho e Vidal Torrado (2003); Miguel, et al., (2013) os mosqueados/nódulos podem ser formados pela segregação de compostos de ferro ou ser remanescentes do material de origem. A ocorrência dessas feições será discutida no item 4.8.

Tabela 3 Características morfológicas descritas nos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria RS.

Hz.	Prof.	Cor úmida (variegada); classe textural; estrutura
<b>11 RS</b>		
A	0-40	10 YR 3/3; areia/ franco arenosa; moderada, média; blocos subangulares
BA	40-62	10 YR 3/3; franco argiloso; moderada, média, grande, blocos subangulares
B1*	62-88	10 YR 4/3 e 10 R 4/6**; argila; moderada forte; média/ grande; blocos subangulares
B2*	88-112	10 YR 4/2 e 2,5 YR 4/8**; argilo arenosa; moderada forte; grande; prismática que se desfaz em blocos subangulares
C	112-160+	Franco argilosa; dura/firme
<b>12 RS</b>		
A1	0-30	10 YR 2/1; franca; moderada; média a grande; granular
A2	30-60/65	10 YR 2/1; areia franca/ franco arenosa; fraca; pequena; blocos subangulares
E	60/65-80/85	10 YR 5/4; areia; fraca; pequena; blocos subangulares/ grão simples
Bt*	80/85-103/120	2,5 Y 5/3 e 10 R 4/8**; argila/muito argilosa; moderada forte; grande; blocos angulares
BC*	103/120-140	2,5 Y 6/2 e 2,5 YR 4/8**; franco/ franco argilosa; moderada forte; grande; blocos angulares
<b>13 RS</b>		
A1	0-30	10 YR 3/3; franco arenosa; fraca; pequena; grão simples/granular
A2	30-60/65	10 YR 3,5/3; franco arenosa; caráter fragipânico
E	60/65-80/85	10 YR 4/6; areia franca; caráter fragipânico
Bt1*	97-120	7,5 YR 3/4 e 7,5 YR 4/6**; argila; forte; média; blocos angulares
Bt2*	120-143/155	10 YR 4/4 e 2,5 YR 4/8**; argila; maciça
C	143/155-180+	10 YR 4/4 e 2,5 YR 3/6**-
<b>51 RS</b>		
A1	0-24	10 YR 3/3; areia franca; fraca; pequena/média; grão simples/ granular
A2	24-55/62	10 YR 3/3,5; areia franca; média que se desfazem em pequenos, grão simples
AB	55/62-77	7,5 YR 3/4; franco argilo arenosa; moderado; pequenos a médios; blocos subangulares
BA	77-99	7,5 YR 4/4; franco argilo arenosa; pequenos a médios; blocos subangulares
Bt1	99-135	2,5 YR 4/6 argilo arenosa; fortes; médio; blocos angulares
Bt2*	135-176	2,5 YR 4/8 e 10 YR 4/4**; argila; forte, pequenos a muito grandes; blocos subangulares,
Bt3*	176-200+	2,5 YR 3,5/6 e 2,5 Y 6/1**; argila; moderada; pequena a grande; blocos subangulares
C	-	-
<b>16 RS</b>		
A1	0-22	10 YR 3/2; franco arenosa; moderada; média; blocos subangulares
A2	22-50	10 YR 3/1; franco arenosa; maciça/moderada; média; blocos subangulares
AB	50-67/72	10 YR 3/2; argilo arenosa; forte; grande; blocos subangulares
Bt*	67/72-98	7,5 YR 5/4 e 2,5 YR 5/8**; argila; moderada, grande, colunar que pode se desfazer em grande e blocos subangulares
BC*	98-118	7,5 YR 6/6 e 5 YR 5/8**; argila; moderada; grande; colunar que pode se desfazer em grande e blocos subangulares
C	118-145+	5 YR 4/6; franco arenosa; moderada; grande; laminar/colunar
<b>17 RS</b>		
A1	0-27	10 YR 2/1; franco arenosa; fraca; pequena; granular
A2	27-48	2,5 Y 2,5/1; areia franca; fraca; pequena; blocos subangulares/granular
EA	48-68	2,5 Y 3/2,5; areia franca; maciça/fraca; média; blocos subangulares
E	68-87	2,5 Y 5/4; areia; maciça/fraca; média; blocos subangulares

Btg*	87-125	5 YR 6,5/1 e 5 YR 4/6**; argila; moderada; média; prismática/blocos subangulares
C	125-140+	2,5 Y/5,5/2; moderada; grande; laminar
<b>50 RS</b>		
A1	0-28	10 YR 3/2,5; areia franca; fraca; pequena; granular/blocos subangulares
A2	28-58/62	10 YR 3/2; areia franca; fraca; pequena; blocos subangulares
E	58/62-83	10 YR 3/3; areia franca; maciça a moderada; pequena; blocos subangulares
EB	83-92	7,5 YR 4/5; franco arenosa; maciça a moderada; pequena; blocos subangulares
Bt1*	92-102/110	10 YR 4/3 e 2,5 YR 4/7**; franco argilo arenosa; moderada; média; blocos subangulares
Btf*	102/110-190	10 YR 5/3 e 2,5 YR 3/6**; franco argilo arenosa; moderada; média; prismática/blocos subangulares
C	190-200+	5 YR 4/7 e 10 YR 5/2**-

Horizontes apresentando mosqueados \*\*cor do mosqueado;

De acordo com a granulometria apresentada na tabela 4, os materiais mais grosseiros, representados por calhaus e cascalhos, apresentaram baixa ocorrência contrastando com altas proporções da fração TFSA (acima de 97%). Este comportamento foi verificado para todos os perfis analisados. Nos horizontes superficiais os teores de areia total foram altos, reduzindo nos horizontes B, sendo o valor máximo observado no horizonte A ( $706 \text{ g kg}^{-1}$ ), e mínimo no horizonte B1 ( $540 \text{ g kg}^{-1}$ ). Os valores de silte foram baixos em todos os horizontes do perfil ( $\leq 56 \text{ g kg}^{-1}$ ). O comportamento da fração argila foi oposto ao da areia, aumentado até o horizonte B1, onde apresentou sua máxima expressão ( $440 \text{ g kg}^{-1}$ ), seguida de uma pequena redução dos valores dessa fração até o horizonte C.

O aumento do teor de argila em profundidade é um dos pré-requisitos para a identificação de um horizonte B textural. De acordo com SiBCS (2013), além de apresentar espessura do horizontes B suficiente para B textural, outras condições são necessárias para a identificação desse horizonte diagnóstico (horizonte E, mudança textural abrupta, relação textural e/ou cerosidade). Quando o requisito de mudança textural abrupta não for satisfeito, uma das condições a ser observada é a relação textural entre os horizontes B e seus horizontes subjacentes (EMBRAPA, 2013). O perfil 11 RS, além de não apresentar horizonte eluvial (E), não apresentar cerosidade, não satisfaz o critério de aumento nos teores de argila uma vez que a relação B/A exigida ( $> 1,7$ ) foi insuficiente ( $B/A = 1,61$ ).

Tabela 4 Caracterização granulométrica e grau de floculação, dos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria RS.

Símb.	Hz Prof.	Frações da Amostra Total (%)			Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Arg H <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> )	GF (%)
		Cal	Casc	TF	Areia	Silte	Argila		
<b>11 RS</b>									
A	00-40	-	0,1	99,9	706	39	255	60	76
BA	40-60	-	0,4	99,6	564	56	380	80	79
B1	62-88	-	0,3	99,7	540	21	440	100	77
B2	88-112	-	0,2	99,8	559	16	425	100	76
C	112-160+	-	0,2	99,8	574	16	410	80	80
<b>12 RS</b>									
A1	00-30	-	0,2	99,8	663	72	265	20	92
A2	30-60/65	-	0,1	99,9	646	115	240	30	87
E	60/65-80/85	-	1,1	98,9	701	100	200	60	70
Bt	80/85-103/120	-	0,5	99,5	297	163	540	140	74
BC	103/120-140	-	0	100	322	262	415	160	61
<b>13 RS</b>									
A1	00-17	-	0,5	99,5	791	9	200	30	85
A2	17-70	-	0,2	99,8	813	7	180	40	78
E	70-97	-	2,7	97,3	831	9	160	40	75
Bt1	97-120	-	2,4	97,6	480	20	500	100	80
Bt2	120-143/155	-	1,8	98,2	490	20	480	20	96
C	143/155-180+	-	0,9	99,1	-	-	-	40	-
<b>51 RS</b>									
A1	00-24	-	0,1	99,9	846	34	120	40	67
A2	24-55/62	-	0,1	99,9	769	31	200	100	50
AB	55/62-77	-	0,2	99,8	650	40	310	150	52
BA	77-99	-	1,5	98,5	633	17	350	130	63
Bt1	99-135	-	1,7	98,3	449	31	520	120	77
Bt2	135-176	-	1,6	98,4	521	19	460	20	96
Bt3	176-200+	-	1,6	98,4	496	65	440	20	95
Cr	-	-	0,8	99,2	586	14	400	20	95
<b>16 RS</b>									
A1	00-22	-	0,3	99,7	453	282	265	40	85
A2	22-50	-	0,1	99,9	530	210	260	50	81
AB	50-67/72	-	0,2	99,8	437	297	265	90	66
Bt	67/72-98	-	0	100	214	337	450	160	64
BC	98-118	-	1,7	98,3	296	352	340	140	59
C	118-145+	-	0,2	99,8	329	496	170	50	71
<b>17 RS</b>									
A1	00-27	-	0,2	99,8	661	129	210	20	90
A2	27-48	-	0,1	99,9	693	107	200	20	90
EA	48-68	-	0,6	99,4	706	114	180	30	83
E	68-87	-	0	100	700	140	160	40	75
Btg	87-125	-	0,8	99,2	406	163	430	100	77
C	125-140+	-	0,4	99,6	488	242	270	160	41
<b>50 RS</b>									
A1	00-28	-	0,2	99,8	739	41	220	30	86
A2	28-58/62	-	0	100	697	63	240	80	67
E	58/62-83	-	2,1	97,9	679	85	235	90	62
EB	83-92	-	0,8	99,2	606	99	295	120	59
Bt1	92-102/110	-	0,4	99,6	410	75	515	150	71
Btf	102/110-190	-	0,3	99,7	439	66	495	150	68
C	190-200	-	0,7	99,3	588	47	365	140	62

Cal= Calhaus (>25mm); Casc= cascalho(25-2mm); TF= Terra fina(< 2 mm); Areia (2,00-0,05mm); Silte (0,05-0,002mm); Argila(<0,002mm); Arg H<sub>2</sub>O= Argila Dispersa em água; GF= Grau de Floculação.

Tabela 5 pH em água e pH em sal, teores de carbono e caracterização do complexo sortivo dos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria RS.

Hz	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	T	ATA	V	m
			%							cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				%
<b>11 RS</b>														
A	4,6	3,8	0,39	2,2	4,5	0,7	0,1	0,01	0,07	0,9	5,4	21	17	71
BA	4,6	3,7	0,43	5,1	7,3	1,0	0,2	0,02	0,10	1,3	8,6	23	15	80
B1	4,6	3,6	0,32	6,1	8,1	0,9	0,2	0,03	0,10	1,2	9,3	21	13	84
B2	4,6	3,7	0,32	6,5	7,7	1,0	0,2	0,03	0,10	1,3	9,0	21	14	83
C	4,7	3,7	0,22	6,6	7,6	1,4	0,5	0,04	0,13	2,1	9,7	24	22	76
<b>12 RS</b>														
A1	4,5	3,7	1,40	2,6	6,4	1,6	0,3	0,03	0,13	2,1	8,5	32	25	55
A2	4,7	4,0	0,93	3,3	6,8	1,4	0,2	0,03	0,06	1,7	8,5	35	20	66
E	4,8	3,9	0,21	1,9	3,1	1,2	0,2	0,03	0,05	1,5	4,6	23	33	56
Bt	5,2	3,5	0,39	9,1	11,1	11,0	1,2	0,57	0,22	13,0	24,1	45	54	41
BC	5,6	3,5	0,24	4,0	6,1	18,0	2,0	0,80	0,25	21,1	27,2	66	78	16
<b>13 RS</b>														
A1	4,8	3,9	1,00	0,6	3,6	1,2	0,8	0,01	0,26	2,3	5,9	30	39	21
A2	4,6	3,8	0,32	1,0	2,6	0,4	0,1	0,01	0,08	0,6	3,2	18	19	63
E	4,7	3,9	0,31	0,8	1,7	0,2	0,1	0,01	0,03	0,3	2,0	13	15	73
Bt1	4,7	3,6	0,46	4,1	6,3	1,4	0,7	0,02	0,11	2,2	8,5	17	26	65
Bt2	4,6	3,6	0,24	4,4	5,9	1,4	0,7	0,01	0,11	2,2	8,1	17	27	67
C	4,6	3,7	0,23	3,7	4,6	1,0	0,7	0,01	0,08	1,8	6,4	-	28	67
<b>51 RS</b>														
A1	5,5	4,9	0,44	0,0	1,5	1,4	0,7	0,01	0,18	2,3	3,8	32	61	0
A2x	4,8	3,8	0,33	0,8	2,7	0,9	0,2	0,01	0,20	1,3	4,0	20	33	38
AB	4,6	3,6	0,39	1,8	4,6	1,1	0,3	0,01	0,08	1,5	6,1	20	25	55
BA	4,5	3,6	0,41	2,0	4,7	1,2	0,3	0,01	0,07	1,6	6,3	18	25	56
Bt1	4,5	3,6	0,41	2,4	5,2	1,1	0,8	0,01	0,10	2,0	7,2	14	28	55
Bt2	4,7	3,6	0,28	2,1	4,3	1,1	0,8	0,01	0,10	2,0	6,3	14	32	51
Bt3	4,7	3,6	0,29	2,2	3,9	1,1	0,8	0,01	0,12	2,0	5,9	13	34	52
CR	4,8	3,6	0,14	1,9	3,4	1,0	0,7	0,01	0,10	1,8	5,2	13	35	51
<b>16 RS</b>														
A1	4,8	3,9	1,30	1,3	6,3	5,1	0,3	0,04	0,08	5,5	11,8	45	47	19
A2	5,0	3,9	1,60	0,9	4,7	5,2	0,2	0,04	0,06	5,5	10,2	39	54	14
AB	5,6	4,4	0,48	0,0	2,1	8,4	0,4	0,07	0,11	9,0	11,1	42	81	0
Bt	6,0	4,6	0,28	0,0	1,8	20,6	1,3	0,20	0,24	22,3	24,1	54	93	0
BC	6,1	4,8	0,13	0,0	1,6	20,9	1,4	0,22	0,20	22,7	24,3	71	93	0
C	6,5	5,3	-	0,0	0,4	20,7	1,3	0,23	0,16	22,4	22,8	134	98	0
<b>17 RS</b>														
A1	4,7	3,9	0,85	1,7	6,9	1,7	0,4	0,04	0,17	2,3	9,2	44	25	43
A2	4,8	4,0	0,35	1,8	6,1	0,5	0,1	0,02	0,04	0,7	6,8	34	10	72
EA	4,6	4,0	0,33	1,8	4,0	0,4	0,1	0,01	0,03	0,5	4,5	25	11	78
E	4,8	4,0	0,17	1,1	2,3	0,3	0,1	0,02	0,02	0,4	2,7	17	15	73
Btg	5,1	3,6	0,20	6,7	8,7	4,4	0,8	0,27	0,14	5,6	14,3	33	39	54
C	5,4	3,4	0,17	3,6	4,3	6,1	1,1	0,40	0,14	7,7	12,0	44	64	32
<b>50 RS</b>														
A1	4,4	3,6	0,98	1,8	5,1	0,6	0,2	0,03	0,05	0,9	6,0	27	15	67
A2	4,6	3,9	0,44	2,3	4,2	1,0	0,2	0,03	0,04	1,3	5,5	23	24	64
E	4,8	3,7	0,39	2,0	4,8	0,8	0,2	0,02	0,03	1,1	5,9	25	19	65
EB	4,5	3,6	0,56	2,7	6,9	0,7	0,3	0,02	0,04	1,1	8,0	27	14	71
Bt1	4,4	3,7	0,33	6,8	7,3	1,1	0,6	0,04	0,09	1,8	9,1	18	20	79
Btf	4,5	3,6	0,25	8,0	8,9	1,0	0,8	0,04	0,10	1,9	10,8	22	18	81
C	4,6	4,3	0,39	7,6	8,4	1,4	1,1	0,06	0,11	2,7	11,1	30	24	74

S= Soma de bases; T = Capacidade de Troca de cátions a pH 7,0; ATA= Atividade da fração Argila; V = Saturação de bases; m = saturação por alumínio.



Com base na cor dominante da matriz do horizonte B aliado à presença de mosqueados, o horizonte diagnóstico subsuperficial foi identificado como glei.

Na tabela 5, onde são apresentados os constituintes do complexo sortivo desse solo, observamos que os teores de carbono configuram solos com baixos teores de matéria orgânica (CQFS, 2004). Ainda, segundo a CQFS (2004) os valores de pH natural foram muito baixos (inferiores a 4,7), porém, superiores aos valores de pH em sal, indicando predomínio de carga superficial líquida negativa em todo o perfil.

O alumínio trocável foi detectado em todos os horizontes com expressivo aumento nos horizontes subsuperficiais ( $> 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Os valores de Ca e Mg foram baixos segundo CQFS (2004), indicando a baixa reserva de nutrientes nestes solos. Os valores de atividade da fração argila foram inferiores a  $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , indicando solo com argila de atividade baixa (EMBRAPA, 2013), entretanto foram superiores a  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , portanto bem superiores ao valor atribuído às caulinitas indicando provável contribuição de minerais 2:1.

Observando os valores de alumínio trocável, aliados a atividade da fração argila (ATA), saturação por alumínio e a saturação por bases do perfil 11 RS, foi definido o caráter alítico.

Considerando os dados morfológicos, físicos e químicos, o perfil 11 RS foi classificado como **GLEISSOLO HÁPLICO Alítico argissólico**, A moderado, Tb, textura arenosa/média/argilosa, vegetação campo subtropical úmido, relevo suave ondulado. Entretanto, ressalta-se a ocorrência de feições morfológicas de segregações de óxidos de ferro, em 20% do volume dos horizontes subsuperficiais. Estas feições não foram enquadradas como plintitas após a realização do teste específico proposto por Jacomine (2010) adaptado de Daniels (1978) o qual não permitiu a individualização dessas estruturas. Em se considerando as segregações como plintitas, o perfil 11 RS seria classificado como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alítico típico, A moderado, Tb, textura arenosa/média/argilosa, vegetação campo subtropical úmido, relevo suave ondulado.

#### 4.2.2 Perfil 12 RS

O perfil 12 RS está localizado na mesma topossequência do perfil 11 RS, distanciado deste em 1.430 m. Situa-se a 108 m de altitude, em posição de meia encosta, com 2% de declividade e drenagem classificada como moderada a imperfeita. O material de origem foi descrito como produto da alteração de sedimentos da base da formação Santa Maria (Membro Passo das Tropas) e/ou da parte superior da formação Sanga do Cabral. A cobertura do solo é composta por gramíneas nativas e o relevo, local e regional, classificado como suave ondulado. Na figura 11 é possível observar o perfil de solo, suas características morfológicas, a rocha, substrato de desenvolvimento do perfil coletada *in situ*, e a paisagem de ocorrência do perfil.

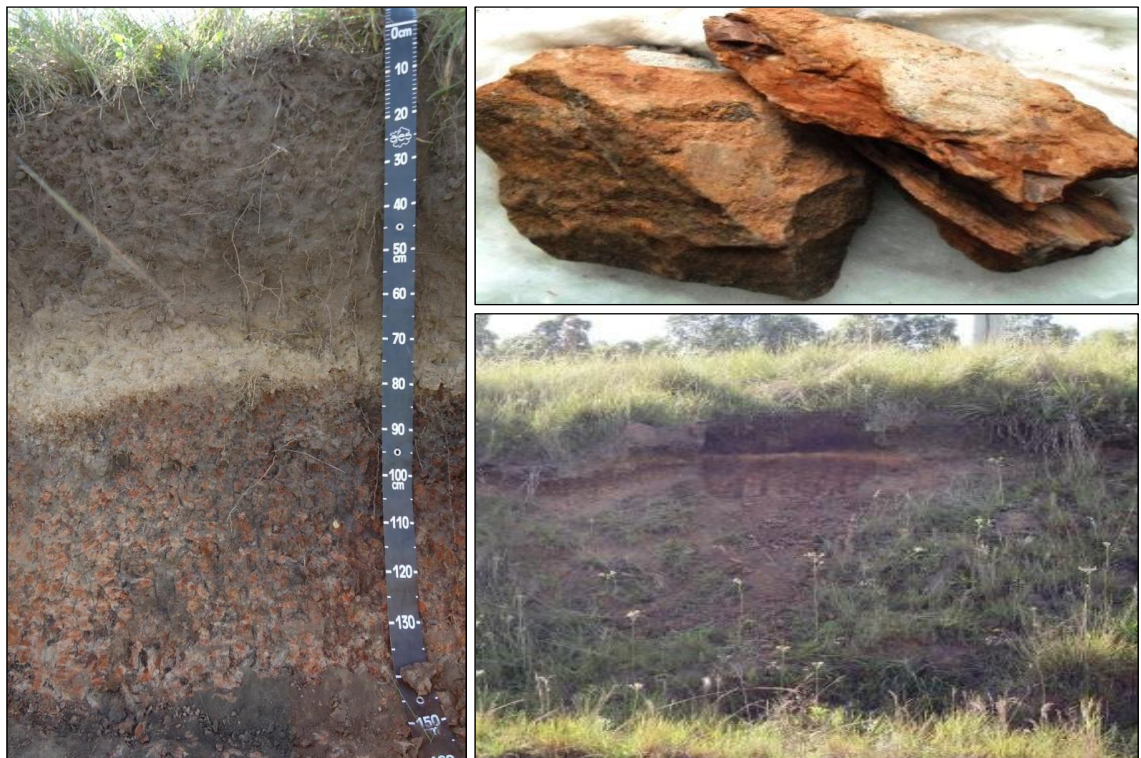


Figura 11: Perfil de solo, rocha alterada coletada *in situ*, e vista geral da localização do perfil 12RS.

Trata-se de um solo profundo (140+ cm), com sequência de horizontes A1, A2, E, Bt e BC, diferenciando do perfil 11 RS principalmente pela ausência de horizonte transicional, e pela presença de horizonte eluvial (E)

(Tabela 1). Apresentou variação da cor ao longo do perfil, com colorações brunadas nos horizontes superficiais (A), seguido de horizonte E de coloração clara, e horizontes subsuperficiais (B) com cores variegadas (matriz acinzentada e mosqueados avermelhados). Nesse perfil, a frequência de segregações foi maior, além dessas apresentarem maior quantidade e tamanho que o perfil 11 RS, indicando uma maior ocorrência de períodos de oxidação nesses horizontes subsuperficiais. Da mesma forma que o perfil 11 RS, os testes para a identificação de plintita nas segregações resultaram numa desagregação quase completa do material, descartando a presença de plintitas nesse solo.

O perfil graduou das classes franca, areia franca e areia nos horizontes superficiais, para argila/muito argilosa no horizonte B, com presença de mudança textural abrupta. Quanto à estrutura, foram observados horizontes mais estruturados em profundidade, com a formação de blocos angulares com grau de desenvolvimento forte. Nos horizontes superficiais, o padrão de arranjo das partículas foi granular (A1), blocos subangulares (A2) e blocos subangulares/grãos simples no horizonte E. Nos horizontes superficiais (A + E) as unidades estruturais apresentaram grau de desenvolvimento moderado e fraco, enquanto nos horizontes mais profundos a estrutura se manifestou como moderada forte. Também foi verificado o aumento das dimensões dos agregados, em profundidade (de blocos subangulares pequenos, para blocos angulares grandes).

O comportamento da areia em profundidade foi semelhante ao perfil 11 RS, distinguindo-se os solos apenas nos valores de silte, os quais foram superiores, embora não muito expressivos. Os teores de areia apresentaram grande amplitude, variando de 297 g kg<sup>-1</sup> (horizonte Bt) a 701 g kg<sup>-1</sup> (horizonte E) (Tabela 4). As características de textura, forma e grau de desenvolvimento das estruturas, indicam a vulnerabilidade destes horizontes superficiais, principalmente a processos erosivos.

Em relação à fração argila, também foram verificados menores teores nos horizontes superficiais e acumulação nos horizontes subsuperficiais. A amplitude dos teores de argila também foi expressiva, com valores variando de 200 g kg<sup>-1</sup> (horizonte E) a 540 g kg<sup>-1</sup> (horizonte Bt). O aumento de argila em profundidade, aliada a presença de horizonte eluvial (E), mesmo sem a

verificação de cerosidade, caracteriza horizonte diagnóstico do tipo B textural. A origem desses horizontes Bt ainda será discutida ao longo dos resultados com o auxílio de outras análises.

Os teores de carbono configuram um solo com baixo teor de matéria orgânica (Tabela 5). Os valores de pH em água foram baixos nos horizontes superficiais (CQFS, 2004), porém aumentaram em subsuperfície. Nesse perfil, os valores de pH em KCl também foram inferiores ao pH em água revelando a predominância de carga líquida negativa.

O alumínio trocável foi detectado em todos os horizontes, porém com valores muito altos no horizonte Bt ( $9,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Em alguns solos desenvolvidos de material de origem sedimentar no estado do Acre, foi constatado que a maior parte do Al resultante da análise do complexo de troca deve ser constituído de Al presente na entrecamada dos argilominerais do tipo 2:1 extraída pelo KCl (Anjos et al., 2013, Bernini et al., 2013). Ainda segundo Cunha et al (2014), avaliando solos dos estados do RS, SC, AC, BA e PE, a alta concentração Salina da solução de KCl dissolve parcialmente esmectitas, superestimando as formas trocáveis do alumínio, principalmente nos horizontes subsuperficiais. Também foram observados altos teores de Ca e Mg nesses horizontes. No momento da descrição a campo, foram observados pequenos nódulos/concreções esbranquiçadas reagentes ao ácido clorídrico na base do perfil (Apêndice B).

Dois hipóteses foram levantadas como possível explicação para essa condição: a dissolução de sais dos horizontes mais superficiais e até mesmo de outros pontos em posições mais elevadas na paisagem, ocorrendo a reprecipitação desses sais solúveis na forma de carbonatos de cálcio nessa porção mais inferior; ou o desenvolvimento do perfil sobre um ponto localizado do material de origem rico nesses compostos, possivelmente acumulados em condição lacustre-fluvial. De acordo com a avaliação do material de origem apresentada no item anterior, acredita-se que pelos altos teores de CaO revelados pelo material coletado na base do perfil (Tabela 1), os altos valores de Ca nos horizontes subsuperficiais do perfil são provenientes do material formador do solo. Além de altos teores de Ca e Mg, foi o perfil que apresentou os maiores teores de sódio nos horizontes subsuperficiais ( $0,57 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Entretanto, analisando os valores da saturação por sódio não foi verificado

caráter sódico nos horizontes com os mais altos valores desse elemento ( $\text{Sat Na}^+ = 2,36$  e  $2,94$  nos horizontes Bt e BC respectivamente  $\leq 15\%$ ).

Os dois horizontes mais profundos apresentaram saturação por bases maior que  $50\%$  sendo classificados como eutróficos. Todos os demais horizontes apresentaram baixa taxa de saturação por bases ( $< 33\%$ ) sendo então classificados com distróficos. Assim, mesmo observando valores expressivos de Al ( $> 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), a saturação por Al foi menor do que  $50\%$ , a atividade da fração argila foi maior que  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , e saturação por bases maior que  $50\%$  enquadrando este horizonte diagnóstico como eutrófico segundo SiBCS (Embrapa, 2013).

De acordo com os dados apresentados e com as especificações do SiBCS (EMBRAPA, 2103), o perfil apresentou horizonte diagnóstico superficial A moderado e horizonte subsuperficial B textural do tipo plânico por apresentar as características de estrutura e cor correspondentes a esta classe. Assim, o perfil 12 RS foi classificado como: **PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico êndico**, A moderado, Ta, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado. Também foram verificadas segregações de óxidos de ferro, em  $25\%$  do volume dos horizontes subsuperficiais as quais não foram enquadradas como plintitas após a realização do teste específico proposto por Jacomine (2010) e Daniels et al., (1978). Em se considerando as segregações como plintitas, o perfil 12 RS seria classificado como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical úmido, relevo suave ondulado.

#### 4.2.3 Perfil 13 RS

O perfil 13 RS está localizado na mesma topossequência dos perfis 11 RS e 12 RS, distanciado do perfil 12 RS em  $1.430 \text{ m}$ . Situa-se em posição mais alta em relação ao demais perfis já apresentados, a  $143 \text{ m}$  de altitude, em posição de interflúvio com  $3\%$  de declividade e drenagem classificada como bem drenado. É desenvolvido a partir da alteração de sedimentos das formações Santa Maria e/ou Sanga do Cabral. A cobertura do solo é composta

por gramíneas nativas e o relevo classificado como suave ondulado. Na figura 12 é possível observar o perfil de solo, suas características morfológicas, a rocha, substrato de desenvolvimento do perfil coletada *in situ*, e a paisagem de ocorrência do perfil.



Figura 12: Perfil de solo, rocha alterada coletada *in situ* e vista geral da localização do perfil 13RS.

O perfil 13 RS foi o perfil mais profundo da topossequência (180+ cm), com seqüência de horizontes A1, A2, E, Bt1, Bt2 e C, diferenciando-se do perfil 12 RS principalmente pela profundidade e pelas características de melhor drenagem. A cor apresentou variação entre os horizontes ao longo do perfil, com colorações mais claras em superfície, e avermelhadas nos horizontes subsuperficiais. Nesse perfil, a frequência de mosqueados no horizonte Bt foi menos expressiva (pequenos e bem distribuídos), sugerindo períodos de saturação hídrica menos intensos nesses horizontes subsuperficiais.

A textura ao longo do perfil foi semelhante ao perfil 12 RS, com baixa expressividade da fração argila nos horizontes superficiais (classes franca arenosa e areia franca), contrapondo a classe textural dos horizontes subsuperficiais (argila). O horizonte superficial (A1) apresentou estrutura em

grão simples e granular, esta possivelmente decorrente do efeito agregador da matéria orgânica. Os horizontes subjacentes apresentaram caráter fragipânico, caracterizado pela aparente cimentação e pela consistência dura desses horizontes quando secos. Apesar de apresentar estrutura organizada em blocos angulares com grau de desenvolvimento forte no horizonte Bt1, a estrutura do horizonte Bt2 foi identificada como maciça.

Este perfil apresentou os maiores teores de areia dentre os três perfis descritos nesta topossequência (Tabela 4). Aliado a isso, foi o perfil que apresentou os menores teores de silte. A amplitude nos teores de argila foi grande, variando de  $160 \text{ g kg}^{-1}$  (horizonte E) a  $500 \text{ g kg}^{-1}$  (horizonte Bt1). Nesse caso, o aumento de argila em profundidade, mais que triplicando o valor, aliada a presença de horizonte eluvial (E), e com expressão de cerosidade, caracterizou horizonte diagnóstico subsuperficial como B textural.

A caracterização do complexo sortivo revelou diferenças entre o perfil 13 Rs e os demais já avaliados. Os valores de pH em água foram muito baixos nos horizontes superficiais (CQFS, 2004), apresentando uma leve redução ao longo do perfil. Predominou carga líquida negativa, uma vez que os valores de pH em KCl também foram inferiores ao pH em água.

A análise do carbono configura um solo com baixo teor de matéria orgânica. Nesse perfil, também houve aumento nos teores de alumínio trocável ao longo do perfil, alcançando valores maiores que  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nos horizontes Bt, entretanto, diferentemente do perfil 12 RS os valores de Ca e Mg ao longo de todo o perfil foram baixos (Tabela 3), indicando que neste solo a mineralogia predominante não deve ser esmectítica e que o processo de ferrólise é pouco atuante devido a melhor drenagem deste perfil. Os valores de atividade da fração argila foram inferiores a  $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Embrapa, 2013) indicando argila de atividade baixa. Além disso, todos os horizontes apresentaram saturação por bases menor que 50 % sendo classificados como distróficos.

Com base nos valores de alumínio trocável, aliados a atividade da fração argila (ATA), saturação por alumínio e a saturação por bases do perfil 13 RS, foi definido caráter alumínico, pois além de valores de Al trocável maiores do que  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , foram observados valores de atividade da fração argila

menores do que  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , saturação por Al maior que 50 % e saturação por bases menor que 50 % SiBCS (Embrapa, 2013).

De acordo com todas as características avaliadas e com base no SiBCS (EMBRAPA, 2013) o perfil 13 RS apresentou horizonte superficial diagnóstico A moderado e horizonte subsuperficial diagnóstico B textural. Assim, o perfil 13 RS foi classificado como **ARGISSOLO AMARELO Alumínico abruptico**, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

Apesar de apresentar características morfológicas mais semelhantes ao perfil 12 RS, o perfil 13 RS apresentou características físicas e químicas mais condizentes ao perfil 11 RS. Nessa topossequência, além de variações causadas pelos processos pedogenéticos, há grande possibilidade de que variações no material de origem, mesmo em curtas distâncias podem estar afetando as características do solo.

#### 4.2.4 Perfil 51 RS

O perfil situa-se a 142 m de altitude, em posição de pedimento, na porção superior da encosta, e superfície côncava, com 3% de declividade e drenagem classificada como bem drenado. O material de origem foi descrito como produto da alteração de sedimentos retrabalhados da formação Sanga do Cabral. A cobertura do solo é de gramíneas cultivadas e o relevo classificado como suave ondulado. Na figura 13 é possível observar o perfil de solo, suas características morfológicas, a rocha, substrato de desenvolvimento do perfil coletada em afloramento próximo (50 m) ao local de descrição do perfil de solo, e a paisagem de ocorrência do perfil.

O perfil 51 RS apresentou a maior profundidade entre os perfis estudados (200 cm+). Por ser um perfil em posição de interflúvio, e conformação levemente côncava, predominando a drenagem vertical no perfil, justifica-se a maior profundidade observada. A sequência de horizontes foi A1, A2, AB, BA, Bt1, Bt2, Bt3, e C, evidenciando um perfil com mudanças graduais ao longo da sua profundidade, apresentando horizontes transicionais AB e BA e a ausência de horizonte E.



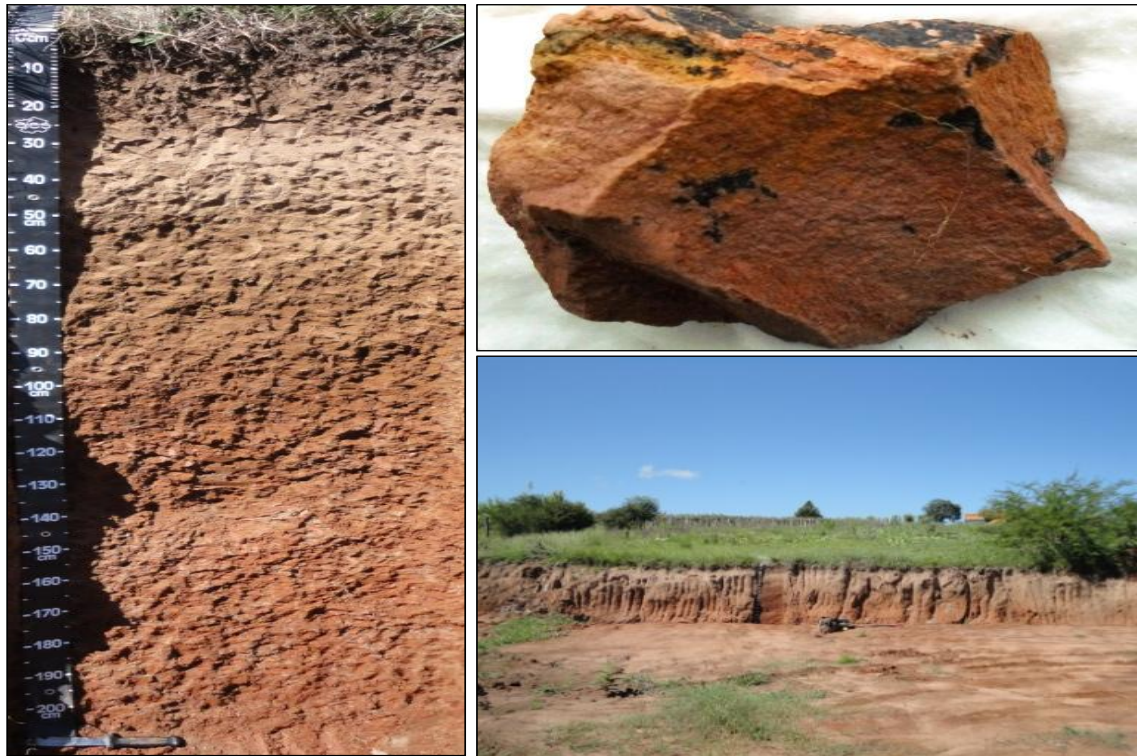


Figura 13: Perfil de solo, rocha coletada nas adjacências do perfil, e vista geral da localização do perfil 51RS.

A coloração apresentou variações ao longo do perfil com os horizontes superficiais mais brunados, aumentando as tonalidades vermelhas e amareladas em profundidade (Tabela 3). Nos horizontes transicionais e nos horizontes subsuperficiais (Bt) foram verificadas colorações mais amareladas descritas em 7,5 YR. Nos horizontes Bt foram verificados mosqueados pequenos e bem distribuídos com coloração mais amarelada (10YR e 2,5Y) que a matriz (2,5 YR). Apesar de ser um solo bem drenado, esses mosqueados podem ocorrer em zonas de redução proporcionadas pela retenção de água em sítios mais adensados dos horizontes de acúmulo de argila.

Os horizontes superficiais (A1e A2) apresentaram classe textural areia franca seguido pela redução da sensação das partículas mais grosseiras nos horizontes transicionais AB e BA (classe textural franco argilo arenosa). Nos horizontes de acúmulo (Bt), a textura foi descrita como argilo arenosa e argila, correspondendo à predominância de partículas finas.

Em relação à estrutura houve um aumento da agregação ao longo dos horizontes do perfil apresentando horizontes superficiais com padrão de

arranjo das partículas em grãos simples evoluindo para estrutura em blocos subangulares e blocos angulares nos horizontes subsuperficiais. De modo geral, nos horizontes mais superficiais as unidades estruturais apresentaram resistência fraca a moderada, enquanto nos horizontes mais profundos a estrutura se manifestou como moderada a forte. Em relação ao tamanho, foram observados agregados pequenos a médios nos horizontes superficiais e em profundidade houve aumento das dimensões dos agregados. Foram identificadas superfícies foscas, e ou brilhantes na superfície dos agregados dos horizontes A2 e AB.

A caracterização granulométrica do perfil é apresentada na tabela 4, onde novamente se verifica a predominância de materiais de tamanho inferior a 2 mm ( $TF > 98\%$ ). Os teores de silte são baixos ( $< 65 \text{ g kg}^{-1}$ ), e os teores de argila apresentaram um aumento em profundidade de maneira gradual até o horizonte Bt1, e depois reduzindo os valores até o horizonte C. Mesmo com um aumento nos teores de argila até o horizonte Bt1 não foi verificado indicativo de mudança textural abrupta. Ao calcularmos a relação textural para este perfil (relação  $B/A = 2,1$ ) verificamos que este requisito é atendido para a caracterização de um horizonte diagnóstico subsuperficial B textural (Embrapa, 2013).

Os teores de carbono foram baixos (Tabela 5), assim como também o valor do pH em água foi (CQFS, 2004). Apenas o horizonte superficial apresentou valor de pH médio em função de uma possível correção da acidez através da calagem, visto que o perfil foi descrito sobre uma área cultivada. Outro fator que corrobora com essa afirmação é a ausência de Al trocável nesses horizontes superficiais. Para este elemento, os valores, mesmo aumentando em profundidade, foram baixos. Ca e Mg apresentaram teores baixos nos horizontes superficiais e baixos e médio, respectivamente nos horizontes subsuperficiais (CQFS, 2004). Todos os horizontes apresentaram atividade de argila baixa (inferior a  $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e saturação por bases menor que 50 % (distrófico).

Nos horizontes diagnósticos B textural foram observados valores de Al trocável menores que  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , atividade da fração argila menor que  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , saturação por Al maior que 50 % e saturação por bases menor que 50 % definindo o solo como distrófico (Embrapa, 2013).

O perfil 51 RS foi classificado como **ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico** A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

#### 4.2.5 Perfil 16 RS

O perfil situa-se a 97 m de altitude, distanciado 8.600 m do perfil 51 RS, em posição de meia encosta, com 3% de declividade e drenagem classificada como moderada. O material de origem foi descrito como produto de alteração de níveis conglomeráticos compostos por concreções arredondadas (glébulos – grãos de quartzo cimentados com carbonatos), intercaladas com argilitos (clayballs) e arenitos da formação Sanga do Cabral. A cobertura do solo é composta por gramíneas nativas e o relevo local classificado como suave ondulado e regional ondulado. Na figura 14 é possível observar o perfil de solo, suas características morfológicas, as diferentes fases da rocha, substrato de desenvolvimento do perfil coletada *in situ*, e a paisagem de ocorrência do perfil.

O perfil 16 RS é profundo (145 cm+), tendo apresentando uma sequência de horizontes: A1, A2, AB, Bt, BC, e C. A coloração apresentou variações ao longo do perfil, com os horizontes superficiais brunados e aumentando as tonalidades amareladas em profundidade (Tabela 3). Nos horizontes subsuperficiais (Bt e C) foram verificadas colorações variegadas, com cor de fundo amareladas, e mosqueados muito pequenos e bem distribuídos com coloração avermelhadas (2,5 YR), os quais não puderam ser individualizados da matriz do solo.

Os horizontes superficiais (A1 e A2) apresentaram classe textural franco arenosa seguido pela redução da sensação das partículas mais grosseiras nos horizontes transicionais AB e BA (classe textural franco argilo arenosa). Nos horizontes de acúmulo (Bt), a textura foi descrita como argilo arenosa e argila, correspondendo à predominância de partículas finas.

Em conformidade aos outros perfis avaliados, houve um aumento da agregação ao longo do perfil, apresentando-se bem desenvolvida desde o horizonte superficial (blocos subangulares). Nos horizontes iluviais (Bt) a estrutura foi colunar, que se desfaz em blocos subangulares, sempre com

resistência moderada e de tamanho grande. Foi verificada cerosidade no horizonte Bt com expressão moderada e pouca.



Figura 14: Perfil de solo, diferentes fases do conglomerado que compõe o substrato do perfil de solo, e vista geral da localização do perfil 16 RS.

Na caracterização granulométrica apresentada na tabela 4, predominaram teores de areia menores do que no perfil 50 RS, porém os valores de silte foram muito maiores neste perfil, sendo os maiores valores observados entre os solos investigados (superiores a  $210 \text{ g kg}^{-1}$ ). A variação geológica que cada formação apresenta, composta por diferentes fácies, pode auxiliar na compreensão dessas variações expressivas nas frações do solo. Soares (2008) cita a Formação Sanga do Cabral composta por duas unidades: uma mais recente de origem fluvial e outra mais antiga de origem eólica o que justificaria essa variabilidade observada na granulometria entre os solos desenvolvidos desse material de origem.

Os teores de argila no perfil 16 RS aumentaram dos horizontes superficiais para os horizontes iluviais caracterizando mudança textural abrupta. Nesse perfil, além da relação textural (B/A) ter sido = 1,70, (suficiente

para classificação de horizonte B textural pelo critério de incremento de argila), a presença de cerosidade também fortaleceu o enquadramento do horizonte subsuperficial diagnóstico B como textural segundo Embrapa (2013). O grau de flocculação foi bastante variável entre horizontes reduzindo em profundidade.

Os valores de carbono orgânico foram baixos (CQFS, 2004), entretanto os valores de pH foram médios a altos para os horizontes subsuperficiais. Os valores de Al trocável foram nulos a partir do horizonte AB, sendo o único perfil onde não foi observado alumínio na forma trocável. Os teores de Ca e Mg foram altos para o Ca e médio e alto para o Mg (CQFS, 2004). Todos os horizontes do perfil 16 RS apresentaram argila de atividade alta (Ta), segundo SiBCS (EMBRAPA, 2013) com valores superiores a 27 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, e saturação por bases acima de 50 %, sendo assim classificado como eutrófico.

O perfil 16 RS foi classificado como **LUVISSOLO CRÔMICO Pálico típico**, A moderado, Ta, textura franco arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

#### 4.2.6 Perfil 17 RS

O perfil situa-se a 87 m de altitude, distanciado 3.000 m do perfil 16 RS, em posição de sopé coluvial, com 2 % de declividade, classificado como mal drenado. O material de origem é descrito como sendo o produto da alteração de arenito da formação Sanga do Cabral, não se excluindo contribuição de sedimentos aluviais recentes por se localizar nas proximidades e em cota similar ao leito de drenagem. A cobertura do solo é composta por gramíneas nativas e culturas anuais (soja), e o relevo classificado como suave ondulado. Na figura 15 é possível observar o perfil de solo, suas características morfológicas, a rocha alterada, substrato de desenvolvimento do perfil coletada *in situ*, e a paisagem de ocorrência do perfil.

O perfil de solo é profundo (140 + cm), apresentando sequência de horizontes A1, A2, EA, E, Btg e C. Apresentou coloração bem distinta entre os horizontes, sendo que os horizontes superficiais apresentaram cores brunadas, seguido de cores claras nos horizontes E, e acinzentadas nos horizontes Bt,

identificando ambiente de redução. Em contraponto, foram observados mosqueados avermelhados de tamanho médio e bem distribuídos, o que define lençol freático oscilante com zonas de oxidação.



Figura 15: Perfil de solo, rocha alterada coletada *in situ*, e vista geral da localização do perfil 17 RS.

Foi observada uma mudança expressiva na classe textural entre os horizontes superficiais e seus horizontes subjacentes, predominando a classe areia franca nos horizontes superficiais (A+E) e classe argila no horizonte B (Tabela 3). Quanto à estrutura, os horizontes superficiais foram descritos como organizados em blocos subangulares e granular, de tamanho pequeno a médio, aumentando a agregação das partículas com o aumento da profundidade (blocos subangulares e prismática). Os horizontes E apresentaram estrutura maciça de resistência fraca, sendo os demais horizontes enquadrados com resistência moderada. Em relação ao tamanho, em profundidade também houve aumento das dimensões dos agregados (de pequena para média e grande).

A caracterização granulométrica indicou grande variação nos teores de areia total ( $406 \text{ g kg}^{-1} \leq \text{areia} \leq 706 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 4). Em relação aos teores

de silte, os valores são equivalentes aos teores observados para esta fração no perfil 12 RS, porém menores que o perfil 16 RS, e altos quando comparados aos demais perfis. Os teores de argila também variaram ao longo do perfil oscilando entre  $160 \text{ g kg}^{-1}$  (horizonte E) a  $430 \text{ g kg}^{-1}$  (horizonte Btg).

Aliado a mudanças expressivas nos teores de argila ao longo do perfil (caracterizando mudança textural abrupta), a presença de horizontes E auxiliou na identificação de horizonte diagnóstico B textural. a cor de fundo acinzentada do horizonte B apresentou matiz 5YR com croma  $< 2$  (5 YR 6,5/2) (Apêndice F), caracterizando horizonte diagnóstico B plânico, visto que este tem precedência ao horizonte B textural.

O teor de carbono orgânico foi baixo (CQFS, 2004). Os valores de pH também foram classificados como baixos, porém maiores que os valores de pH em KCl, evidenciando a predominância de carga líquida negativa nesse perfil.

No horizonte subsuperficial, os valores de Al trocável e de Ca foram altos (CQFS, 2004), diferentemente dos horizontes superficiais desse perfil. Os teores de Mg também aumentaram em profundidade, sendo classificados como médio e alto segundo CQFS (2004). Os valores de Al, aliados ao valor da capacidade de troca de cátions e a saturação por bases do horizonte subsuperficial diagnóstico, indicam caráter alítico, pois além de valores de Al trocável maior que  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , foram observados valores de atividade da fração argila maior que  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , saturação por Al maior que 50 % e saturação por bases menor que 50 % (Embrapa, 2013).

O perfil 17 RS foi classificado como **PLANOSSOLO HÁPLICO Alítico gleissólico**, A moderado, Ta, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

#### 4.2.7 Perfil 50 RS

O perfil situa-se a 105 m de altitude, distanciado em 6.200 m do perfil 17 RS, em posição de pedimento na porção superior da encosta, desenvolvido sobre superfície convexa, com 2 % de declividade e classificado como bem a moderadamente drenado. O material de origem é composto por

rochas sedimentares quartzosas e feldspáticas já em estágio de alteração avançado (não foi possível chegar a uma conclusão da formação geológica da qual estes sedimentos são provenientes). A cobertura do solo é composta por gramíneas nativas e o relevo local classificado como suave ondulado e regional ondulado. Na figura 16 é possível observar o perfil de solo, suas características morfológicas, a rocha alterada, substrato de desenvolvimento do perfil coletada *in situ*, e a paisagem de ocorrência do perfil.

O solo é profundo (200+ cm), apresentando sequência de horizontes A1, A2, E, EB, Bt1, Btf, e C. O horizonte Btf, foi assim designado pela presença de material plíntico facilmente separado da matriz do solo, em volume de aproximadamente 25 %. Apresentou colorações brunadas nos horizontes superficiais e colorações avermelhadas nas camadas subsuperficiais. Os horizontes eluviais mantiveram colorações mais claras (valores e cromas maiores) em relação aos seus horizontes subjacentes proporcionadas pelo aumento na proporção da fração areia, ou pela menor quantidade de materiais pigmentantes que apresentam cor, como por exemplo, os óxidos de ferro.



Figura 16: Perfil de solo, rocha alterada coletada *in situ*, e vista geral da localização do perfil 50 RS.



O perfil manteve comportamento similar ao verificado em todos os demais perfis de solo avaliados, aumentando a expressão da argila ao longo do perfil (Tabela 3). A classe areia franca prevaleceu nos horizontes superficiais enquanto nos horizontes subsuperficiais a classe textural descrita foi argila. Nos horizontes superficiais a estrutura foi descrita como organizada em blocos subangulares e granular, de tamanho pequeno, aumentando a agregação das partículas com o aumento da profundidade para estruturas em blocos subangulares e prismática. Os horizontes E e EB apresentaram estrutura maciça. Nos horizontes superficiais, as unidades estruturais apresentaram resistência fraca a moderada, enquanto nos horizontes mais profundos a estrutura se manifestou apenas como moderada. Em relação ao tamanho, em profundidade, também houve aumento das dimensões dos agregados (de pequena para média).

Na caracterização granulométrica (Tabela 4), observou-se uma grande amplitude nos teores da fração areia ao longo do perfil ( $410 \text{ g kg}^{-1} \leq \text{areia} \leq 739 \text{ g kg}^{-1}$ ). Os valores de silte foram menores do que o perfil descrito anteriormente; com os teores aumentando até o horizonte EB, depois reduzindo novamente até os horizontes mais profundos. Os teores de argila foram variáveis, oscilando entre  $220 \text{ g kg}^{-1}$  no horizonte A1, a  $515 \text{ g kg}^{-1}$  no horizonte Bt1. O aumento nos teores de argila do horizonte EB para o horizonte Bt1 não caracterizou mudança textural abrupta, por apresentar incremento de argila em distância um pouco superior à 7,5 cm. Assim, avaliando outras características; verificamos que a presença horizonte E, bem como a alta relação textural foram suficientes para caracterizar um horizonte diagnóstico subsuperficial B textural, embora não apresentando cerosidade. Porém, apesar de satisfazer os quesitos para horizonte diagnóstico B textural, o horizonte B, apresentou plintita em quantidade superior a 15 % e requisitos de cor de matriz e mosqueados para ser classificado como horizonte plíntico, o qual tem precedência taxonômica sobre o B textural.

Os valores de pH foram baixos (CQFS, 2004), porém superiores aos valores de pH em KCl, predominando as cargas líquidas negativas. Os valores de carbono orgânico também foram classificados como baixos segundo CQFS, (2004). Para o Al na forma trocável, os teores dos horizontes subjacentes B foram altos (acima de  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Entretanto, neste perfil, diferentemente dos

perfis 16 RS e 17 RS, os teores de Ca, apesar de aumentarem em profundidade, foram classificados como baixos (CQFS, 2004). Os teores de Mg também aumentaram em profundidade sendo os horizontes subsuperficiais classificados como médios a altos segundo CQFS (2004).

Observando os valores de Al aliados ao valor da capacidade de troca de cátions e da saturação por bases desses horizontes, foi possível definir caráter alítico na maior parte do horizonte diagnóstico subsuperficial, pois além de valores de Al trocável maior que  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , foram observados valores de atividade da fração argila maior que  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , saturação por Al maior que 50 % e saturação por bases menor que 50 % SiBCS (Embrapa, 2013).

O perfil 50 RS foi classificado como **PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alítico espesso**, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

#### 4.2.8 Considerações gerais referentes à morfologia, química e granulometria de perfis desenvolvidos de material sedimentar.

Comparando todos os perfis avaliados nesse estudo, os solos foram profundos (140 a 200+ cm), com sequência de horizontes distintos, podendo apresentar ou não horizonte E, e horizontes transicionais (AE, EA, AB, e BA). Uma característica marcante em todos os perfis foi a espessura dos horizontes superficiais (A, A + E), variando de 40 cm a 92 cm com textura areia/areia franca/franco arenosa.

A cor variou entre horizontes e entre perfis, sendo verificadas colorações brunadas nos horizontes superficiais de todos os perfis, colorações mais claras nos horizontes eluviais e cores variegadas nos horizontes subsuperficiais, com mosqueados vermelhos e matriz vermelha, vermelha amarelada ou acinzentada de acordo com as condições de drenagem dos perfis (perfis bem drenados - coloração vermelhas, perfis imperfeitamente drenados/mal drenados - colorações acinzentadas). A presença de mosqueados, que caracterizam oscilação do lençol freático, foi verificada até mesmo nos perfis desenvolvidos em posições mais elevadas na paisagem em

menores quantidades, devido ao impedimento na percolação de água determinado pelo aumento nos teores de argila em subsuperfície.

De modo geral, os horizontes superficiais apresentaram textura predominantemente arenosa e estrutura granular com resistência fraca enquanto os horizontes subsuperficiais (B) revelaram maiores proporções de partículas finas com estrutura mais desenvolvida (prismática e blocos) e resistência moderada a forte. Os teores de silte se diferenciaram nos perfis 12 RS, 16 RS e 17 RS, sendo mais altos que nos demais perfis.

As características de profundidade, estrutura e resistência dos horizontes superficiais de todos os solos revelam solos muito susceptíveis à degradação principalmente por erosão hídrica. Além disso, esses horizontes superficiais apresentaram fertilidade muito reduzida, visto que são horizontes extremamente arenosos e com baixos teores de matéria orgânica.

Em relação à química, avaliando todos os perfis concomitantemente, observamos uma variabilidade muito grande principalmente em relação aos teores de Al trocável, Ca e Mg, refletindo em saturação por bases, saturação por alumínio, T muito distintas. De modo geral, todos os solos apresentaram reação do solo ácida, baixos teores de matéria orgânica e altos valores de alumínio trocável, principalmente nos horizontes subsuperficiais (exceção P 16 RS). Foram observados solos com caráter alítico, alumínico, eutrófico e distrófico evidenciando a grande variabilidade que ocorre no complexo sortivo desses solos geralmente relacionados às variações no material de origem.

#### **4.3 Índices de intemperismo (Ataque sulfúrico, extrações seletivas e relação silte:argila)**

A digestão sulfúrica, embora realizada na fração TFSA, é usada para estimar a composição elementar da fração argila, sendo os resultados expressos na forma de óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , e  $\text{MnO}$ ). Esses dados são utilizados para fornecer informações sobre relações moleculares (por exemplos os índices  $k_i$  e  $k_r$ ), que por sua vez indicam o estágio de desenvolvimento dos solos (Curi e Kämpf, 2012).

Os valores dos óxidos de silício, alumínio, ferro, titânio e manganês dos solos estudados, obtidos a partir da extração com ataque sulfúrico apresentaram grande amplitude tanto entre horizontes nos perfis, como entre os perfis (Tabela 6).

Os teores de óxidos de silício do ataque sulfúrico (Sis) variaram de 1,41 a 144,45 g kg<sup>-1</sup>, os teores de óxidos de alumínio (Als) variaram de 11,66 a 161,65 g kg<sup>-1</sup>, e os teores de óxidos de ferro (Fes) variaram de 5,21 a 33,69 g kg<sup>-1</sup>. Esses baixos valores de Sis, Fes e Als corroboram com os valores observados por Schiavo, et al., (2010) avaliando solos desenvolvidos de arenitos no Mato Grosso do Sul. De forma global, o que se observa é um aumento do topo para a base dos perfis com valores máximos nos horizontes B para os três elementos, reduzindo os teores nos horizontes C. Isso pode ser explicado pelos maiores teores de argila nos horizontes subsuperficiais (B), conforme se pode observar na tabela 7 através dos coeficientes de correlação entre os teores dos elementos e os teores de argila ao longo dos perfis. Os valores de ferro são considerados baixos, classificados como hipoférricos (EMBRAPA, 2013), representando menos de 80 g kg<sup>-1</sup> da composição da TFSA, devido à baixa concentração de ferro na constituição do material de origem (Tabela 2).

Os teores de óxidos de titânio e, principalmente de óxidos de manganês foram pouco expressivos em comparação aos outros elementos obtidos pelo ataque sulfúrico, sendo inferiores a 8,85 g kg<sup>-1</sup> e 0,47 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Os valores de TiO<sub>2</sub> e MnO foram maiores nos horizontes B acompanhando o aumento nos teores de argila ao longo dos perfis.

O índice ki é utilizado em vários sistemas de classificação para identificar horizontes diagnósticos e/ou discriminar solos das regiões tropicais bastante intemperizados (Oliveira, 2001). É empregado como indicador do processo de dessilicação, sendo uma medida indireta do grau de intemperismo do solo, considerando que, quanto mais intemperizado o solo, menor o índice (valores inferiores a 2,2 indicam solos mais intemperizados).

Tabela 6 Teores dos elementos na forma de óxidos obtidos por ataque sulfúrico (s), dissoluções seletivas (d = DCB e o = oxalato de amônio) e relações Fed/Fes, Feo/Fed e Ald/Fed dos solos provenientes de rochas sedimentares na região de Santa Maria, RS.

Hz	Ataque Sulfúrico (g kg <sup>-1</sup> )						Dissoluções Seletivas (g kg <sup>-1</sup> )				Relações		Sil:arg
	SiO <sub>2</sub> -s	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -s	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -s	MnO-s	TiO <sub>2</sub> -s	ki	Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	
<b>11 RS</b>													
A	20,97	27,08	10,50	0,050	3,70	1,32	5,78	2,60	1,23	1,23	0,55	0,21	0,15
BA	58,11	77,06	22,91	0,070	6,31	1,28	11,94	4,70	1,47	2,10	0,52	0,12	0,15
B1	46,62	79,15	24,06	0,057	5,22	1,00	12,04	4,22	1,63	1,81	0,50	0,14	0,05
B2	63,51	85,28	24,95	0,063	5,94	1,27	11,83	4,87	1,71	2,06	0,47	0,14	0,04
C	71,20	95,28	29,42	0,054	5,34	1,27	14,93	3,69	1,13	1,64	0,51	0,08	0,04
<b>12 RS</b>													
A1	34,66	27,18	7,70	0,117	3,08	2,17	3,45	2,31	2,28	1,49	0,45	0,66	0,27
A2	31,96	33,25	9,81	0,063	3,52	1,63	3,93	4,17	2,44	2,61	0,40	0,62	0,48
E	17,92	21,00	8,00	0,059	3,50	1,45	3,44	1,79	0,78	0,74	0,43	0,23	0,50
Bt	144,45	161,65	33,69	0,148	7,70	1,52	14,07	6,06	2,81	3,18	0,42	0,20	0,30
BC	133,07	118,51	27,02	0,190	7,42	1,91	9,41	3,23	1,10	1,74	0,35	0,12	0,63
<b>13 RS</b>													
A1	14,56	20,74	7,09	0,119	2,72	1,19	4,06	1,22	1,14	0,53	0,57	0,28	0,05
A2	10,21	16,63	6,44	0,199	2,63	1,04	3,14	0,82	1,01	0,47	0,49	0,32	0,04
E	3,58	11,66	6,34	0,072	2,55	0,52	3,49	0,85	0,56	0,21	0,55	0,16	0,06
Bt1	88,42	110,65	26,89	0,124	6,83	1,36	22,00	4,55	3,68	1,70	0,82	0,17	0,04
Bt2	92,59	112,96	25,96	0,127	6,33	1,39	19,92	4,36	2,88	1,61	0,77	0,14	0,04
C	61,50	71,96	13,72	0,063	3,44	1,45	8,01	2,37	1,27	1,04	0,58	0,16	-
<b>51 RS</b>													
A1	5,29	13,32	5,58	0,213	2,77	0,67	3,62	1,06	1,63	0,26	0,65	0,45	0,28
A2x	21,63	28,63	9,51	0,132	3,99	1,28	7,37	2,03	2,20	0,70	0,78	0,30	0,15
AB	54,22	65,13	18,89	0,096	6,11	1,42	15,05	3,60	2,10	1,17	0,80	0,14	0,13
BA	47,63	99,46	24,74	0,106	7,25	0,81	17,70	4,66	2,65	1,66	0,72	0,15	0,05
Bt1	74,91	128,68	31,18	0,113	7,81	0,99	25,61	5,35	-	1,85	0,82	-	0,06
Bt2	75,33	101,61	26,20	0,121	7,04	1,26	21,32	3,68	3,35	1,23	0,81	0,16	0,04
Bt3	88,04	100,13	26,37	0,127	7,05	1,49	21,69	3,22	3,85	1,13	0,82	0,18	0,15
CR	42,08	83,12	23,04	0,130	6,41	0,86	13,30	2,63	2,50	0,81	0,83	0,13	0,04
<b>16 RS</b>													
A1	37,33	37,12	11,87	0,113	4,90	1,71	4,48	2,41	3,00	1,61	0,38	0,67	1,06
A2	30,23	31,82	11,11	0,105	2,07	1,62	4,22	2,12	2,56	1,29	0,38	0,61	0,81
AB	40,14	67,83	21,59	0,178	8,48	1,01	6,94	2,59	0,65	0,96	0,32	0,09	1,12
Bt	92,02	102,00	28,63	0,197	8,85	1,53	16,68	2,93	1,59	1,27	0,58	0,10	0,75
BC	77,54	115,87	32,66	0,241	7,62	1,14	13,69	2,14	0,83	0,62	0,42	0,06	1,04

C	60,21	62,07	27,62	0,467	8,67	1,65	13,13	1,11	0,52	0,28	0,48	0,04	2,92
<b>17 RS</b>													
A1	11,23	25,51	7,93	0,320	2,88	0,75	2,54	2,84	1,95	1,83	0,32	0,77	0,61
A2	8,47	24,70	8,86	0,035	2,88	0,58	3,02	3,04	1,65	1,85	0,34	0,55	0,54
EA	9,08	21,85	7,54	0,036	2,72	0,71	2,64	2,03	0,66	1,10	0,35	0,25	0,63
E	1,41	11,89	5,21	0,033	2,27	0,20	2,35	1,15	0,46	0,42	0,45	0,19	0,88
Btg	76,72	90,98	27,95	0,063	6,19	1,43	9,35	3,96	1,07	1,89	0,33	0,11	0,38
C	52,97	57,06	22,87	0,077	4,69	1,58	2,77	1,87	0,50	0,55	0,12	0,18	0,9
<b>50 RS</b>													
A1	14,74	28,61	10,52	0,109	3,12	0,88	5,19	2,00	1,40	0,76	0,49	0,27	0,19
A2	20,94	35,55	11,02	0,075	3,42	1,00	5,71	2,52	1,41	1,04	0,52	0,25	0,26
E	14,45	28,77	9,60	0,059	3,38	0,85	6,10	2,46	1,33	0,83	0,64	0,22	0,36
EB	33,58	43,62	15,61	0,066	4,58	1,31	6,49	2,34	1,93	0,96	0,42	0,30	0,34
Bt1	89,09	105,70	31,17	0,085	6,52	1,43	21,71	5,15	3,77	1,85	0,70	0,17	0,15
Btf	103,70	114,02	33,44	0,097	5,34	1,55	28,26	4,92	2,49	1,80	0,84	0,09	0,13
C	81,96	149,93	30,59	0,123	3,81	0,93	13,42	3,26	3,79	1,44	0,44	0,28	0,13

Para os perfis de solos estudados, os valores de ki variaram entre 0,2 a 2,17 (Tabela 6). De modo geral, os valores de ki apresentaram variações ao longo dos perfis com valores de ki mais altos nos horizontes subsuperficiais (B). Entre perfis de solos, a variação também foi observada com os maiores valores tendo ocorrido no perfil 12 RS e os menores valores no perfil 17 RS. Os maiores valores de ki ocorreram nos horizontes que apresentaram atividade da fração argila alta sugerindo que nestes mesmos horizontes é provável a ocorrência de mineralogia 2:1. Outros autores, estudando solos também desenvolvidos de rochas sedimentares observaram valores de Ki maiores do que os observados neste estudo (Maфра et al., 2001, Bernini, et al., 2013). Nos solos avaliados neste trabalho os valores de ki foram abaixo do esperado, não sendo descartado algum erro no procedimento de execução da metodologia utilizada. Segundo Oliveira (2001), problemas como a dificuldade de determinação de Si e Al, assim como na variação das metodologias, motiva um uso cada vez menor do índice ki em solos com baixos teores de argila.

Para o índice ki foram observadas correlações positivas com os teores de argila total, Fes e CTC (Tabela 7). A correlação positiva entre CTC e valor ki confirma o grau de intemperismo dos solos, uma vez que solos que apresentam maior índice ki são menos intemperizados e resultam em solos com maior reserva nutricional.

Tabela 7 Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis argila total, ferro total (Fes), ferro e alumínio extraídos por DCB (Fed e Ald), índice ki, CTC pH 7,0, e relação Fed/Fes.

Variáveis	Fes	Fed	Ald	ki	CTC	Fed/Fes
<b>Arg. total</b>	0,859*	0,830*	0,851*	0,360*	0,376*	0,375*
<b>Fes</b>		0,806	0,686*	0,308*	0,591*	0,194
<b>Fed</b>			0,654*	0,168	0,188	0,703*
<b>Ald</b>				0,245	0,226	0,241
<b>ki</b>					0,489*	-0,028
<b>CTC</b>						-0,306*

\* P<0,05

O DCB (Ditionito-Citrato-Bicarbonato de Sódio) é usado para quantificar o Fe constituinte dos óxidos de ferro pedogênicos cristalinos e de baixa cristalinidade (Mehra e Jackson, 1960; Inda Junior e Kämpf, 2003). Dos perfis avaliados, os maiores teores de óxidos de ferro extraídos por DCB (Fed) foram observados nos horizontes de máxima acumulação de argila (B),

apresentando correlação positiva significativa com argila total e Fes (Tabela 6). O perfil 17 RS apresentou os menores valores, enquanto os maiores foram observados no perfil 51 RS. Não houve correspondência entre os teores de ferro pedogênico (Fed) e as posições que os solos ocupam na paisagem; mas sim em relação às condições de drenagem. O que se observa é que os perfis 13 RS, 51 RS, e 50 RS apresentaram valores médios de Fed superiores aos dos demais perfis, possivelmente justificado pelas melhores condições de drenagem destes perfis as quais garantem maior estabilidade e persistência dos óxidos de ferro nos solos. Além disso, é possível que as variações observadas também estejam relacionadas com diferenças na constituição do material de origem.

Em relação ao alumínio extraído por DCB (Ald), segundo Partiff e Childs, (1988), se refere ao alumínio que se encontra na estrutura dos óxidos de ferro pedogênicos pela substituição isomórfica. Em relação aos teores extraídos pelo ataque sulfúrico (Als), o Al por DCB foi muito inferior. Os valores foram baixos (variando entre 0,82 a 6,06 g kg<sup>-1</sup>), apresentando aumento em profundidade, semelhante ao Fed, que possivelmente se justifica pelos maiores teores de argila. De acordo com a tabela 7, foram observadas correlações positivas significativas com os teores de argila total, Fes e Fed.

O oxalato de amônio extrai somente os compostos de ferro com maior solubilidade e menor grau de cristalinidade. Alguns fatores podem inibir a cristalização dos óxidos de ferro como, por exemplo, a matéria orgânica do solo e, em alguns casos, a substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura dos minerais, (Schwertmann, 1988, Costa e Bigham, 2009). O comportamento dos teores de Feo em profundidade foi semelhante ao Fed, porém com valores proporcionalmente menores e com menor amplitude de valores dentro dos perfis. Exceção a esse comportamento foi verificado nos perfis 16 RS e 17 RS que apresentaram maiores teores de Feo nos horizontes superficiais. Nos horizontes superficiais do perfil 16 RS, foram observados os maiores teores de matéria orgânica que pode estar influenciando na formação desses minerais menos cristalinos, enquanto que no perfil 17, apesar de menores teores de carbono orgânico, o hidromorfismo pode ter influenciado na menor cristalinidade dos minerais, possivelmente por eventos de rápida oxidação.



O Al extraído com oxalato de amônio refere-se às formas de alumínio presente na estrutura dos compostos de ferro e alumínio de baixa cristalinidade ou ainda da estrutura das caulinitas de baixa cristalinidade (Mckeague e Day, 1966). De acordo com a tabela 6, os valores de Alo foram menores que os valores de Ald, sendo também muito baixos em relação ao teor de Al extraído por ataque sulfúrico em todos os perfis. Os valores de Alo variaram de 0,21 a 3,8 g kg<sup>-1</sup> sendo verificados os maiores teores nos horizontes subsuperficiais. Coelho e Vidal- Torrado (2003) atribuíram o crescimento do Alo nos horizontes Bt de um Argissolo Vermelho Amarelo desenvolvido de arenito em São Paulo, a atuação do processo de ferrólise. Em relação aos perfis estudados, nos horizontes subsuperficiais sujeitos à oscilação do lençol freático, a ferrólise pode estar atuando em zonas específicas desses horizontes com acúmulo de argilas observados na maioria dos perfis avaliados. Nesse processo, a instabilidade e a desestruturação dos argilominerais, favorece a formação de compostos de baixa cristalinidade, refletindo no aumento dos valores de Alo.

As relações Fed/Fes e Feo/Fed auxiliam no entendimento do comportamento desses elementos e dos processos pedogenéticos envolvidos na formação do solo. A relação Fed/Fes estima a intensidade de intemperização do material de origem e determina a transformação dos silicatos contendo Fe<sup>2+</sup> em óxidos contendo Fe<sup>3+</sup>, portanto, sendo os óxidos de Fe importantes como indicadores de pedogênese (Kämpf e Curi, 2000, Kämpf et al., 2012). Assim, quanto mais próximo o valor de 1, mais Fe contido em minerais primários (Fe<sup>2+</sup>) terá se intemperizado, formando óxidos de Fe pedogênicos (Fe<sup>3+</sup>), indicando um maior grau de intemperismo dos solos.

Em geral, os perfis apresentaram oscilação nos valores de relação Fed/Fes (variando de 0,12 a 0,83), indicando graus de alteração distintos. Entre todos os perfis investigados, os perfis 12 RS, 16 RS e 17 RS apresentaram as menores relações Fed/Fes. Esses perfis, além de apresentarem menor relação Fed/Fes também apresentaram características que os distinguem como solos pouco intemperizados, como por exemplo, alta CTC, presença de minerais primários (exceção ao perfil 17 RS) e mineralogia 2:1. Isto parece indicar que boa parte do ferro ainda se encontra em minerais primários ou em argilominerais 2:1.

A razão Feo/Fed por sua vez, indica o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro, pois avalia o conteúdo de óxidos de ferro de baixa cristalinidade, ou não cristalinos, em relação à totalidade dos óxidos de ferro pedogênicos (Fed), sendo que, o aumento da razão correspondente à diminuição da cristalinidade (Kämpf e Schwertmann, 1983). Os valores desta relação obtidos para os solos avaliados variaram entre 0,04 a 0,77, sendo importante observar que, para a maioria dos perfis, os maiores valores foram observados nos horizontes superficiais, evidenciando o efeito da matéria orgânica como inibidor da formação de minerais cristalinos (Fabris, 2009). Além disso, o perfil que apresentou os maiores valores desta relação foi o perfil 17 RS, devido as condições de maior hidromorfismo que poderia inibir a cristalinização dos óxidos.

Outra relação que pode inferir sobre o estágio de intemperismo dos solos é relação silte/argila (IBGE, 2007; Embrapa, 2013). Solos que apresentam relação inferior a 0,6-07 geralmente indicam intemperismo mais avançado, sendo esse o limite usado como critério auxiliar para discriminar horizonte B latossólico do B incipiente (EMBRAPA, 2013). De acordo com a tabela 6 os perfis que apresentaram valores de silte/argila maiores que 0,7, indicando menor grau de intemperismo, foram os perfis 16 RS e 17 RS. Campos, et al., (2012), avaliando Argissolos desenvolvidos de arenitos em diferentes segmentos da paisagem no estado de São Paulo, observaram que o perfil desenvolvido em posição de sopé apresentou um sensível aumento da relação silte/argila, quando comparado aos demais ambientes melhor drenados, indicando menor grau de intemperismo. Esses mesmos perfis (16 RS e 17 RS) também apresentaram outros índices revelando um grau de intemperismo menos avançado juntamente com o perfil 12 RS.

Analisando todos os índices de intemperismo avaliados, podemos dizer que os solos investigados estão em distintos estágios de desenvolvimento. Apesar de o índice  $k_i$  revelar solos altamente intemperizados, as relações fed/fes e silte/argila revelam que os perfis 12 RS, 16 RS e 17 RS apresentam grau de intemperismo menos avançado indicando solos menos desenvolvidos. Corroborando com essas informações, os valores de CTC, e mineralogia desses solos também evidenciam solos com menores graus de

intemperismo uma vez que apresentam elevada CTC e mineralogia 2:1 nos horizontes subsuperficiais desses perfis.

#### 4.4 Fluorescência de Raios-x

Neste tópico são apresentados os resultados da composição dos solos analisados na fração TFSA, expressos pelos elementos maiores na forma de óxidos dos horizontes de todos os perfis (Tabela 8), fazendo-se comparações a seus respectivos materiais de origem (Tabela 2).

Na maioria dos perfis de solos avaliados os teores de  $\text{SiO}_2$  foram maiores no solo em relação à suas rochas subjacentes, observando-se uma redução do topo para os horizontes de base e rocha. Diferentemente do observado em solos desenvolvidos de rochas magmáticas básicas (Ferreira, 2013), o que ocorre em solos derivados de rochas sedimentares com horizontes superficiais de classe textural areia/franco arenosa é a predominância do mineral quartzo, até mesmo em proporções maiores do que nas rochas que originaram esses horizontes, justificando assim os maiores teores de  $\text{SiO}_2$  observados nos perfis investigados. Os valores de  $\text{SiO}_2$  observados nos perfis investigados também superaram os valores observados por Coelho e Vidal-Torrado (2003), avaliando perfis plínticos desenvolvidos de arenito. No estudo citado os autores também observaram maiores valores de  $\text{SiO}_2$  nos horizontes subsuperficiais dos solos em comparação à rocha. Diferentemente do ataque sulfúrico, a quantificação por FRX determina os teores totais dos elementos presentes na amostra analisada, o que justifica os maiores teores de  $\text{SiO}_2$  observados visto que também quantifica esse elemento presente em minerais como o quartzo, o qual permanece inerte ao ataque sulfúrico.

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nos solos foram menores que nas suas rochas equivalentes nos horizontes superficiais, aumentando os teores em direção aos horizontes subjacentes (B) de máxima acumulação de argila, e reduzindo novamente em direção aos horizontes C e rochas. A elevação dos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nos horizontes subsuperficiais observada nos perfis 12 RS, 16 RS e 17 RS, chamou a atenção pela intensidade com que ocorreu

apresentando teores muito superiores aos observados nas rochas, evidenciando não só o aumento dos teores desse elemento por enriquecimento de argila, mas levantando hipótese de ação de processos pedogênicos envolvidos. Interessante ressaltar que, na avaliação dos teores de alumínio trocável (Tabela 5), os horizontes subsuperficiais dos perfis 12 RS e 17 RS apresentaram elevados teores de Al enquanto que no perfil 16 RS os valores de alumínio trocável foram nulos, contrapondo os resultados observados para os teores de alumínio total quantificados por FRX, onde os três perfis apresentaram elevados teores de  $Al_2O_3$  nos horizontes subsuperficiais. O que se observa é que no perfil 16 RS, apesar de haver quantidades de  $Al_2O_3$  (Al FRX) proporcionais aos outros dois perfis, na extração do alumínio na forma trocável nos perfis 12 RS e 17 RS foram solubilizadas formas menos estáveis desse elemento evidenciando os maiores teores nesses perfis. Comportamento semelhante ao observado pela quantificação por FRX também foi verificado na extração de Al pelo ataque sulfúrico (Tabela 6) onde estes três perfis apresentaram valores semelhantes em relação aos teores de óxidos de alumínio relativo aos minerais pedogênicos.

Para o  $Fe_2O_3$ , os perfis 13 RS e 50 RS apresentaram nos horizontes B, teores quase o dobro do valor observado nas rochas, evidenciando o enriquecimento desse elemento pelo acúmulo de argila nesses horizontes. Além disso, a condição de boa drenagem destes perfis auxilia na manutenção desses altos valores de ferro, pois quando em sua forma oxidada, os óxidos são menos susceptíveis a desestabilização e perdas desse elemento na forma de  $Fe^{+2}$ . Michelon (2006), avaliando perfis de solos da região de Santa Maria também observou, em um Argissolo Vermelho desenvolvido de argilitos e siltitos, um comportamento do  $Fe_2O_3$  (quantificado por FRX) semelhantes ao observado neste estudo.

Os teores de  $TiO_2$  apesar de baixos em relação aos elementos já analisados apresentaram leve incremento nos horizontes subsuperficiais, algumas vezes, apresentando valores superiores aos observado para as rochas correspondentes de cada perfil.

Tabela 8 Composição química total dos elementos maiores (em % de óxidos) obtidos por Fluorescência de Raios-X na fração TFSA dos horizontes dos perfis de solo provenientes de rochas sedimentares na região de Santa Maria, RS.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
<b>Perfil 11 RS</b>									
<b>A</b>	83,86	11,69	1,66	0,59	0,16	0,29	1,10	0,47	0,005
<b>BA</b>	75,50	17,77	3,48	0,71	0,17	0,47	1,17	0,48	0,006
<b>B1</b>	74,93	18,49	3,48	0,59	0,16	0,51	1,15	0,47	0,005
<b>B2</b>	71,41	21,20	4,14	0,63	0,16	0,57	1,19	0,46	0,004
<b>C</b>	71,79	20,73	4,01	0,64	0,18	0,58	1,37	0,47	0,005
<b>Perfil 12 RS</b>									
<b>A1</b>	85,37	9,78	1,64	0,50	0,27	0,39	1,36	0,49	0,019
<b>A2</b>	83,44	11,86	1,64	0,50	0,22	0,43	1,29	0,46	0,008
<b>E</b>	86,89	8,70	1,26	0,54	0,22	0,30	1,49	0,44	0,006
<b>Bt</b>	66,39	22,28	5,95	0,79	0,66	1,29	1,82	0,49	0,018
<b>BC</b>	69,79	19,44	4,61	0,73	1,02	1,48	2,21	0,48	0,028
<b>Perfil 13 RS</b>									
<b>A1</b>	88,15	8,39	1,29	0,39	0,23	0,15	0,71	0,51	0,033
<b>A2</b>	89,30	7,93	1,08	0,36	0,14	-	0,56	0,48	0,030
<b>E</b>	91,33	6,13	0,81	0,42	0,12	-	0,60	0,44	0,006
<b>Bt1</b>	67,67	23,74	5,66	0,69	0,19	0,43	0,84	0,48	0,014
<b>Bt2</b>	68,34	23,91	5,02	0,63	0,17	0,44	0,77	0,46	0,014
<b>C</b>	74,95	20,35	2,51	0,34	0,17	0,40	0,66	0,45	0,006
<b>Perfil 51 RS</b>									
<b>A1</b>	91,88	5,49	1,09	0,37	0,19	0,05	0,35	0,44	0,028
<b>A2x</b>	87,15	9,43	1,60	0,50	0,14	0,09	0,50	0,43	0,015
<b>AB</b>	77,81	16,39	3,39	0,69	0,16	0,19	0,68	0,46	0,010
<b>BA</b>	73,70	19,36	4,33	0,73	0,15	0,24	0,74	0,49	0,008
<b>Bt1</b>	66,78	24,91	5,45	0,76	0,15	0,36	0,85	0,44	0,010
<b>Bt2</b>	71,08	21,16	5,00	0,75	0,16	0,29	0,82	0,49	0,011
<b>Bt3</b>	72,80	20,36	4,28	0,68	0,15	0,29	0,76	0,45	0,012
<b>CR</b>	74,41	18,97	4,13	0,69	0,14	0,22	0,77	0,44	0,011
<b>Perfil 16 RS</b>									
<b>A1</b>	83,29	10,56	2,07	0,75	0,52	0,45	1,57	0,53	0,013
<b>A2</b>	82,29	11,32	2,07	0,79	0,59	0,44	1,67	0,55	0,014
<b>AB</b>	77,22	14,96	2,88	0,93	0,73	0,66	1,77	0,52	0,012
<b>Bt</b>	66,89	19,93	6,59	1,16	1,31	1,11	1,98	0,55	0,022
<b>BC</b>	68,46	18,47	5,70	1,12	1,47	1,27	2,52	0,53	0,027
<b>C</b>	67,79	17,11	5,83	1,23	1,81	1,63	3,28	0,69	0,069
<b>Perfil 17 RS</b>									
<b>A1</b>	87,99	8,06	1,53	0,54	0,32	0,12	0,67	0,58	0,008
<b>A2</b>	86,43	9,85	1,49	0,58	0,19	0,10	0,65	0,53	0,004
<b>EA</b>	87,81	8,94	1,19	0,52	0,17	0,09	0,65	0,46	0,004
<b>E</b>	90,84	6,25	0,90	0,50	0,16	-	0,72	0,46	0,003
<b>Btg</b>	71,59	20,35	4,85	0,83	0,35	0,46	0,80	0,48	0,005
<b>C</b>	79,02	14,31	3,09	0,81	0,54	0,40	1,06	0,49	0,009
<b>Perfil 50 RS</b>									
<b>A1</b>	87,64	8,81	1,50	0,50	0,16	0,13	0,64	0,47	0,013
<b>A2</b>	85,20	10,65	1,92	0,57	0,17	0,15	0,70	0,46	0,01
<b>E</b>	86,08	10,02	1,64	0,56	0,15	0,17	0,74	0,46	0,006
<b>EB</b>	81,31	13,77	2,41	0,66	0,14	0,29	0,78	0,43	0,006
<b>Bt1</b>	67,50	22,70	6,68	0,80	0,16	0,47	0,90	0,47	0,007
<b>Btf</b>	67,58	22,11	7,33	0,65	0,15	0,43	0,95	0,46	0,008
<b>C</b>	71,00	21,72	4,07	0,41	0,17	0,46	1,50	0,46	0,012

Em relação ao CaO, apesar das rochas dos perfis 12 RS e 16 RS apresentarem teores muito elevados desse elemento (29,345 % e 15,719 % de CaO respectivamente), os teores no solo não foram mantidos revelando a alta solubilidade desses compostos, sendo um dos primeiros a ser removido do perfil no processo de intemperismo. Para os demais perfis, os valores de CaO foram baixos, além de serem um pouco menores que os valores observados nas rochas. Os teores de MgO aumentaram em profundidade, porém diferentemente do CaO apresentaram correspondência aos valores das rochas subjacentes em todos os perfis, sendo os maiores valores observados no perfil 16 RS (média = 0,92%).

O  $P_2O_5$  apresentou pouca variação tanto dentro dos perfis quanto entre perfis, caracterizando baixa concentração. Além disso, foi o elemento que apresentou os valores de solo mais proporcionais em relação à rocha evidenciando os baixos teores desse elemento nas rochas investigadas e a estabilidade deste elemento no solo. Segundo Boyer (1985) durante os processos de formação e evolução dos solos, as consequências do intemperismo para o fósforo são relativamente pequenas, desta forma seu teor no solo pode permanecer estável.

Para o MnO os valores foram muito baixos, sendo apenas observados valores um pouco superiores no perfil 12 RS, corroborando com a descrição morfológica onde foi descrita a presença de óxido de Mn reagente a  $H_2O_2$ , porém esse elemento, por apresentar boa solubilidade não manteve os mesmos teores da rocha no solo.

Em relação às rochas, na decomposição química através dos processos de intemperismo, observa-se um enriquecimento nos teores de  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$ , e uma redução nos teores de CaO e  $K_2O$  nos solos, enquanto os teores de  $TiO_2$ , MgO,  $P_2O_5$  e MnO parecem permanecer estáveis. Assim, as rochas que estão se decompondo tendem a perder principalmente CaO e  $K_2O$ , e mostrar um relativo enriquecimento nas proporções de óxidos de Fe, Al e Si, como também havia sido verificado pelo ataque sulfúrico, corroborando com Vieira (1988) que cita que a formação e evolução dos solos se processa no sentido de lixiviação dos elementos mais solúveis e acumulação dos resíduos coloidais de sílica, Fe e Al.

Numa avaliação geral, é possível confirmar a grande variabilidade química desses materiais de origem sedimentar da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Além disso, a variabilidade química apresentada pelos perfis desenvolvidos desses materiais, já discutido no item 4.2 além de origem pedogênica, apresenta origem no material formador de cada solo, visto que parte das características químicas das rochas são mantidos durante a formação e a evolução dos solos.

Dessa forma, podem-se estabelecer dois grupos distintos quimicamente: um de solos originados de rocha sedimentares com altos teores de bases (12 RS e 16 RS), e os demais perfis, originados de rochas sedimentares com baixos teores de bases. Essa diferenciação já havia sido identificada tanto na mineralogia das rochas quanto nos índices de intemperismo desses solos (juntamente com o perfil 17 RS), sendo que estes dois solos, apesar de morfologicamente distintos, se assemelham em relação ao grau de intemperismo, mineralogia e composição química total.

#### **4.5 Mineralogia da fração argila desferrificada**

A mineralogia da fração argila auxilia na identificação dos processos pedogenéticos atuantes além de caracterizar a fração mais reativa dos solos.

Nos solos desenvolvidos de rochas sedimentares na Depressão Central do Rio Grande do Sul, a mineralogia correspondeu ao seu material de origem sedimentar, apresentando quartzo até nas frações mais finas do solo (Difratogramas da fração argila em pó – Apêndices J e K). Além dos reflexos de quartzo foram identificados os minerais primários micas, feldspatos/piroxênios, e os minerais secundários argilominerais 2:1 e caulinitas, com variações expressivas na intensidade dos reflexos desses minerais entre os perfis avaliados.

Apesar de terem sido realizadas análises na forma de pó em amostras de todas as frações (areia, silte e argila) e para todos os horizontes dos perfis dos solos investigados (Apêndices H, I, J e K), neste item serão apresentados apenas os difratogramas da fração argila desferrificada e tratada

de horizontes selecionados representativos de cada perfil. A descrição das amostras tratadas de cada perfil é apresentada a seguir.

#### 4.5.1 Perfil 11 RS

As análises por DRX no perfil 11 RS foram realizadas em amostras da fração argila desferrificada dos horizontes A, Bt e C (Figura 17). Nas amostras saturadas com K a 25 °C foram identificados os minerais quartzo (utilizado como padrão interno para ajuste das demais reflexões), caulinita, mica e argilominerais 2:1 ( $d \cong 1,4$  nm).

Os tratamentos térmicos sequenciais promoveram o colapso das camadas dos argilominerais 2:1 para espaçamentos  $d \cong 1$  nm, com pequena assimetria dos reflexos em direção a ângulos menores, a qual sugere uma intercalação parcial desses minerais por polímeros de hidróxi-Al (Azevedo e Vidal-Torrado, 2009). A saturação das amostras com Mg e posterior solvatação com etileno-glicol possibilitou a expansão das camadas dos argilominerais 2:1 para espaçamentos  $d \cong 1,41$  a 1,49 nm, indicando uma provável ocorrência de vermiculitas de baixa carga (Douglas, 1989; Cunha et al., 2014). A ocorrência de micas foi confirmada pela persistência do reflexo em  $d \cong 1$  nm após os tratamentos para expansão. A presença de uma reflexão alargada entre  $d = 0,71$  e  $d = 0,76$  nm se deve, possivelmente, a ocorrência de interstratificados de caulinita-esmectita. Observando os difratogramas dos horizontes A para os horizontes B1 e C se observa a presença de maior quantidade de interstratificados caulinita-esmectita nesses horizontes subsuperficiais. Nesses horizontes os tratamentos com Mg parecem ter promovido expansão para espaçamentos mais altos (1,6-1,8 nm) ou pelo menos uma maior diluição dos picos indicativos de interstratificados esmectita-caulinita.

Nesse perfil também foi verificada atividade da fração argila de  $\cong 21$   $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , ou seja, valor maior que o observado em solos que apresentam mineralogia caulinitica. Este valor de ATA pressupõe a presença de minerais 2:1 aliado a caulinita.



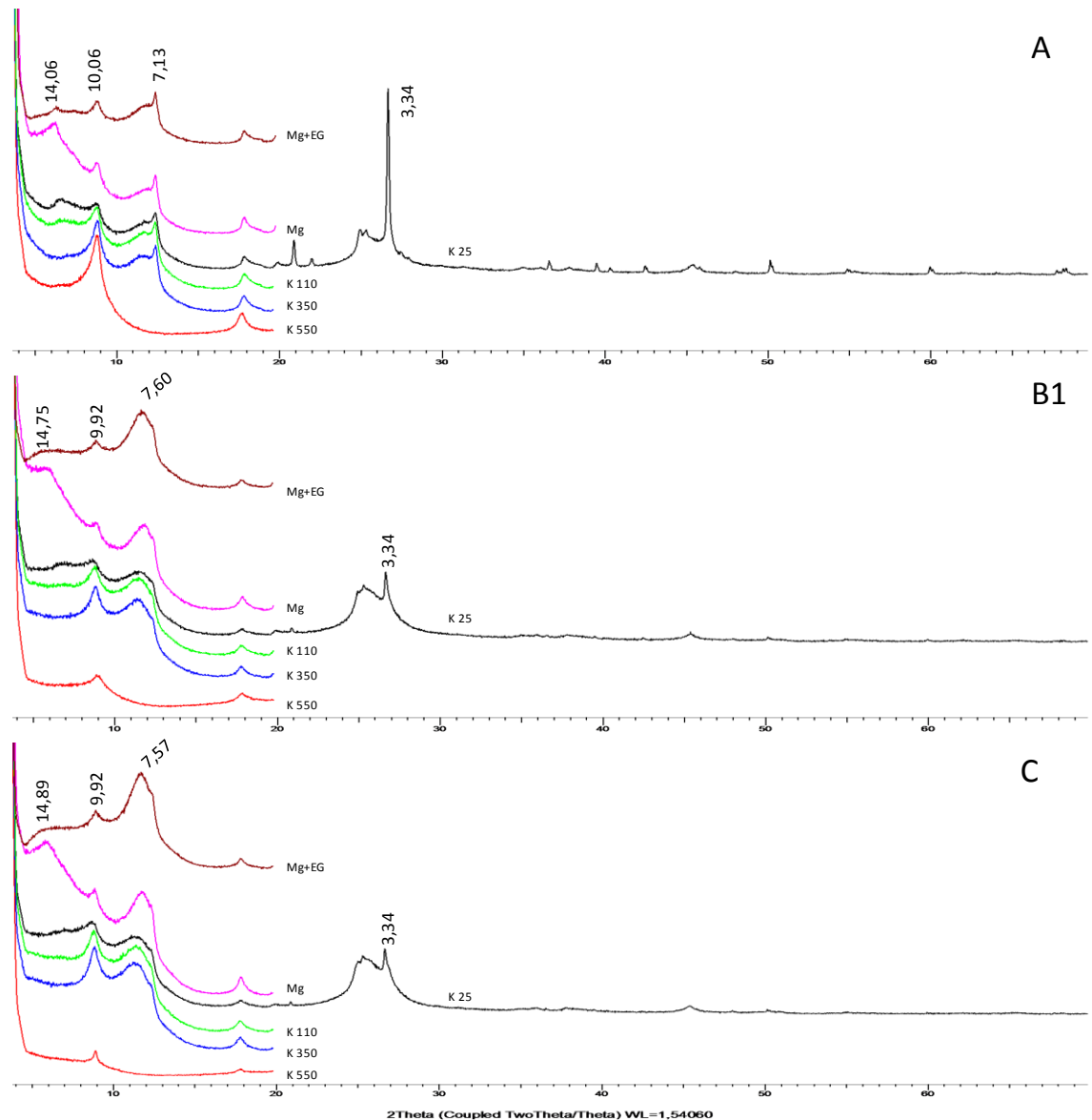


Figura 17: Difratogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A, B1 e C do perfil 11 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

#### 4.5.2 Perfil 12 RS

No perfil 12 RS foram selecionadas amostras da fração argila desferrificada dos horizontes A2, Bt e BC para as análises por DRX (Figura 18). Nos difratogramas das amostras saturadas com K a 25 °C, a composição

mineralógica foi constituída principalmente por argilominerais 2:1 ( $d \cong 1,3$  nm), micas ( $d \cong 0,99$  nm) e caulinitas ( $d \cong 0,71$  nm). Os tratamentos térmicos sequenciais promoveram o colapso das camadas dos argilominerais 2:1 para espaçamentos  $d \cong 1$  nm de maneira gradual, permanecendo uma pequena assimetria em direção a ângulos menores mesmo após o aquecimento a 550 °C, a qual sugere uma intercalação parcial desses minerais por polímeros de hidróxi-Al. A saturação da amostra com Mg possibilitou a expansão das camadas dos argilominerais 2:1 para espaçamentos  $d \cong 1,47$  a 1,53 nm. A posterior solvatação com etileno-glicol provocou uma das camadas para ângulos menores, resultando num incremento dos espaçamentos  $d$  ( $d \cong 1,61$  a 1,68 nm) o que sugere que os argilominerais 2:1 presentes nesse perfil são esmectitas. Após os tratamentos para expansão, a permanência de reflexo a espaçamentos em torno de 1 nm indica pequena proporção de micas.

Apesar de menos intensos, os reflexos de caulinita apresentaram comportamento semelhante ao observado no perfil 11 RS, onde a presença de uma reflexão alargada entre  $d \cong 0,70$  e  $d \cong 0,82$  nm sugeriu a ocorrência de interestratificados caulinita-esmectita. Nos tratamentos Mg+EG, particularmente nos horizontes Bt e C, observa-se nitidamente a formação de um reflexo em torno de 0,83 nm, indicativo da expansão das camadas 2:1 presentes no interestratificado. Esse padrão somente é verificado quando a proporção de camadas 2:1 no cristal do interestratificado é expressiva.

A maior assimetria para ângulos menores da reflexão em  $d \cong 1,0$  no horizonte superficial, associada a maior expansividades das reflexões nos horizontes subsuperficiais, sugerem uma diminuição da intercalação das entrecamadas com hidróxi-Al em profundidade.

Observando-se os valores da atividade da fração argila de (45 a 66  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), a mineralogia apresenta-se compatível com esses valores observados indicando a presença de minerais 2:1. Juntamente com o índice  $k_i$  é possível afirmar que esse solo apresenta-se num estágio de intemperismo menos avançado.

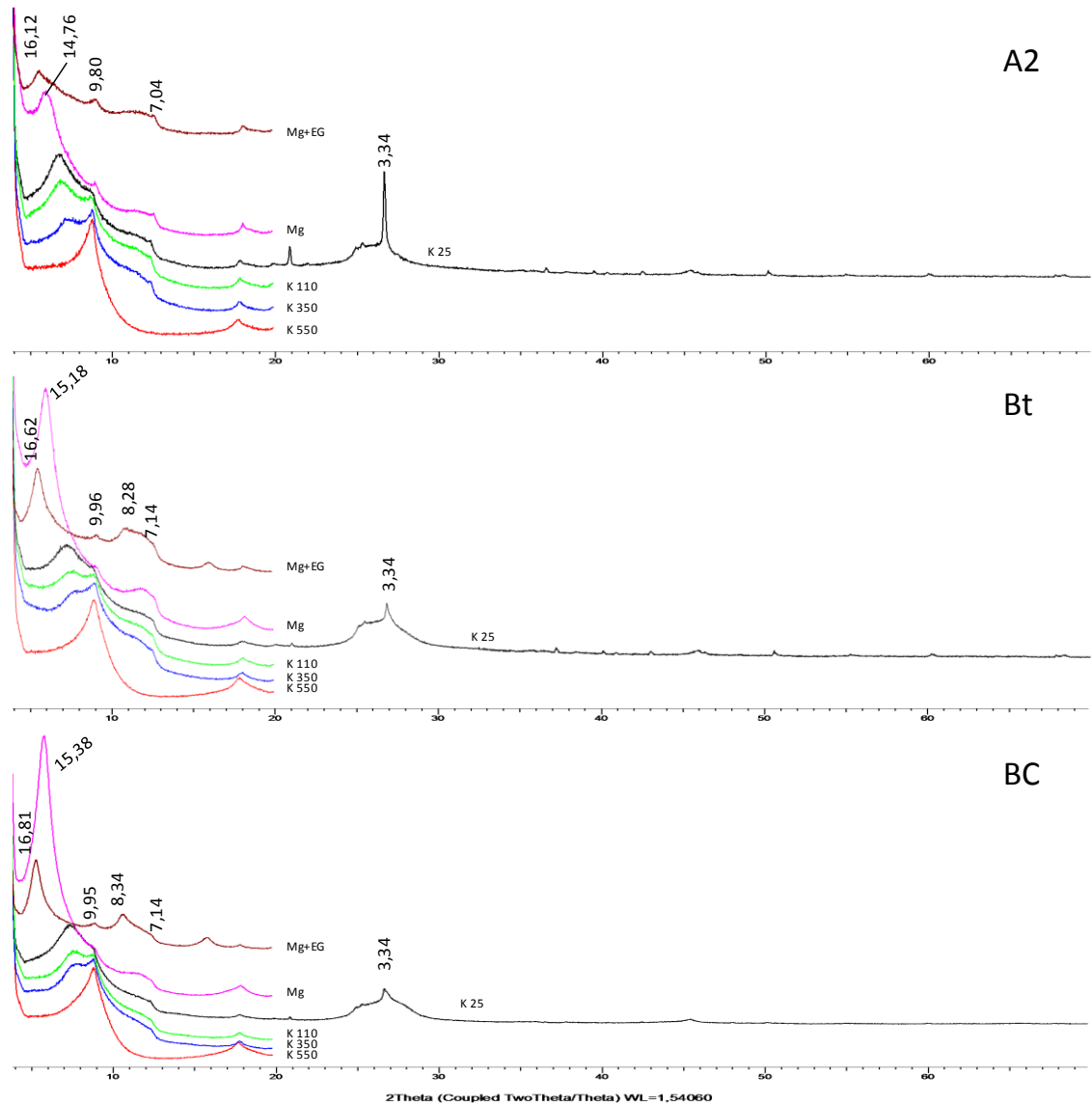


Figura 18: Difratomogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt e BC do perfil 12 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

#### 4.5.3 Perfis 13 RS e 51 RS

As análises por DRX nos perfis 13 RS e 51 RS foram realizadas em amostras da fração argila desferrificada dos horizontes A2, Bt1 e C, e A2, Bt1,

Bt3 e CR, respectivamente (Figuras 19 e 20). As análises indicaram uma mineralogia muito semelhante para esses solos.

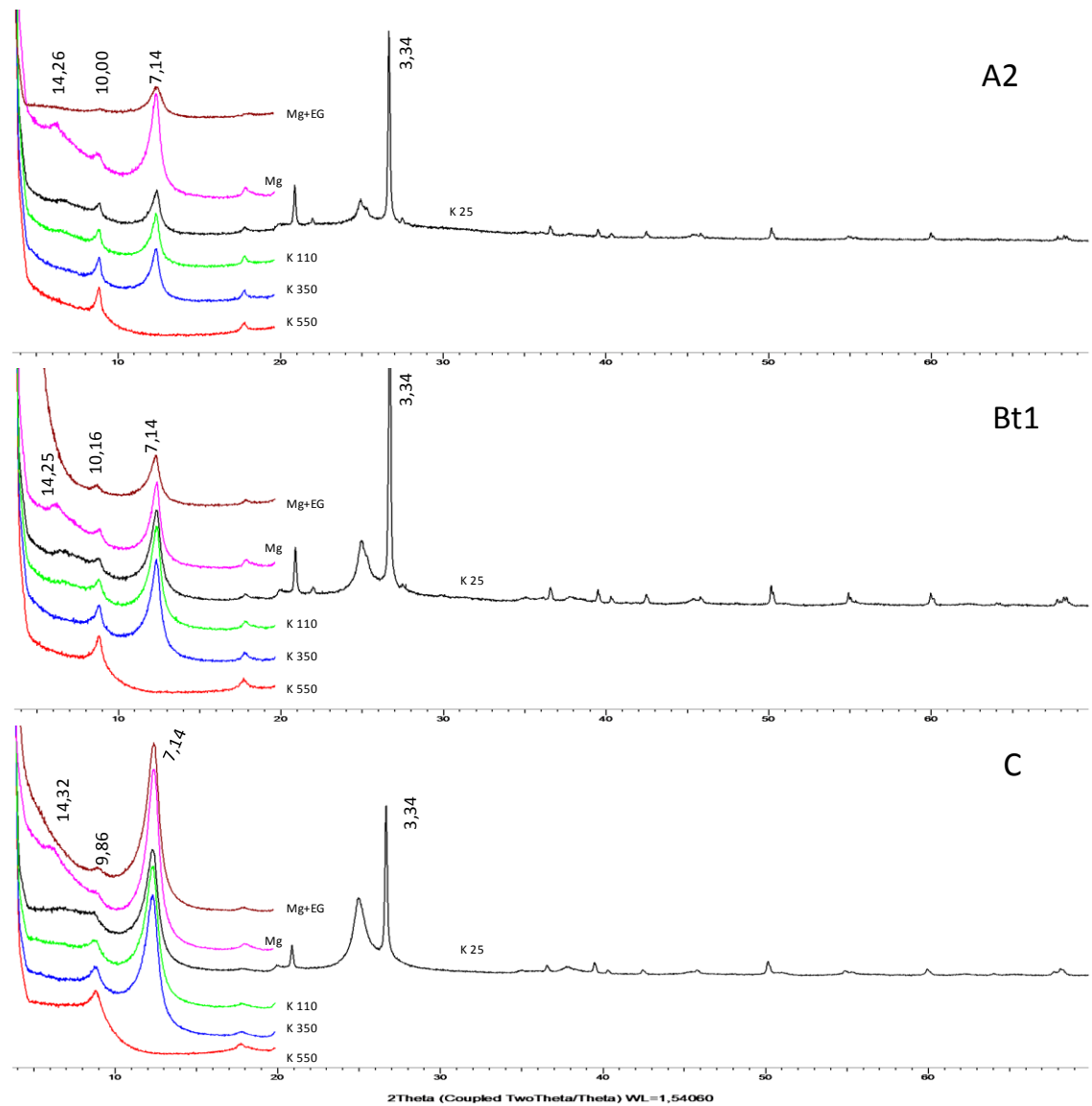


Figura 19: Difratoogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt1 e C do perfil 13 RS. Na sequência de baixo para cima: difratoogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

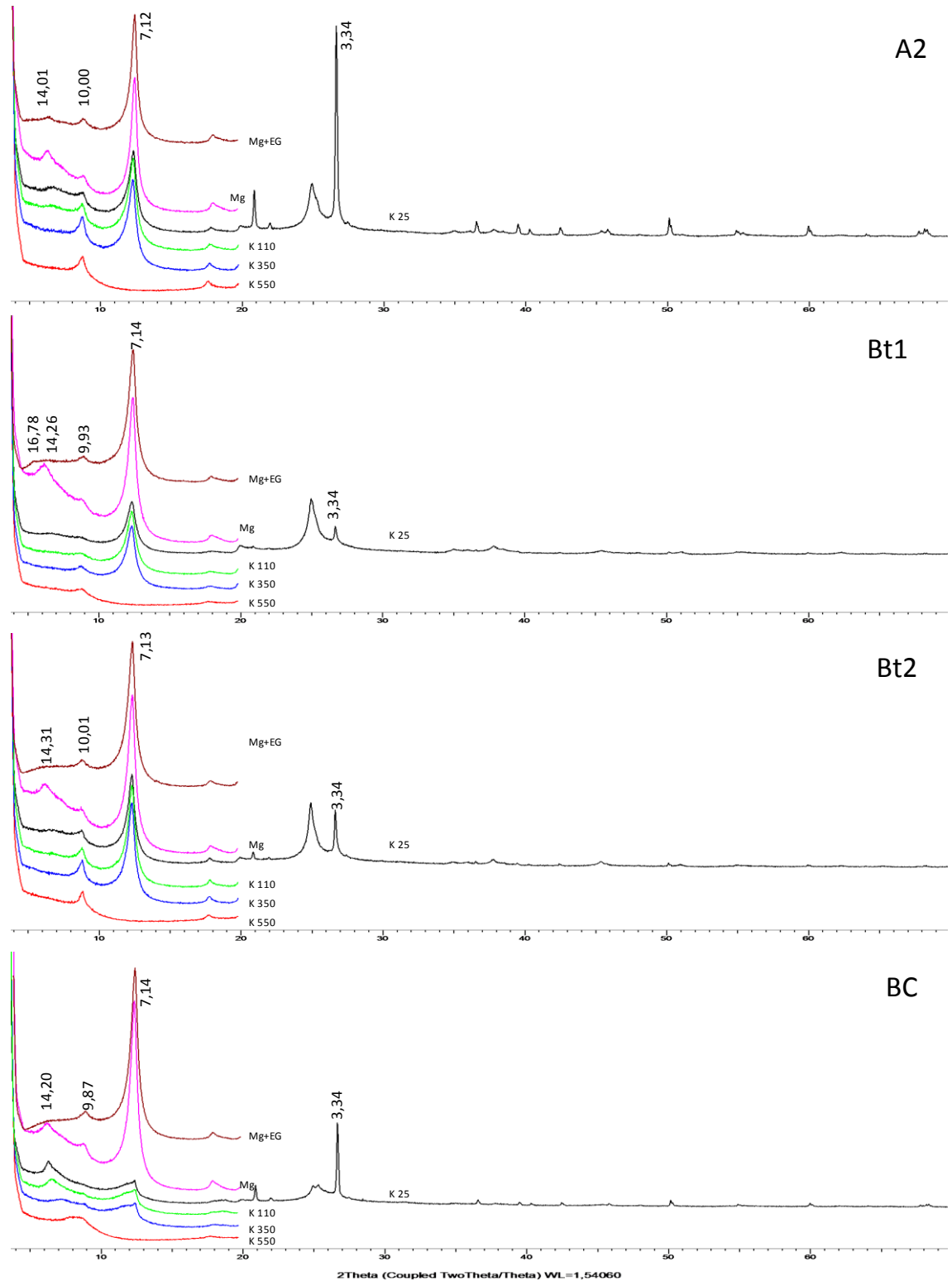


Figura 20: Difractogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt1, Bt3 e BC do perfil 51 RS. Na sequência de baixo para cima: difractogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

Nos difratogramas das amostras saturadas com K a 25 °C foram identificados o mineral quartzo (utilizado como padrão interno para ajuste das demais reflexões), caulinitas ( $d \approx 0,71$  nm), micas ( $d \approx 1,00$  nm) e argilominerais 2:1 ( $d \approx 1,35 - 1,40$  nm). Diferentemente dos perfis 11 RS e 12 RS, nesses perfis houve uma predominância de caulinita ( $d \approx 0,70$  nm) em todos os horizontes analisados.

Os tratamentos térmicos sequenciais promoveram o colapso das camadas dos argilominerais 2:1 para espaçamentos  $d \approx 1$  nm, com pequena assimetria dos reflexos em direção a ângulos menores, principalmente em profundidade. Nas amostras saturadas com Mg e lidas à temperatura ambiente observou-se a formação de reflexo em torno de 1,43 nm. Após a solvatação com etileno-glicol não houve modificações substanciais do espaçamento. A ocorrência de mica foi confirmada pela persistência de um reflexo de baixa intensidade em  $d \approx 1$  nm após os tratamentos para expansão. Nestes perfis não foi constatada a ocorrência de minerais interestratificados.

No perfil 13 RS o valor da atividade da fração argila (ATA) foi de 17  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  o que indica um solo que apresenta predomínio de caulinita com menor contribuição de minerais 2:1, enquanto para o perfil 51 RS os valores de atividade da fração argila foram de 13  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  corroborando com a mineralogia revelada pelos difratogramas. Esses valores de atividade da fração argila associados à mineralogia predominantemente caulinitica, e à maior intensidade dos reflexos de quartzo (Apêndice D) e menor intensidade dos reflexos de argilominerais 2:1 sugere que estes perfis de solos se encontram em um estágio de intemperismo mais avançado comparativamente ao perfil 11 RS, e este maior em relação ao perfil 12 RS.

#### 4.5.4 Perfil 16 RS

A composição mineralógica do perfil 16 RS, analisada por DRX nas amostras da fração argila desferrificada dos horizontes A2, Bt e BC, mostrou ser muito semelhante a composição verificada no perfil 12 RS, sendo

constituída, principalmente, por argilominerais 2:1 ( $d \approx 1,2$  nm), micas ( $d \approx 0,99$  nm) e caulinitas ( $d \approx 0,71$  nm) (Figura 21).

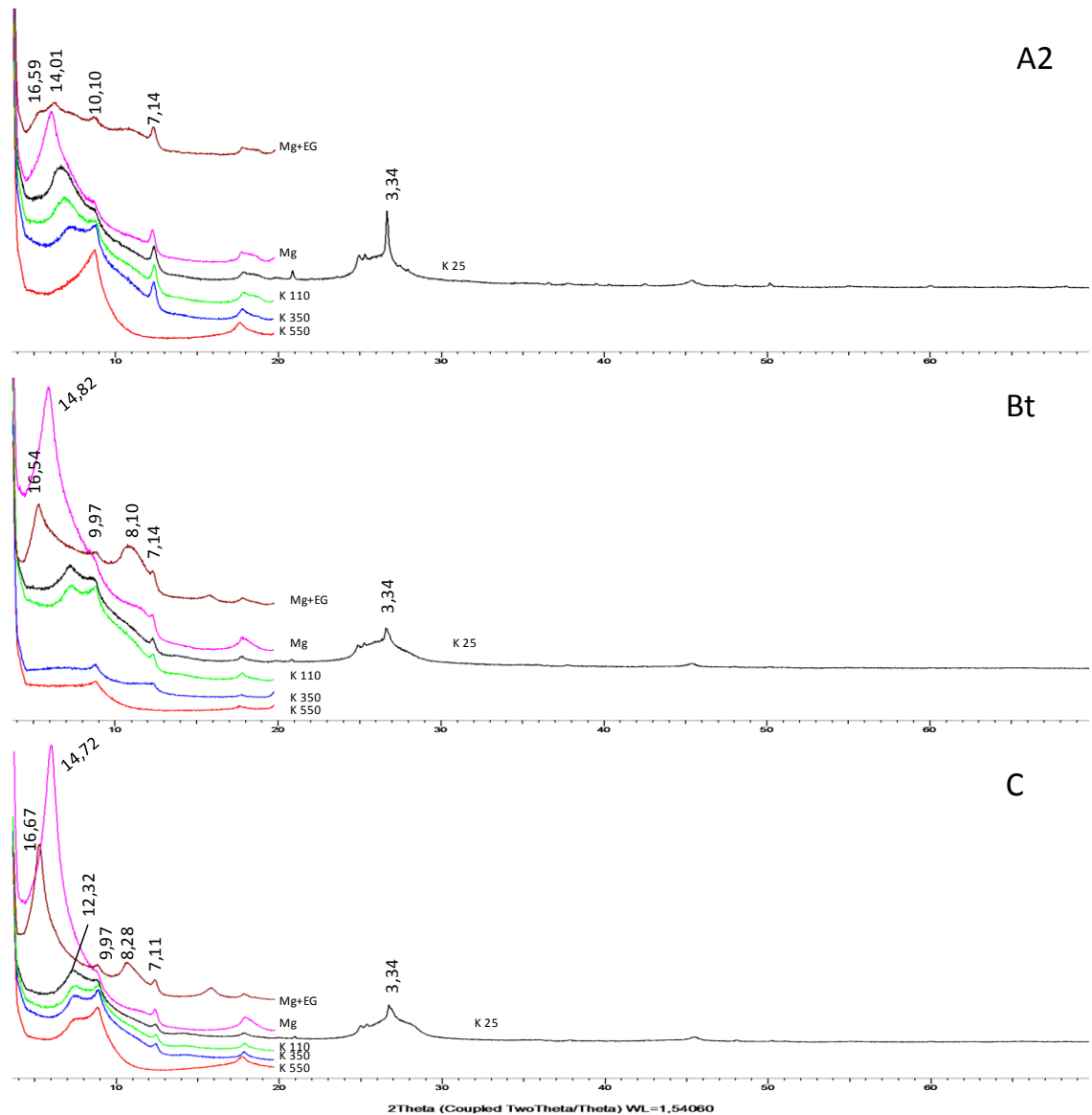


Figura 21: Difrátogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Bt e C do perfil 16 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

Com base na intensidade das reflexões o perfil 16 RS foi o perfil que apresentou os mais intensos reflexos de minerais 2:1 entre todos os perfis

investigados neste estudo. Segundo Melfi e Pedro (1977), nos horizontes subsuperficiais com restrições a percolação vertical de água a permanência de mais Si em relação ao Al é verificada favorecendo a formação destes argilominerais.

Nos difratogramas das amostras saturadas com K a 25 °C, os reflexos dos argilominerais 2:1 ocorreram em espaçamentos  $d \cong 1,3$  nm. Com os tratamentos térmicos sequenciais ocorreu uma contração das entrecamadas em direção a espaçamentos  $d \cong 1,0$  nm. No horizonte C, mesmo a 550 °C, parte dos argilominerais 2:1 não apresentaram contração para ângulos  $d \cong 1,0$  nm sugerindo a presença de interestratificados regulares mica-vermiculita ou mica-esmectitas.

Após os tratamentos com Mg e etileno-glicol, os reflexos de caulinita apresentaram comportamento semelhante ao observado nos perfis 11 RS e 12 RS, resultando na reflexão da caulinita ( $d \cong 0,71$ ) além de uma reflexão em  $d \cong 0,81$  sugerindo a ocorrência de interestratificados de caulinita-esmectita. Os argilominerais 2:1, por sua vez, após a saturação com Mg apresentaram expansões para espaçamentos  $d \cong 1,40$  nm com maior intensidade nos horizontes mais profundos. A solvatação dessas amostras com etilenoglicol possibilitou um incremento dos espaçamentos para valores de  $d \cong 1,66$  nm, indicando a presença do argilomineral esmectita desde a superfície do perfil. A presença de argilominerais 2:1 já havia sido observada para amostras de argila em pó (Apêndice E) e também na amostra de rocha analisada, indicando a origem litogênica destes minerais. Os valores da atividade da fração argila,  $K_i$  e a alta  $CTC_{pH7}$  são compatíveis com a mineralogia da fração argila indicando um solo pouco intemperizado.

#### 4.5.5 Perfil 17 RS

A composição mineralógica da fração argila desferrificada dos horizontes A2, Btg e C do perfil 17 RS foi constituída principalmente, argilominerais 2:1 ( $d \cong 1,4$  nm) e caulinita ( $d \cong 0,71$  nm) nesta ordem de importância (Figura 22).



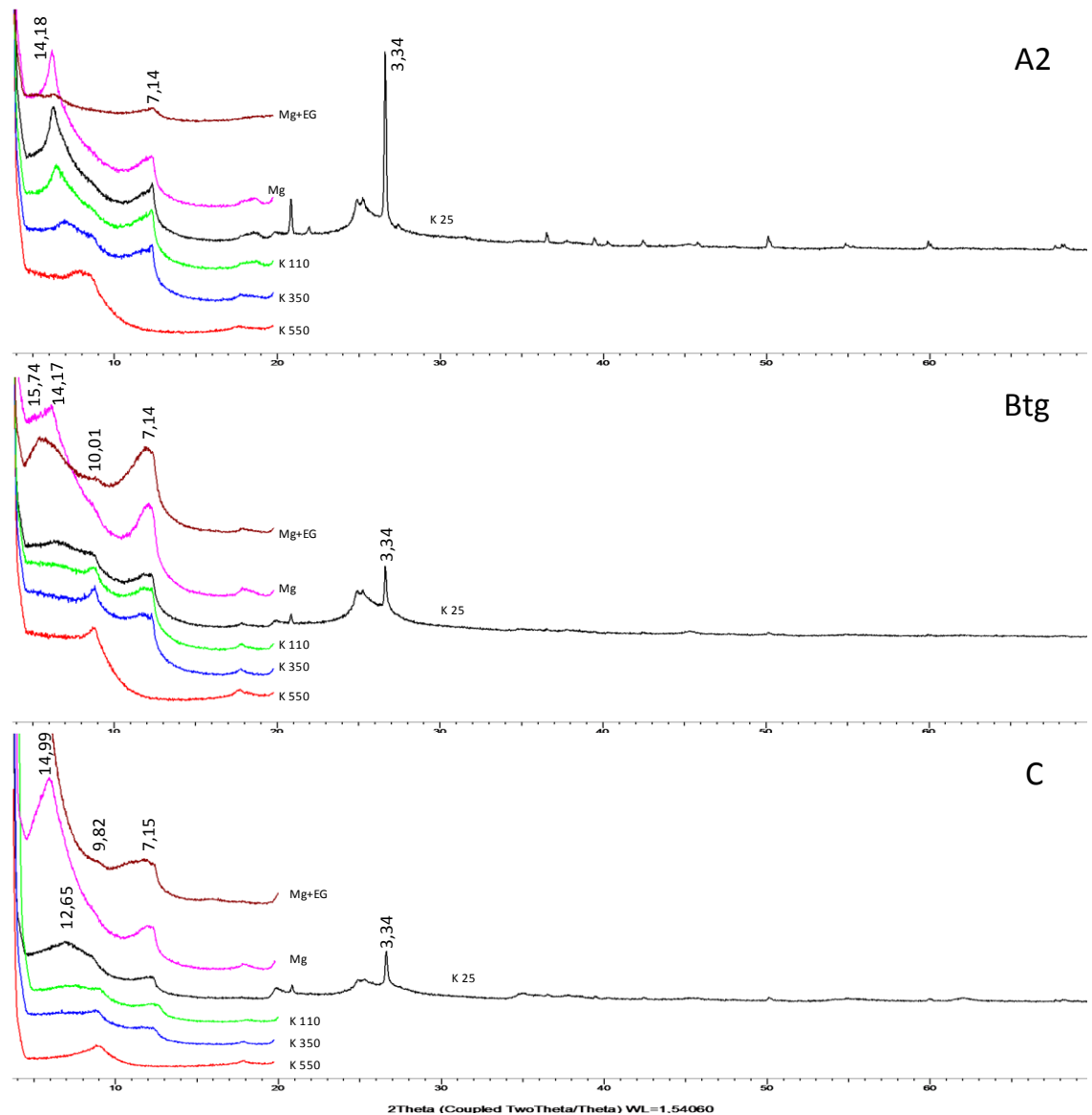


Figura 22: Difratomogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Btg e C do perfil 17 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

Nos difratogramas das amostras saturadas com K houve uma contração gradual com a evolução dos tratamentos térmicos para ângulos  $d \geq 1,0$  nm. Nas amostras saturadas com Mg, foram identificadas expansões para espaçamentos entre  $d \geq 1,41$  a 1,49 nm. Nestes mesmos difratogramas nos horizontes Btg e C foram observados reflexos alargados na região de 0,7-0,8

nm indicando a presença de interestratificados caulinita-esmectitas. A solvatação dessas amostras com etileno-glicol possibilitou um incremento do espaçamento para valores  $d \cong 1,57$  nm apenas no horizonte Btg. Este perfil diferiu dos demais devido a não identificação de mica, a qual pode ser evidenciada pela ausência de reflexos em  $d \cong 1,0$  nm nos tratamentos de Mg e Mg + etileno-glicol.

Os resultados revelados pela mineralogia são compatíveis com os valores da ATA (34-44  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e com o Ki indicando um solo pouco intemperizado apresentando mineralogia de caulinita associada a minerais 2:1. A mineralogia da rocha também foi similar às dos horizontes investigados revelando a presença de minerais 2:1 ainda na análise do material subjacente na forma de pó, apesar de que com pequena intensidade (Figura 9).

#### 4.5.6 Perfil 50 RS

Nos horizontes A2, Bt1 e C do perfil 50 RS, a composição mineralógica da fração argila desferrificada foi constituída principalmente por caulinitas ( $d \cong 0,71$  nm), micas ( $d \cong 1,0$  nm) e argilominerais 2:1 ( $d \cong 1,4$  nm) (Figura 23).

Houve a predominância do mineral caulinita nos três horizontes selecionados para análise associado com interestratificados 1:1-2:1. Os tratamentos térmicos sequenciais permitiram a contração das entrecamadas dos argilominerais 2:1 para espaçamentos  $d \cong 1,0$  nm.

O tratamento das amostras com Mg possibilitou a expansão dos argilominerais 2:1 para valores  $d \cong 1,4$  nm em todos os horizontes, entretanto a solvatação com etilenoglicol resultou na formação de reflexões em ângulos menores no horizonte C onde foi verificado um pequeno reflexo no espaçamento  $d \cong 1,6$  nm e também na elevação do background nessa região do horizonte Btf. Esse comportamento revela a presença de intercalação dos argilominerais 2:1 com polímeros de alumínio das entrecamadas (2:1 HE) principalmente nos horizontes mais subsuperficiais. A presença de micas em

baixa quantidade foi confirmada pela identificação dos reflexos em  $d \leq 1,0$  nm nestes mesmos tratamentos.

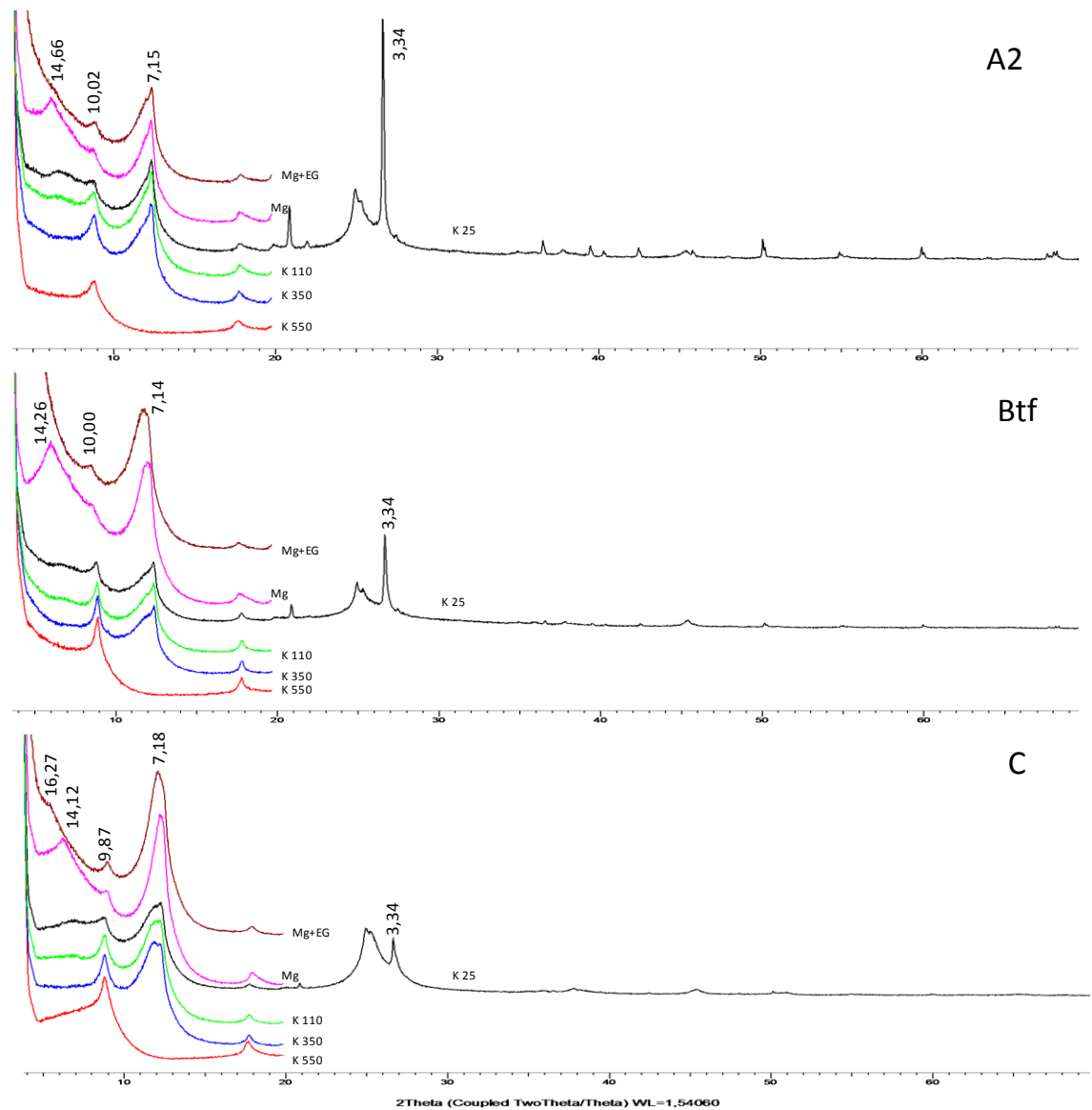


Figura 23: Difratomogramas da fração argila desferrificada dos horizontes A2 Btf e C do perfil 50 RS. Na sequência de baixo para cima: difratogramas das amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio e aquecimento a 550°C; 350°C; 100°C; a temperatura ambiente (K25); amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg); e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

Os valores de ATA indicam um solo caulínítico com a presença de pequena proporção de argilominerais 2:1 (22-30  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ). Esse perfil de solo se apresenta num estágio de intemperismo mais avançado se assemelhando

aos perfis 13 RS e 51 RS. Esses três perfis citados apresentam características morfológicas semelhantes sendo desenvolvidos em condições de boa drenagem. A mineralogia predominantemente caulínica, associada com a maior intensidade dos reflexos de quartzo (Apêndice G) e menor intensidade dos reflexos de argilominerais 2:1 sugere que estes perfis de solo se encontram em um estágio de intemperismo semelhante, entretanto, mais avançado comparativamente aos perfis 11 RS, 12 RS, 16 RS e 17 RS.

De uma maneira geral, considerando as diferentes proporções dos minerais na fração argila dos solos analisados, com base na intensidade das reflexões nos difratogramas, os solos puderam ser agrupados da seguinte forma: (i) nos perfis 11RS, 12 RS e 16 RS a ordem de predomínio dos minerais foi argilominerais 2:1 > micas > caulinita e interestratificados caulinita-esmectita/caulinita-vermiculita; (ii) nos perfis 51 RS e 50 RS a ordem foi caulinita > micas > argilominerais 2:1 HE; e (iii) no perfil 17 RS a predominância foi de argilominerais 2:1 em relação à caulinita e/ou interestratificados caulinita-esmectita, sendo este o único perfil onde não foi constatada a presença de micas.

#### **4.5 Relação argila fina: argila total (af:at).**

O fracionamento da argila auxilia no entendimento de processos atuantes na formação dos solos como a lessivagem, pois representa a magnitude da distribuição das partículas mais finas ao longo do perfil. Segundo Floate (1966), a migração vertical de argila pode ser determinada por incremento da razão argila fina: argila total (af:at) ao longo do perfil, e quando o aumento dessa relação está associado à presença de cerosidade forte e abundante no horizonte Bt dá suporte para afirmar a ocorrência de processos de eluviação:iluviação de argila (Almeida, 1992). Valores acima de 0,5 indicam a predominância da fração argila fina, e oscilações nessas razões ao longo do perfil permitem fazer suposições sobre a movimentação das partículas. Na figura 24 são apresentados os gráficos da distribuição da relação argila fina:argila total (af:at) ao longo dos perfis estudados.

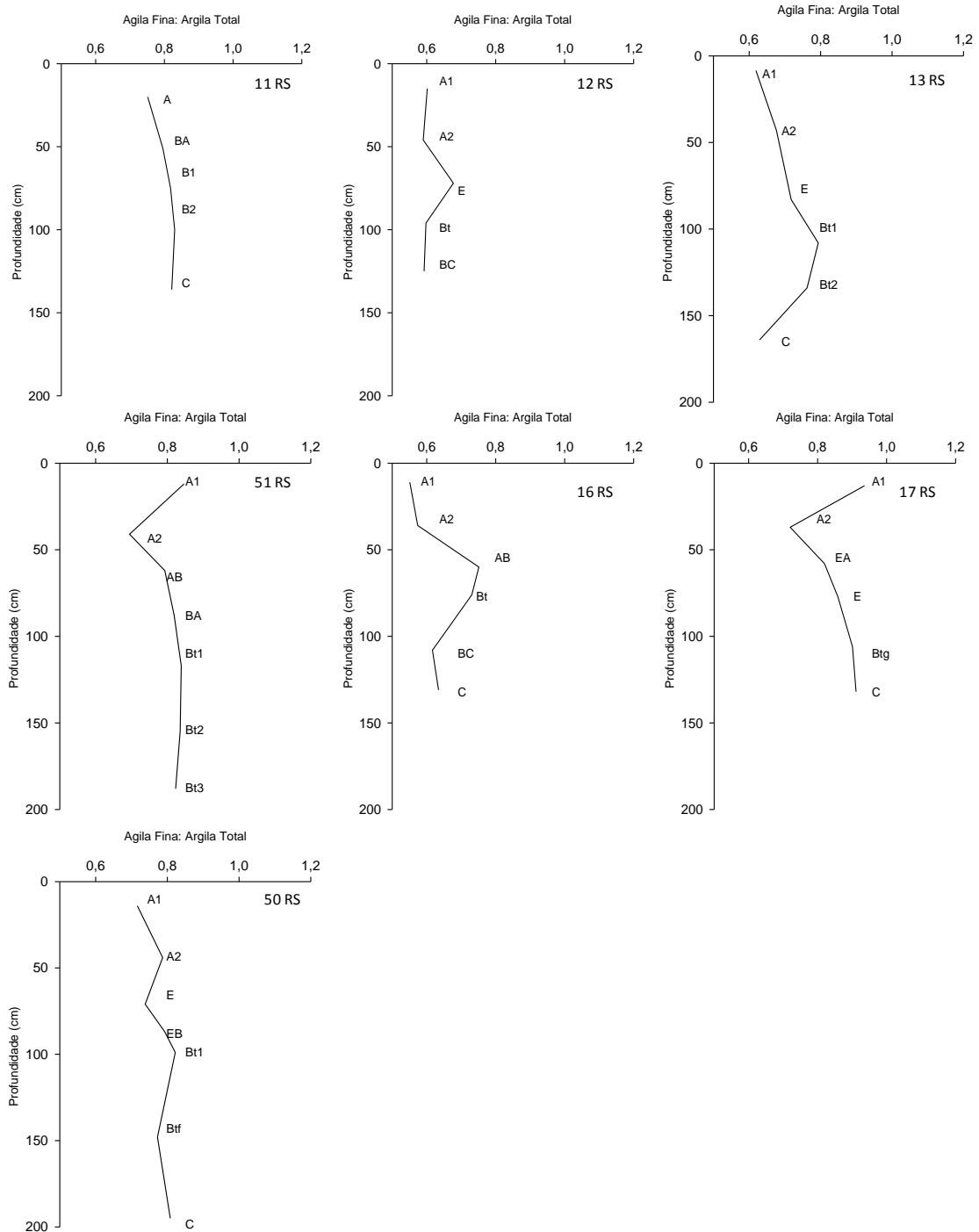


Figura 24: Relação argila fina:argila total (af:at) ao longo de perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria

O comportamento da relação af:at foi distinto entre os perfis avaliados, revelando um incremento de argila fina em profundidade para a maioria dos perfis investigados, com valores máximos observados em horizontes distintos de cada perfil, geralmente nos horizontes subsuperficiais

(Bt). Além da diferença no ponto de máxima relação af:at, também é expressiva a diferença na distribuição desta relação ao longo dos perfis, o que pode determinar diferentes origens para a formação dos horizontes Bt nos perfis de solos investigados.

O resultado da distribuição da relação af:at para perfil 11 RS corroborou com os resultados da morfologia (distribuição granulométrica), que não revelou a presença de horizonte iluvial (Bt). O pequeno aumento dessa relação ao longo do perfil acompanhou o aumento gradativo nos teores de argila até o horizonte Bt2, sem apresentar inflexão mais pronunciada em nenhum horizonte.

O perfil 12 RS, por sua vez, apresentou maior relação af:at no horizonte E com os valores variando entre 0,59 (horizonte A2) e 0,68 (horizonte E), sendo o único perfil a apresentar essa distribuição. Nesse perfil, o horizonte E também apresentou baixo valor de grau de flocculação (GF=70 %) indicando que parte da argila deste horizonte apresenta condições de ser movimentada no perfil. Por ser um perfil com grau de intemperismo incipiente (conforme será discutido adiante), este perfil pode estar em processo ainda incipiente de formação do horizonte B textural. Outra hipótese é que o horizonte Bt identificado na morfologia tenha outra origem que não a lessivagem.

No perfil 13 RS a distribuição desta relação sugere a origem iluvial da argila no horizonte Bt, já que os teores de argila fina aumentaram em profundidade até o máximo no horizonte de acúmulo Bt1 seguida de uma redução nos horizontes subjacentes. Essa característica de decréscimo dos valores desta relação nos horizontes abaixo do horizonte de máxima relação decorre do fato de que as frações de menor diâmetro transportadas pelo fluxo vertical são imobilizadas em alguma porção do horizonte B, passando então a constituir uma barreira à continuidade do transporte fazendo com que, a razão antes citada, decresça a partir do horizonte de máxima concentração de argila total (ALMEIDA, 1992). Esse comportamento também foi verificado no perfil 16 RS, onde ocorreu a menor relação af:at no horizonte A1 seguida por um aumento crescente até o horizonte AB mantendo-se ainda elevada no Bt. No horizonte BC, o valor desta relação diminui.

Para o perfil 51 RS os valores da relação af:at apresentaram um aumento gradual a partir do horizonte A2 até o horizonte Bt2 e pequena

diminuição da relação nos horizontes Bt3 e CR. Nesse perfil, os valores variaram entre 0,69 (horizonte A2) e 0,85 (horizonte A1). É interessante observar que a menor relação af:at acontece no horizonte superficial A2 seguida por um aumento gradativo com o aprofundamento no perfil. O perfil 17 RS apresentou comportamento semelhante sendo que, nesse perfil, a relação af: at também apresentou menor valor no horizonte A2.

O perfil 50 RS não apresentou distribuição uniforme, sendo observado menores relações af:at para os horizontes A1 e E (0,72 e 0,74 respectivamente) e máxima relação para o horizonte Bt1 (0,82). A distribuição inconstante não permite fazer inferências sobre a origem iluvial para a formação do gradiente textural observado neste perfil de solo.

De forma global, observando a posição na paisagem onde os solos foram desenvolvidos, não houve similaridade na distribuição da relação af:at entre os perfis de solo desenvolvidos sobre posições semelhantes da paisagem, como no caso de perfis de meia encosta (51RS, 16 RS e 50 RS), ou de sopé coluvial (11 RS e 17 RS).

Todos os perfis apresentaram aumento da relação af:at em subsuperfície, em proporções diferentes, entretanto apenas os perfis 13 RS e 16 RS apresentaram indícios consistentes da ocorrência de migração vertical de argila fina. Nos demais perfis, o processo de lessivagem não é descartado, entretanto outros fatores podem estar envolvidos na formação do gradiente textural observado, indicando a ação de processos distintos atuando na formação desses solos, ou até mesmo contribuição alóctone. Bortoluzzi et al., (2008), analisando perfis de Argissolos na região de Santa Maria observou que, apesar do processo de translocação vertical de partículas ter sido marcante na formação do gradiente textural, um dos perfis investigados apresentou indícios de descontinuidade litológica, indicando que o processo de migração de partículas não é o único responsável pela formação de gradiente textural.

#### **4.6 Área superficial específica (ASE)**

A superfície específica do solo é uma propriedade fundamental e intrínseca que tem relação com fenômenos importantes, como a troca

catiônica, adsorção e liberação de produtos químicos diversos, dilatação, retenção de água, e propriedades mecânicas, tais como plasticidade, coesão e força. A compreensão de uma série de reações físico-químicas pode ser explicada pela ASE do solo, e em solos com gradiente textural elevado ela pode auxiliar na compreensão de algumas propriedades como granulometria e mineralogia.

Na figura 25 são apresentados os gráficos da distribuição dos valores de ASE ao longo dos perfis de solo investigados. Os valores apresentaram grande variação, com os menores valores observados nos horizontes superficiais e eluviais (A e E), e os maiores nos horizontes subsuperficiais B. Além disso, também houve diferenças entre perfis, principalmente no que se refere aos valores máximos observados, visto que a amplitude de valores foi grande (variando de 13,42 a 102,4  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ).

No perfil 11 RS o aumento da ASE foi gradual ao longo do perfil. Esse aumento gradativo mostrou-se relacionado com o aumento dos teores da argila total e da relação af:at ressaltando a importância das frações mais finas na expressão da ASE. Nos perfis 12 RS e 13 RS, a presença de um horizonte eluvial (E), juntamente com o aumento da ASE nos horizontes subsuperficiais, em comparação aos horizontes sobrejacentes, reforça a existência de gradiente textural abrupto no perfil. Além disso, o aumento expressivo de ASE verificado no perfil 12 RS (horizontes Bt e BC) se deve, possivelmente a influência de mais de um fator. Além do gradiente textural ocasionado pelo aumento considerável nos teores de argila, a presença de argilominerais 2:1 se refletiu nesse aumento, como pode ser verificado no item Mineralogia. Mesmo de forma não tão expressiva, esse comportamento também foi apresentado pelos perfis 16 RS e 17 RS, confirmando mais uma vez a influência de argilominerais 2:1 na expressão da ASE do solo.

Para o perfil 51 RS é verificado um aumento gradativo nos valores de ASE até o horizonte Bt1, seguido de uma redução até o horizonte Bt3. O perfil 50 RS, por sua vez, apresentou comportamento semelhante aos perfis 12 RS, 13 RS, 16 RS e 17 RS, com um aumento abrupto do horizonte EB para o horizonte Bt1, porém nesse perfil o aumento da ASE em profundidade se justifica principalmente pelo aumento nos teores de argila. Avaliando os perfis 13 RS, 17 RS e 50 RS, observa-se que estes exibiram uma pequena redução



nos valores de ASE do horizonte A1 para o horizonte A2 o que pode ser efeito da matéria orgânica presente nesses horizontes superficiais conforme verificado por Tomasi et al., (2012) e Inda et al., (2014).

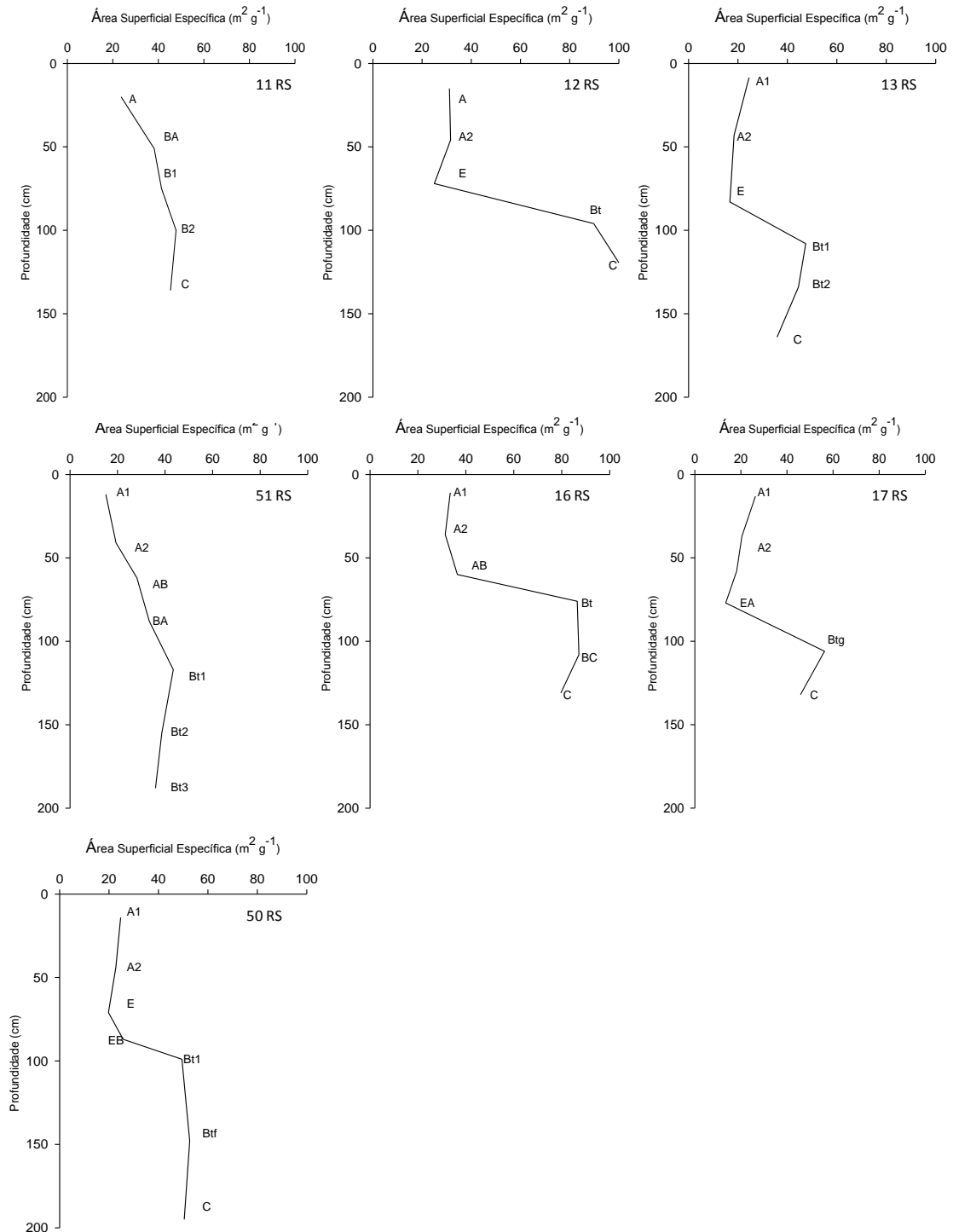


Figura 25: Área superficial específica (m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) do solo nos perfis desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria-RS

Visto que a contribuição da argila é amplamente citada como uma das origens da elevação dos valores de ASE do solo, foram realizadas regressões verificando a influência do teor de argila na ASE. A figura 26-a mostra que apesar de apresentar baixo coeficiente de regressão ( $R^2 = 0,34$ ), observa-se uma tendência de que quanto maiores são os teores de argila, maiores serão os valores da ASE. Nessa mesma figura são observados cinco pontos que não seguem o padrão de comportamento (“out liers”). Verificando a origem desses pontos, observamos que eles são horizontes B texturais de dois perfis de solo com características químicas semelhantes entre eles (eutróficos), porém distintos dos horizontes B texturais dos demais perfis. Com base nisso, realizou-se nova distribuição das relações entre os teores de argila e a ASE sem os cinco pontos, obtendo-se maior correlação ( $R^2 = 0,74$ ) (Figura 26-b).

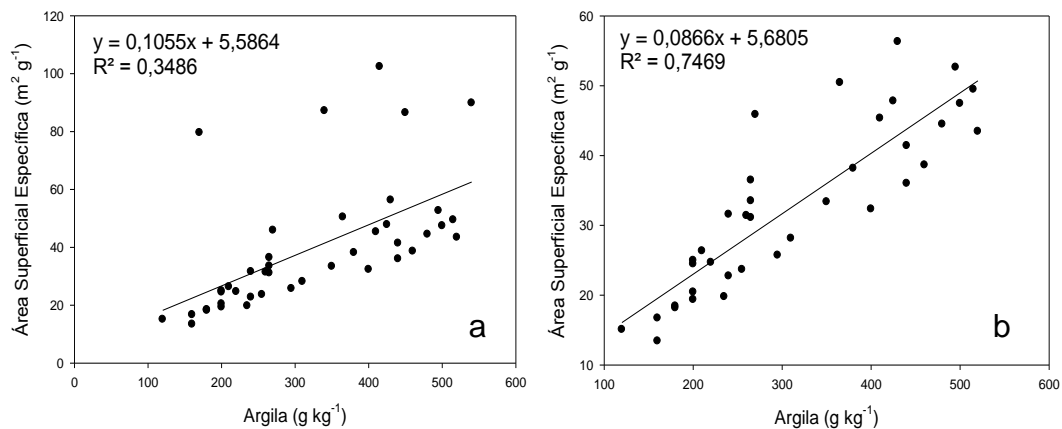


Figura 26: Relação entre as variáveis Área Superficial Específica e teor de argila do solo para todos os horizontes de todos os perfis de solo estudados (a), e sem os “out liers” (b).

Os horizontes que foram citados como “out liers”, no item mineralogia apresentaram composição esmectítica. Dessa forma ressalta-se a importância da composição mineralógica da fração argila na expressão da ASE como uma análise complementar na avaliação das diferenças observadas. Isto indica também que solos com mesmos conteúdos de argila podem ter ASE muito diferentes.

#### 4.7 Indicadores de descontinuidade litológica

#### 4.7.1 Sedimentologia da fração areia

Horizontes superficiais profundos e de classe textural arenosa contrastando com horizontes subsuperficiais de granulometria predominantemente mais fina, desencadearam incertezas sobre a origem e os processos envolvidos na formação dos solos em estudo. Uma das hipóteses é que esses horizontes, com diferenças expressivas no conteúdo de argila, sejam devidas a descontinuidades litológicas por contribuição coluvial (material alóctone), ou por descontinuidade no material formador do solo. Segundo Fine, et al., (1992), a identificação de descontinuidades é mais difícil à medida que o solo se desenvolve, pois as translocações e transformações dentro do perfil podem mascarar e confundir as evidências de descontinuidades (Silva et al., 2002). Assim, por se constituir a fração do solo que mais resiste às forças do intemperismo, a areia pode contribuir com importantes informações sobre o material de origem. Suguio (1973) cita que, dentre as informações que podem ser obtidas pela análise granulométrica da fração areia, estão conhecimentos relacionados à gênese dos sedimentos, além de ser possível correlacionar sedimentos de distintas áreas fontes por meio de tratamentos estatísticos.

Considerando os histogramas de distribuição dos diâmetros da fração areia dos horizontes de cada perfil de solo é possível observar as variações entre horizontes dentro de cada perfil, além das variações entre todos os perfis investigados (Figura 27). Em cada histograma, é apresentada a porcentagem de partículas separadas em classes de tamanho (escala Phi) de todos os horizontes de cada perfil, sendo que, maiores valores de Phi correspondem a partículas com menor diâmetro.

Em geral, foi observada a predominância das frações mais finas (classe 2,74), corroborando com as informações geológicas descritas para a formação Sanga do Cabral, que citam esta formação como composta por arenitos avermelhados de granulometria fina a média (Soares, 2008). Diferenças de granulometria foram verificadas em horizontes específicos de alguns perfis, o que pode indicar contribuição alóctone ou descontinuidades. Michelin et al., (2010), avaliando solos da região de Santa Maria observaram

que dois solos, apesar de apresentarem menor contraste morfológico, apresentaram evidências que sustentam a possibilidade de deposição.

É possível afirmar que existe uma similaridade entre a distribuição granulométrica da fração areia dos perfis 11 RS, 13 RS e 17 RS. Houve uma maior concentração de partículas finas (aproximadamente 70 %) com predominância da classe de 2,74 Phi (aproximadamente 40 % do total de partículas). Em todos os horizontes dos perfis 11 RS e 17 RS há uma semelhança na distribuição do tamanho das partículas, condizendo com um perfil autóctone, ou seja, desenvolvido sobre um mesmo material de origem devendo ser considerado ainda que o perfil 17 RS foi o perfil que apresentou menor variação na porcentagem de partículas em cada horizonte. Nesses dois perfis, a ocorrência de descontinuidade litológica deve ser descartada, uma vez que é observada homogeneidade entre horizontes. No perfil 13 RS, entretanto, apesar de ser observada uma distribuição bastante homogênea entre os horizontes, é verificada uma pequena discrepância para uma das classes de tamanho (2,24 Phi) sendo que o horizonte mais profundo (C) apresentou maior quantidade de partículas concentradas nessa classe. Essa diferença deve ser investigada através de outras análises.

No perfil 12 RS, apesar de ainda se observar a predominância de material mais fino (aproximadamente 70 a 80 %), houve uma inversão da classe de tamanho predominante ao longo do perfil. Enquanto nos horizontes A1 e E a predominância foi de grãos da classe de 2,74 Phi, para o horizonte Bt a predominância das partículas ocorreu na classe de 3,74 Phi. Verifica-se um enriquecimento de partículas mais finas conforme aumenta a profundidade do perfil do solo. Essa variação pode ser um indício de material originário distinto, porém como ela acontece com o aprofundamento do perfil de modo gradativo, ela também pode ser proveniente de processos pedogenéticos envolvidos no desenvolvimento do perfil.

Dentro da topossequência avaliada nesse estudo (perfis 11 RS, 12 RS e 13 RS) é possível observar uma dissimilaridade entre os solos, sendo que o perfil 12 RS foi o que apresentou características de distribuição da fração areia distintas dos demais. Diferenças na composição do material de origem desses três perfis é a provável causa dessa dissimilaridade visto que já havia

tido identificado que a mineralogia do perfil 12 RS foi distinta dos demais perfis.

No perfil 16 RS, para os horizontes mais profundos (BC e C), foi observado o comportamento similar ao ocorrido com o perfil 12 RS. Apesar de apresentar predominância das frações mais finas desde o topo do perfil, nos horizontes mais profundos, quase a totalidade das partículas se concentrou nas três classes de diâmetros menores, com até 94 % das partículas apresentando diâmetro inferior a 2,24 Phi. Observando os valores de silte anteriormente apresentados, esses perfis apresentaram valores elevados desta fração nos horizontes mais inferiores, que seria uma continuidade das frações mais finas de areia.

No perfil 51 RS, é verificada uma similaridade entre os horizontes, com uma distribuição homogênea em relação às classes de tamanho intermediárias, o que indicaria uma continuidade no material originário ao longo do perfil. Entretanto, ao comparar a distribuição dos diâmetros das partículas, não houve uma classe de tamanho de partículas predominante como foi verificado para os demais perfis avaliados. Essa distribuição mais uniforme é condizente com um material que sofreu pouco transporte ou que está próximo de sua área-fonte (SUGUIO, 1973), sendo o perfil que se diferenciou dos demais pela distribuição das classes granulométricas. Esse perfil deve ter sido desenvolvido sobre uma fácies distinta dos demais ou de outra formação litológica, como no caso da formação Santa Maria (Membro Passo das Tropas que apresenta granulometria mais grosseira – psamítica segundo Zeffass, (2003) e Soares (2008)).

No perfil 50 RS foram observadas duas formas de distribuições para a fração areia ao longo do perfil. Entre os horizontes superficiais, houve a predominância de partículas finas com diâmetro inferior a 2,24 Phi, enquanto os horizontes subsuperficiais B<sub>tf</sub> e C apresentaram concentração de partículas nas classes intermediárias (1,23 e 1,74 Phi). Uma das principais explicações é que essa variação na distribuição das partículas em profundidade pode estar ligada a descontinuidades litológicas, visto que a ação de processos pedogenéticos não favoreceria partículas de maior diâmetro em profundidade.

Os gráficos que apresentam os valores (em gramas) das classes de tamanho de partículas acumulados para cada perfil é apresentado na figura 28.

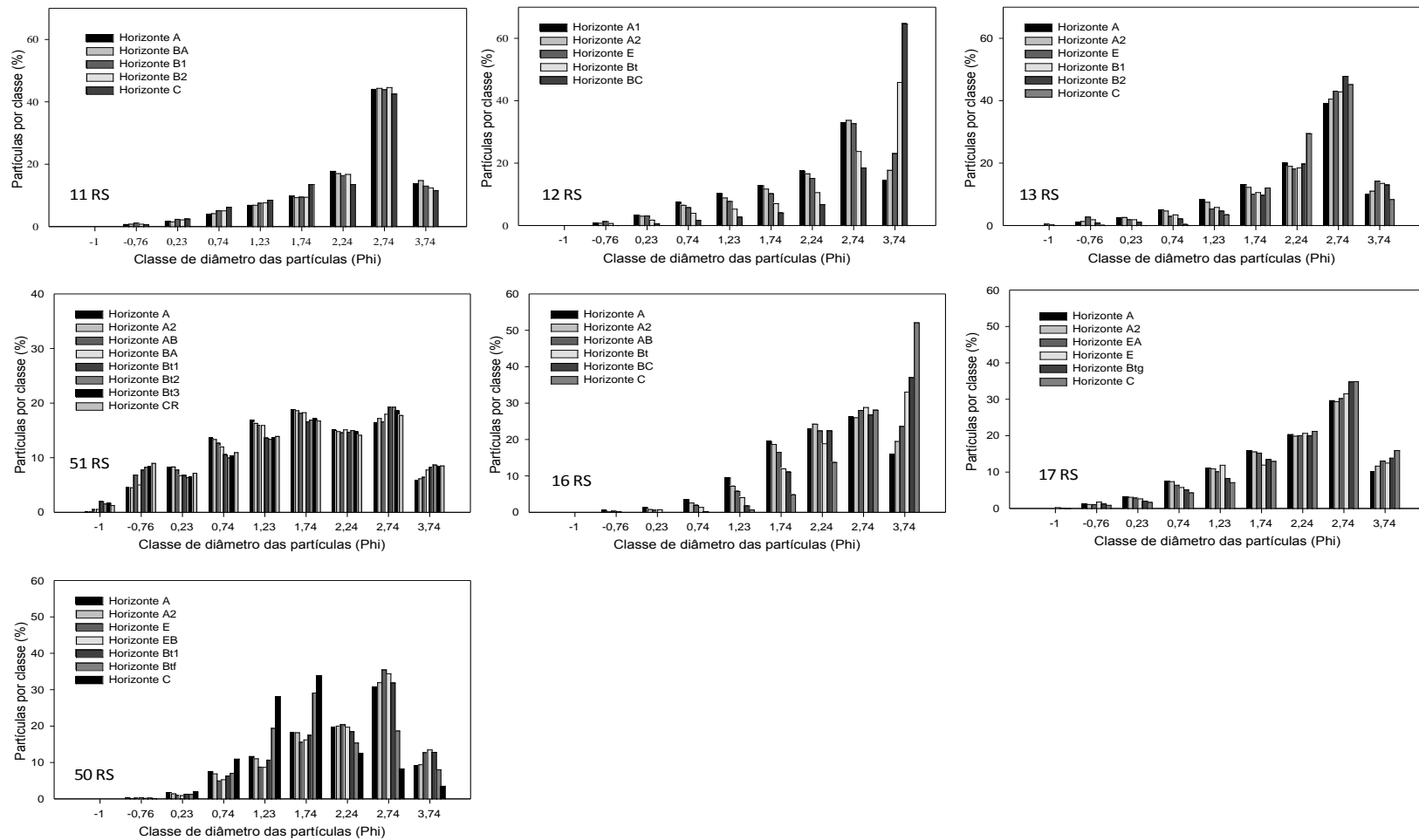


Figura 27: Histogramas de distribuição granulométrica da fração areia dos perfis de solo investigados.

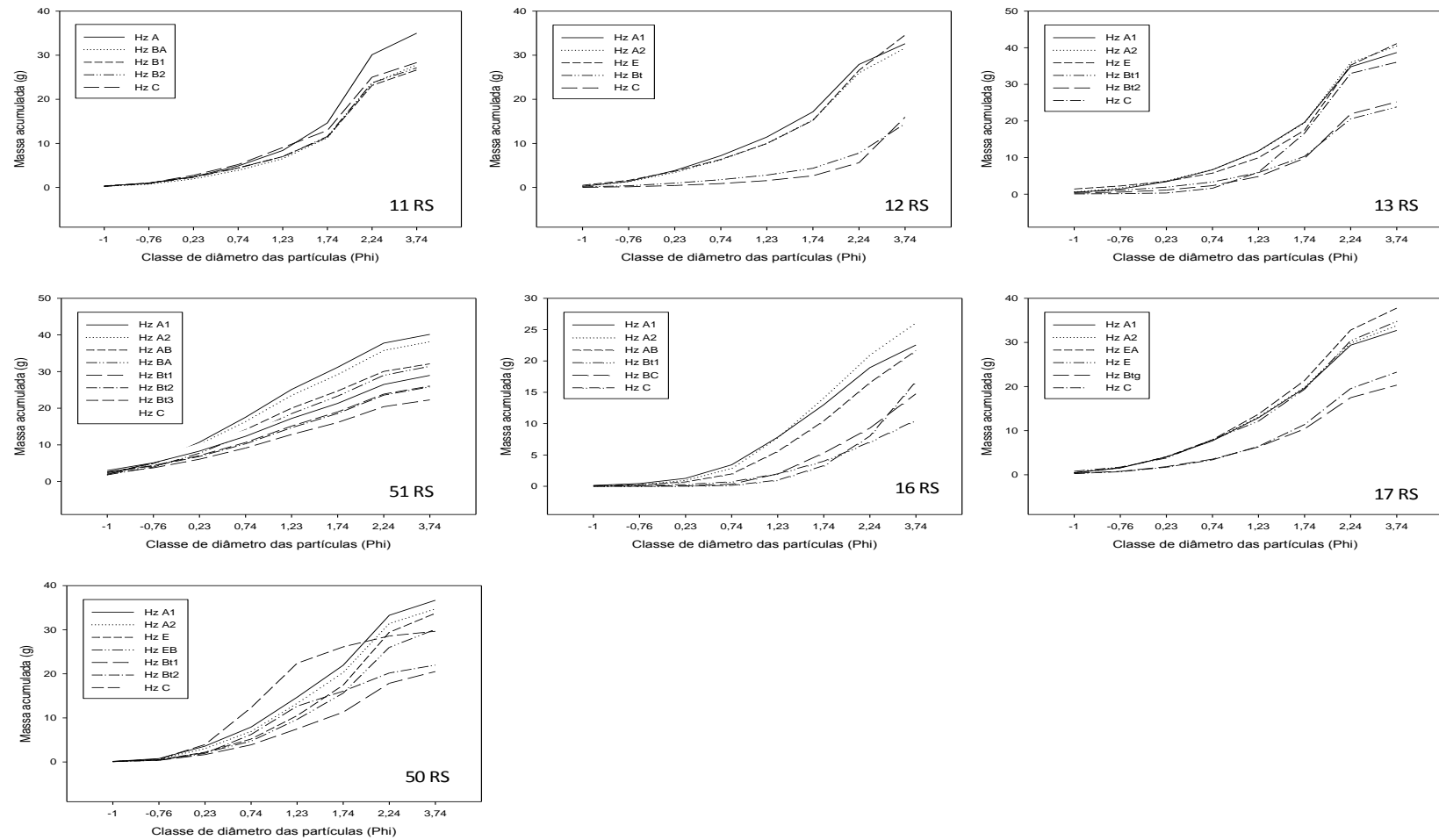


Figura 28: Teores (g) das classes de tamanho de partículas acumulados para todos os horizontes dos perfis de solo investigados.

Na figura 28 é possível comprovar as informações geradas pelos histogramas e observar algumas características relacionadas às quantidades de cada classe de partículas em relação aos demais horizontes.

Os perfis 11 RS, 17 RS e 51 RS apresentaram distribuição das frações ao longo do perfil semelhantes entre horizontes, apenas evidenciando os menores teores de areia total nos horizontes mais profundos. Nesses perfis, como já havia sido discutido nos histogramas, a ocorrência de descontinuidades inexistiu. Silva, et al. (2002), avaliando a fração areia de três perfis de solo do semiárido também verificaram que o acúmulo de argila nos horizontes subsuperficiais não foi resultado de processos deposicionais, uma vez que os parâmetros estudados não apresentaram variações em profundidade que indicassem a sua ocorrência.

Os perfis 12 RS, 13 RS e 16 RS apresentaram distribuição semelhante entre eles, com horizontes subsuperficiais apresentando menores teores de areia acumulada em relação aos horizontes superficiais. Esses perfis apresentaram enriquecimento de partículas finas (classes 2,74 e 3,74 Phi) no horizonte C. Como já havia sido discutido, a razão dessa diferenciação pode ter tanto causas pedogênicas, quanto por descontinuidades.

O perfil 50 RS foi o perfil que apresentou indícios mais fortes de descontinuidade litológica (Figura 28), onde é clara a diferenciação na distribuição das partículas da fração areia dos horizontes Bt1, Bt2 e C para os demais horizontes.

#### 4.7.2 Parâmetros sedimentológicos/estatísticos

Outro instrumento auxiliar na avaliação da distribuição das partículas da fração areia dos solos é a comparação entre os parâmetros estatísticos. Segundo Folk e Ward, (1957), a avaliação desses parâmetros auxilia na distinção de ambientes sedimentares. Além disso, o detalhamento da fração areia, por considerá-la de menor mobilidade no solo, reflete as condições originais de sedimentação (Clemente et al., 1986), sendo um instrumento útil para avaliação de descontinuidades litológicas em perfis de solos. Para solos, principalmente para os derivados de material sedimentar, as características da



distribuição de frequência de tamanho de partículas têm sido empregadas em estudos de evolução pedogenética do perfil (Rueda e Demattê, 1988). Na tabela 9 são apresentados os parâmetros de diâmetro médio (DM), grau de seleção (GS), assimetria e curtose calculadas para os dois horizontes diagnósticos de cada perfil segundo parâmetros propostos por Folk e Ward, (1957).

De acordo com Aloisi, et al. (1978), o diâmetro médio reflete a média geral do tamanho dos sedimentos. É possível observar que houve uma similaridade entre os perfis com exceção ao perfil 50 RS que apresentou os maiores valores de diâmetro médio (1,39  $\phi$ ). Os demais perfis apresentaram valores que variaram entre 1,51 e 1,94  $\phi$ , sendo que sempre apresentaram menor diâmetro médio de partículas nos horizontes subsuperficiais, como já havia sido observada pelos gráficos de massa acumulada.

O grau de seleção dá uma ideia da seletividade do agente transportador das partículas, através de uma medida do desvio em relação à média (Suguio, 1973). Nos resultados da tabela 9, o grau de seleção foi maior no perfil 16 RS seguido dos perfis 11, 13, 50, 17, 12 e 51 RS. Observando essa sequência e a classificação dos perfis referente ao grau de seleção, apenas o perfil 51 RS novamente apresentou divergência na classificação do grau de seleção (pobrememente selecionado).

A assimetria permite avaliar a distribuição dos diâmetros médios em relação aos parâmetros de média, de moda ou de mediana. Segundo Suguio (1973), quanto mais negativa a assimetria, maior é a predominância de subfrações de areia de menor diâmetro. Concordando com essa afirmação é possível observar que os valores de assimetria dos horizontes subsuperficiais avaliados foram menores em relação aos horizontes superficiais de quase todos os perfis. De modo geral, foi constatada assimetria muito negativa e negativa caracterizando a predominância de material de menor diâmetro, confirmando o que já havia sido verificado nos histogramas de distribuição das partículas.

A curtose indica a razão de espalhamento médio nas caudas das curvas, ou o grau de agudez ou achatamento dos picos das curvas de distribuição de frequências (Aloisi, et al. 1978) indicando a normalidade dos dados (Folk e Ward 1957). Como uma medida do grau de achatamento,

podemos observar que a maioria dos perfis apresentou curtose classificada como mesocúrtica, o que aproxima os horizontes avaliados da distribuição normal. Apenas os perfis 11 RS, 13 RS e o horizonte Btg do perfil 17 RS classificaram a distribuição das partículas como leptocúrtica indicando a predominância de grãos nas classes mais próximas ao extremo, no caso, de menor diâmetro.

Tabela 9 Valores de diâmetro médio ( $\phi$  - Phi), grau de seleção (Phi), assimetria e curtose relativos à análise sedimentológica da fração areia dos horizontes diagnósticos dos perfis de solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares na região de Santa Maria – RS, utilizando os parâmetros estatísticos propostos por Folk e Ward (1957).

Amostra	DM ( $\phi$ )	Grau de Seleção ( $\phi$ )	Assimetria		Curtose			
			Class	-	Class	-		
11 RS	A	2,13	0,78	Mod. Selecionado	- 0,36	Mt. negativa	1,39	Leptocúrtica
	B1	2,07	0,83	Mod. Selecionado	- 0,40	Mt. negativa	1,32	Leptocúrtica
12 RS	A1	1,94	0,91	Mod. Selecionado	- 0,29	Negativa	1,03	Mesocúrtica
	Bt	2,51	0,94	Mod. Selecionado	- 0,30	Negativa	1,07	Mesocúrtica
13 RS	A1	2,01	0,81	Mod. Selecionado	- 0,35	Mt. negativa	1,15	Leptocúrtica
	Bt 1	2,12	0,81	Mod. Selecionado	- 0,37	Mt. negativa	1,45	Leptocúrtica
51 RS	A1	1,39	1,07	Pob. Selecionado	- 0,10	Apx. simétrica	1,01	Mesocúrtica
	Bt 1	1,39	1,21	Pob. Selecionado	- 0,17	Negativa	0,99	Mesocúrtica
16 RS	A1	2,02	0,79	Mod. Selecionado	- 0,06	Apx. simétrica	1,05	Mesocúrtica
	Bt	2,44	0,80	Mod. Selecionado	- 0,06	Apx. simétrica	0,97	Mesocúrtica
17 RS	A1	1,99	0,89	Mod. Selecionado	- 0,17	Negativa	1,02	Mesocúrtica
	Bt g	2,21	0,85	Mod. Selecionado	- 0,19	Negativa	1,16	Leptocúrtica
50 RS	A1	1,87	0,83	Mod. Selecionado	- 0,17	Negativa	0,98	Mesocúrtica
	Btf	1,68	0,80	Mod. Selecionado	- 0,14	Positiva	0,95	Mesocúrtica

Class: classificação; Mod: moderadamente; Pob: pobremente; Mt: muito; Apx: aproximadamente.

De modo global, os parâmetros estatísticos avaliados auxiliaram na diferenciação do perfil 51 RS como sendo originado de material distinto dos

demais perfis (com maior diâmetro médio e com grau de seleção pobremente selecionado), e para o perfil 50 RS onde os horizontes apresentaram comportamento oposto em relação à assimetria, identificando grãos com diferenças significativas ao longo do perfil.

#### 4,7.3 Relação areia fina/areia total (arf/art) e Valor de uniformidade (VU)

A avaliação de descontinuidades litológica em perfis de solos também é realizada a partir de outras metodologias. Dentre elas, duas bastante difundidas são a relação areia fina/areia total (arf/art) e valor de uniformidade (VU). A relação areia fina/areia total (arf/art) é determinada pelo fracionamento da areia do solo sendo que diferenças abruptas nesta relação ao longo do perfil denotam possíveis descontinuidades no material de origem. Segundo Cabrera-Martinez et al. (1988); Miller et al. (1993) e Schaetzl (1998) quando ocorrem processos de sedimentação de material litologicamente diferente, são verificadas quebras acentuadas dessa relação ao longo do perfil de um solo. O valor de uniformidade por sua vez, é obtido pela razão entre frações granulométricas de um horizonte superficial (numerador) e do horizonte subjacente (denominador) onde valores próximos a 1 denotam descontinuidade litológica entre os horizontes.

De acordo com os valores da relação arf/art e VU apresentados na tabela 10 de todos os perfis avaliados, os perfis que diferiram foram os perfis 12 RS, 16 RS, e com maior expressão o perfil 50 RS. O que se observou é que houve variações entre perfis, com relações variando de 0,24 no horizonte C do perfil 50 RS a 0,94 no horizonte C do perfil 16 RS. Entretanto, entre horizontes, em cada perfil houve apenas o aumento da relação arf/art em profundidade (exceção ao perfil 11 RS que apresentou redução), corroborando mais uma vez com os resultados expostos pela sedimentologia onde foram verificados incrementos na fração areia fina ao longo dos perfis. A exceção foi novamente observada para os horizontes subjacentes do perfil 50 RS que apresentaram uma redução marcante na relação arf/art ( $\approx 20\%$ ) entre os horizontes Bt1 e Bt2 evidenciando mais uma vez a descontinuidade das características da fração areia ao longo deste perfil. Também foi verificado que

o perfil 51 RS apresentou as menores relações arf/art, confirmando o maior diâmetro médio de partículas observado pela análise dos parâmetros estatísticos (Tabela 9). Resultados semelhantes de relação arf/art foram observados por Almeida et al. (1997), Mafra et al. (2001), Silva et al., (2002) e Bortoluzzi et al (2008). Nesses estudos, para a maioria dos solos avaliados foi descartada a presença de descontinuidades litológicas.

Em relação ao valor de uniformidade, para todos os perfis investigados (exceção ao perfil 50 RS), os únicos horizontes que apresentaram indícios de descontinuidade foram os horizontes Bt do perfil 12 RS e BC do perfil 16 RS ( $VU < -0,6$ ).

Tabela 10: Valores de relação areia fina/areia total (Arf/art) e Valor de Uniformidade (VU) para os perfis de solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região de Santa Maria.

Amostra	Profundidade	Arf/art	VU	Amostra	Profundidade	Arf/art	VU
<b>11 RS</b>				<b>16 RS</b>			
<b>A</b>	00-40	0,76	-0,08	<b>A1</b>	00-22	0,65	0,01
<b>BA</b>	40-60	0,77	0,25	<b>A2</b>	22-50	0,70	-0,34
<b>Bt1</b>	62-88	0,74	-0,01	<b>AB</b>	50-67/72	0,74	-0,55
<b>Bt2</b>	88-112	0,74	0,36	<b>Bt</b>	67/72-98	0,81	-0,18
<b>C</b>	112-160+	0,68	-	<b>BC</b>	98-118	0,86	-0,64
<b>12 RS</b>				<b>C</b>	118-145+	0,94	-
<b>A1</b>	00-30	0,65	-0,21	<b>17 RS</b>			
<b>A2</b>	30-60/65	0,68	-0,08	<b>A1</b>	00-27	0,61	0,03
<b>E</b>	60/65-80/85	0,71	-0,57	<b>A2</b>	27-48	0,61	-0,10
<b>Bt</b>	80/85-103/120	0,80	-0,61	<b>EA</b>	48-68	0,64	-0,10
<b>BC</b>	103/120-140	0,90	-	<b>E</b>	68-87	0,65	-0,31
<b>13 RS</b>				<b>Btg</b>	87-125	0,69	-0,20
<b>A1</b>	00-17	0,69	-0,07	<b>C</b>	125-140+	0,72	-
<b>A2</b>	17-70	0,71	-0,22	<b>50 RS</b>			
<b>E</b>	70-97	0,76	-0,01	<b>A1</b>	00-28	0,60	-0,11
<b>Bt1</b>	97-120	0,75	-0,28	<b>A2</b>	28-58/62	0,62	-0,30
<b>Bt2</b>	120-143/155	0,81	-	<b>E</b>	58/62-83	0,69	0,00
<b>C</b>	143/155-180+	-	-	<b>EB</b>	83-92	0,68	0,18
<b>51 RS</b>				<b>Bt1</b>	92-102/110	0,63	1,24
<b>A1</b>	00-24	0,37	-0,04	<b>Btf</b>	102/110-155+	0,42	1,32
<b>A2x</b>	24-55/62	0,38	-0,02	<b>C</b>	190-200	0,24	-
<b>AB</b>	55/62-77	0,38	-0,05				
<b>BA</b>	77-99	0,41	-0,13				
<b>Bt1</b>	99-135	0,42	0,04				
<b>Bt2</b>	135-176	0,43	-0,13				
<b>Bt3</b>	176-200+	0,42	0,31				
<b>CR</b>		0,41	-				

O perfil 50 RS, entretanto apresentou diferenciação mais pronunciada para o valor de uniformidade sendo que nos horizontes mais profundos foram observadas as maiores diferenças (de 0,18 para 1,24). Bortoluzzi et al., (2008), analisando perfis de solo da região de Santa Maria, também observaram de acordo com os índices VU, o desenvolvimento de um perfil autóctone (VU menores que 0,6) e outro perfil com descontinuidade entre horizontes (VU = 1,33) concluindo que há evidências de descontinuidade litológica no perfil que apresentou alto valor de VU (50 RS).

#### 4.7.4 Difratomia de raios-x da fração areia

A mineralogia da fração areia permite avaliar se as diferenças observadas pelas demais análises realizadas também são evidenciadas por variações mineralógicas. Quando indícios de material distinto são verificados por análises granulométricas, a avaliação da mineralogia é útil para comprovar a origem alóctone do material. Entretanto, quando as contribuições são de material semelhante ou de material coluvial de regiões próximas, a mineralogia pode não ser eficiente na distinção de materiais de diferentes origens, visto que podem ser compostas por materiais de mesma composição mineralógica.

Como pode ser observado nos difratogramas apresentados nas figuras 29 e 30, ocorreram diferenças na mineralogia da fração areia dos perfis avaliados. As diferenças foram mais significativas entre perfis, sendo que também foram verificadas algumas variações entre horizontes de alguns dos perfis investigados. Em geral, o quartzo foi o mineral predominante na fração areia dos solos. No perfil 11 RS foram observados ainda reflexos de feldspatos (d 0,38; 0,37; e 0,36 nm) e piroxênios (d 0,32; 0,30; 0,29 e 0,25 nm) com maior intensidade nos horizontes superficiais, entretanto não foram verificadas diferenças entre a mineralogia da fração areia dos horizontes desse perfil, mais uma vez comprovando o seu desenvolvimento autóctone.

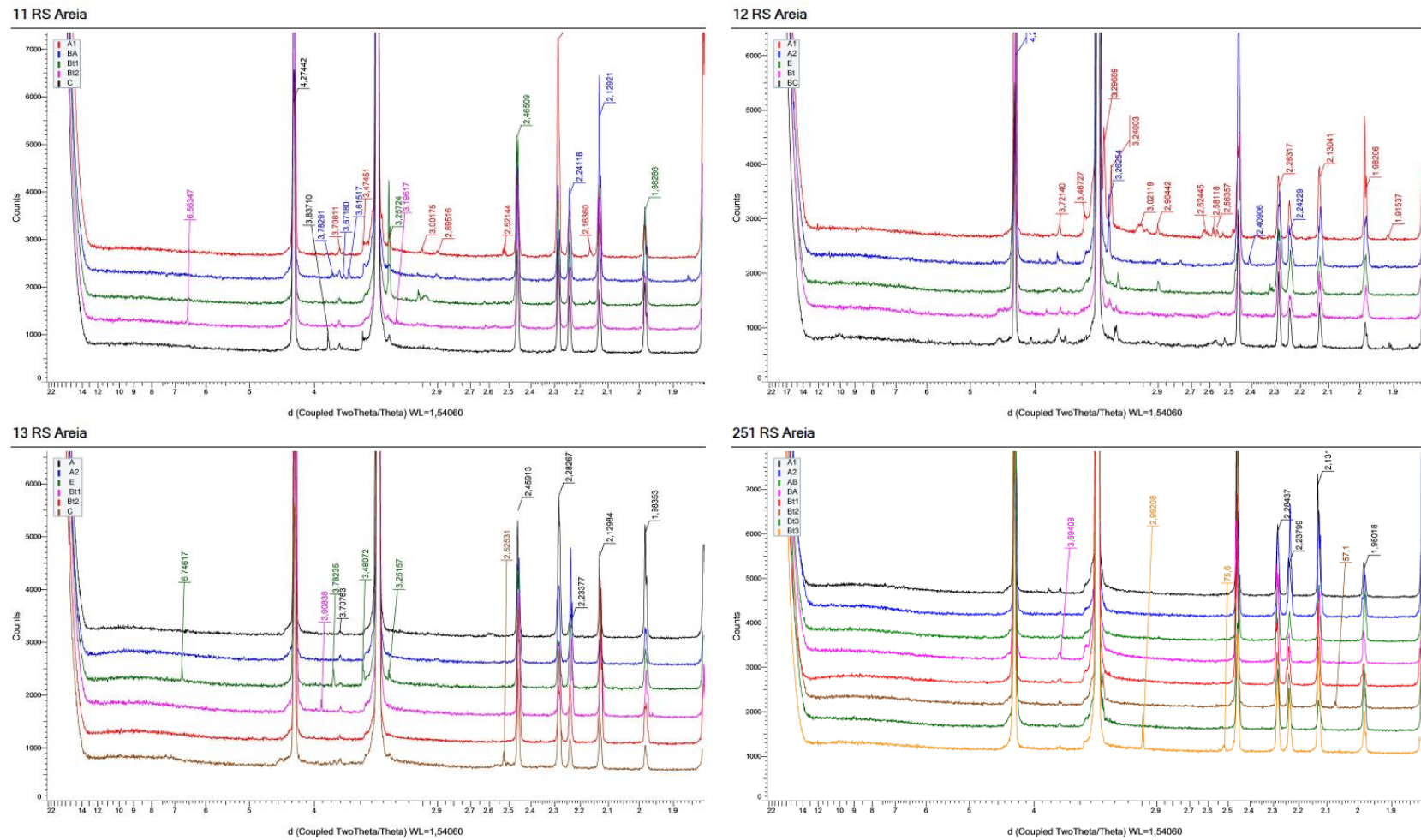


Figura 29: Difratoformas da fração areia dos horizontes dos perfis 11 RS, 12 RS, 13 RS e 51 RS analisada na forma de pó.

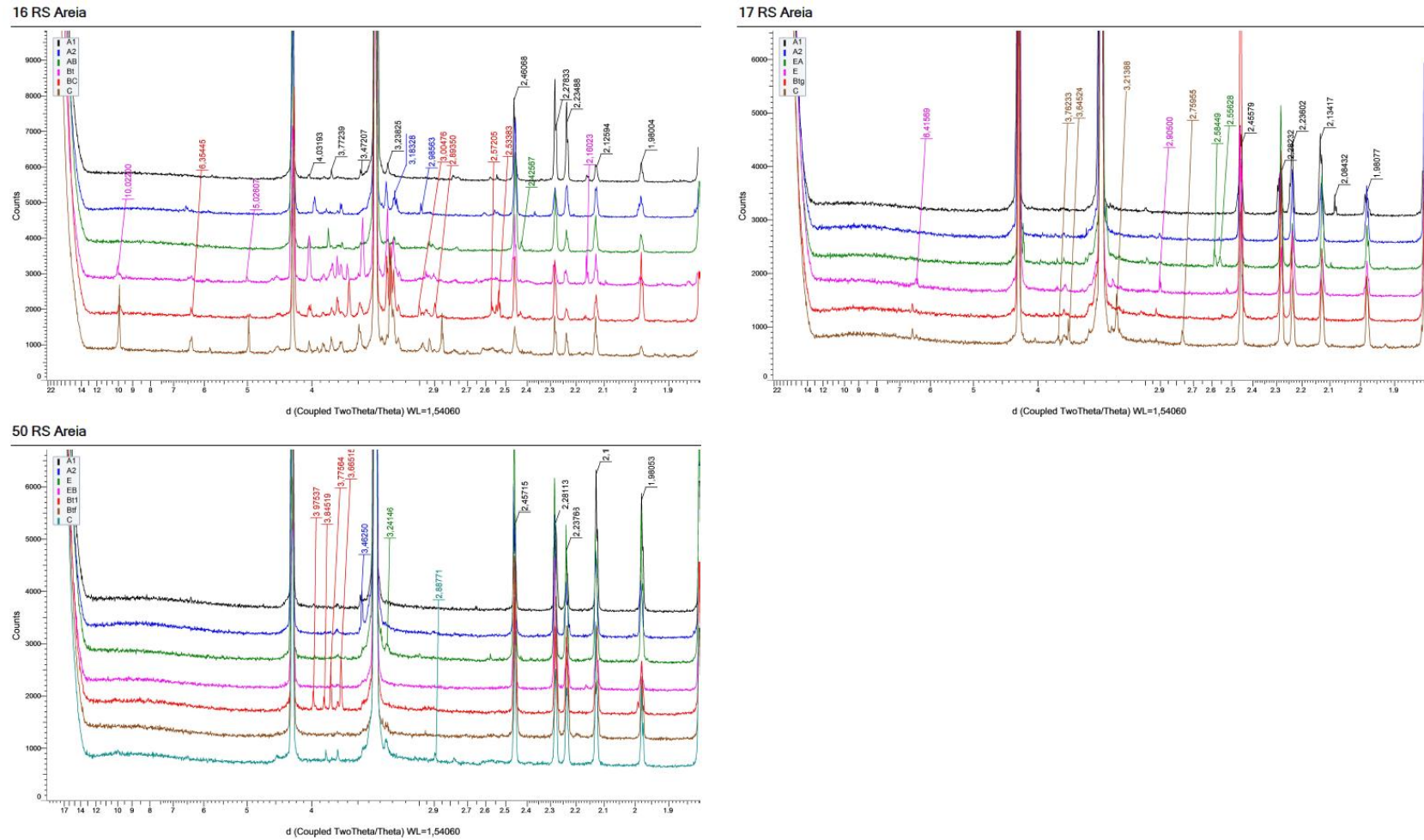


Figura 30: Difrato gramas da fração areia dos horizontes dos perfis 16 RS, 17 RS, e 50 RS analisada na forma de pó.

O perfil 12 RS apresentou mineralogia semelhante ao perfil 11 RS apenas apresentando menor número de reflexos de feldspatos na faixa do 0,36 ao 0,38 nm e piroxênios somente nos horizontes superficiais, entretanto diferentemente do perfil 11 RS apresentou um reflexo de mica no horizonte BC (1,00 nm). Apesar de pequenas diferenças entre horizontes, não há evidências que diferenciem um horizonte dos demais.

O perfil 13 RS apresentou predominância de quartzo e menores proporções de feldspatos em relação aos outros perfis já analisados. A presença de feldspatos foi observada em maior intensidade no horizonte E, sendo que não foram observados reflexos de piroxênios nesse perfil.

Em relação aos três perfis que compõe essa topossequência (11 RS, 12 RS e 13 RS) o que se observa é a ação do intemperismo, sendo que à medida que a altitude é reduzida, maiores são as proporções dos minerais primários como feldspatos e piroxênios, devido às restrições de drenagem e conseqüentemente menor grau de intemperismo. As proporções de feldspatos e piroxênios foram maiores no perfil 11 RS desenvolvidos em posição de sopé, seguido do perfil 12 RS em posição de meia encosta e menores no perfil 13 RS em posição de interflúvio.

A mineralogia do perfil 51 RS apresentou-se predominantemente composta por quartzo, constituindo o perfil que apresentou os menores reflexos de outros minerais primários como feldspato e piroxênio, sendo este último presente apenas no horizonte Bt3 desse perfil. Os difratogramas apresentaram-se bastante homogêneos entre os horizontes, descartando assim alguma descontinuidade no que se refere à mineralogia.

O perfil 16 RS foi o que apresentou mineralogia mais heterogênea, sendo que, à medida que o perfil se aprofunda maiores proporções e variedades de minerais primários foram observadas. Além de feldspatos e piroxênios, foram observados reflexos de micas, principalmente nos horizontes subsuperficiais, e com intensidade expressiva. Entretanto, da mesma forma que os demais perfis, apesar do aumento na intensidade dos reflexos dos minerais ao longo do perfil, não houve uma diferenciação entre horizontes. A mineralogia da fração areia do perfil 17 RS apresentou semelhança com os demais perfis apresentando, além do quartzo, feldspatos e piroxênios.



O perfil 50 RS foi o único perfil que apresentou variação na mineralogia dos horizontes. Apesar dos minerais identificados serem os mesmos, a intensidade dos reflexos de feldspatos nos horizontes Bt1 e C foram muito mais expressivos em relação aos demais horizontes. Esse comportamento, somado as demais análises realizadas a fim de identificar descontinuidades, reforça a hipótese de descontinuidade litológica no perfil 50 RS.

#### 4.8 Segregações

A identificação e a classificação de segregações (mosqueados, nódulos ou plintitas) em perfis de solo a campo não é fácil e em muitas situações persistem incertezas. Desse modo, nos horizontes que apresentaram cores variegadas, as partes avermelhadas (segregações) e a matriz do solo foram separadas para determinar diferenças que pudessem elucidar a origem dessas estruturas bem como melhor classificá-las. Nos perfis de solos 16 RS e 51 RS, apesar da coloração variegada, estas estruturas não puderam ser individualizadas. Nos demais perfis de solos foram realizadas análises químicas e mineralógicas nas segregações e na matriz do solo. Além disso, em amostras indeformadas coletadas nesses horizontes variegados, foram realizadas sequências de umedecimento e secagem, a fim de individualizar/separar as segregações da matriz do solo.

A quantificação dos teores semitotais para os elementos Fe, Al, Si e Ti nesses materiais foi realizada pelo método do ataque sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1) (EMBRAPA, 1997), sendo os resultados apresentados na forma de óxidos na tabela 11. Em todas as amostras coletadas, os teores de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-s}$ ) nas segregações foram maiores do que na matriz do solo, com teores variando entre 16,2 a 58,6  $\text{g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-s}$ . A média dos teores observados nas segregações foi 47,7  $\text{g kg}^{-1}$  enquanto a média dos teores nas matrizes dos solos foi de 23,4  $\text{g kg}^{-1}$ . Os menores teores foram observados no perfil 13 RS (Bt2), entretanto a maior diferença entre a matriz e as segregações foi verificada no horizonte BC do perfil 12 RS. Os menores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-s}$  nas matrizes dos horizontes variegados dos solos se deve a dissolução reductiva dos óxidos de ferro, associada a elevada mobilidade do  $\text{Fe}^{2+}$ , o qual é

facilmente removido do sistema. Segundo Miguel et al (2013), o rebaixamento do lençol freático e consequente drenagem do perfil faz com que o Fe migre do perfil, ora sendo perdido do sistema, ora sendo remobilizado na forma de segregações ferruginosas.

Para o alumínio houve comportamento oposto ao ferro, sendo evidenciados valores de alumínio maiores na matriz dos horizontes avaliados ( $85,20 < \text{Al}_2\text{O}_3\text{-s} < 122,5 \text{ g kg}^{-1}$ ), o qual devido sua fraca mobilidade tende a se concentrar relativamente aos demais elementos.

Tabela 11 Teores dos elementos obtidos por ataque sulfúrico (s), dissoluções seletivas (d = DCB e o = oxalato de amônio) e relações Fed/Fes e Feo/Fed nas segregações (S) e na matriz do solo (M) de alguns horizontes de perfis de solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região de Santa Maria.

Hz		Ataque sulfúrico (g kg <sup>-1</sup> )				DCB (g kg <sup>-1</sup> )		Oxalato (g kg <sup>-1</sup> )		Relações	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fed	Ald	Feo	Alo	Fed/ Fet	Feo/ Fed
11	S	73,90	84,00	48,15	4,38	40,33	6,96	4,15	2,38	0,84	0,10
RS	M	56,80	93,90	21,75	4,59	6,06	3,84	3,81	1,83	0,28	0,63
B1											
11	S	51,70	62,45	36,20	3,35	29,77	4,78	4,22	2,63	0,82	0,14
RS	M	50,65	90,70	16,20	4,22	3,61	3,31	4,25	2,41	0,22	1,18
B2											
12	S	113,85	100,45	55,85	5,21	43,34	6,02	2,71	1,80	0,78	0,06
RS	M	109,85	165,15	33,75	6,56	4,23	5,41	2,70	1,61	0,13	0,64
Bt1											
12	S	102,30	81,15	58,55	4,35	50,75	3,80	1,38	2,13	0,87	0,03
RS	M	96,45	117,75	20,05	6,02	2,56	3,43	1,44	1,99	0,13	0,56
BC											
13	S	86,35	95,85	27,10	4,48	21,89	3,64	0,48	2,99	0,81	0,02
RS	M	71,40	116,85	18,95	5,43	10,17	3,59	0,46	2,88	0,54	0,05
Bt2											
17	S	61,65	68,50	55,35	4,72	52,04	7,52	0,40	1,96	0,94	0,01
RS	M	78,30	107,90	20,30	6,59	2,13	4,02	0,41	2,05	0,10	0,19
Btg											
50	S	81,75	104,00	52,35	4,32	50,48	5,40	0,46	2,62	0,96	0,01
RS	M	76,95	165,60	32,45	5,83	11,69	3,70	0,56	2,77	0,36	0,05
Btf											

Entre os elementos com as maiores proporções no solo (Fe, Al, e Si), o silício foi o elemento que apresentou menor diferença entre segregação e matriz sendo que, apenas o horizonte Btg do perfil 17 RS apresentou teor de SiO<sub>2</sub>-s maior na matriz. A variação nos teores de TiO<sub>2</sub>-s também foi pequena,

sendo observados teores mais expressivos na matriz das amostras analisadas do que nas segregações.

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$  extraídos por DCB das segregações apresentaram teores semelhantes àqueles extraídos por ataque sulfúrico. Nas matrizes, apesar dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-s}$  ainda serem menores, os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$  foram muito inferiores aos observados no ataque sulfúrico. Isso indica que, nas segregações, a maior parte do ferro está na forma de óxidos de ferro pedogênicos. Já para a matriz o que se contata é que ainda ocorre ferro na estrutura de minerais primários. A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-s}$  discrimina bem esse comportamento, com relações maiores de 0,80 para as segregações enquanto nas amostras de matriz as relações ficaram próximas a 0,20 sugerindo que apenas 20 % do ferro desse material estão na forma de óxidos pedogênicos.

O  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}$  por sua vez não apresentou diferenças expressivas entre segregações e matriz. Entre os horizontes avaliados as variações nos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-s}$  também não foram muito significativas, entretanto para o  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}$  se observou que nos horizontes dos perfis 11RS e 12 RS os valores foram mais expressivos em comparação aos demais horizontes tanto nas segregações quanto na matriz. Diferentemente do observado por Coelho e Vidal-Torrado, (2003) e Miguel et al, (2013) analisando perfis de solos plínticos, os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}$  observados neste estudo foram semelhantes entre matriz e segregações. Segundo estes autores valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}$  de segregações superiores ao observados na matriz indicam que nas regiões de concentração, proveniente da mobilização recente e deposição de Fe, o pouco tempo ou as condições bioclimáticas não permitiram a formação e cristalização de óxidos de ferro, resultando em maiores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}$ .

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$  foi distinta entre os perfis, apresentando valores maiores nos horizontes analisados dos perfis 11 RS e 12 RS. As variações também foram expressivas entre segregações e mosqueados, principalmente nesses dois perfis que apresentaram maiores relações  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$ . Nos dois perfis com altas relações  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$  para as amostras de matriz (>0,5) grande parte do ferro está constituindo minerais de baixa cristalinidade. Os valores observados neste estudo corroboram com Miguel et al (2013) que observaram maiores valores da relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-o}/\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-d}$  nos

horizontes em que não há presença de plintita e petroplintita, ou seja, na matriz do solo. Segundo Schwertmann e Taylor, (1989) as condições que favorecem a presença de óxidos de ferro de baixa cristalinidade são a textura mais arenosa e o maior conteúdo de matéria orgânica, entretanto como nesses horizontes a presença de matéria orgânica é muito baixa a presença desses minerais de baixa cristalinidade pode estar relacionada com os maiores teores de areia nessas fases em relação às segregações.

Os teores de  $Al_2O_3-d$  e  $Al_2O_3-o$  foram maiores nas segregações do que nas matrizes dos horizontes avaliados, com diferentes amplitudes entre segregação/matriz. Para o  $Al_2O_3-o$ , os teores, além de menores apresentaram menores diferenças entre matriz e segregações. Os teores de  $Al_2O_3-d$  foram semelhantes aos observados por Miguel et al (2013) em Plintossolos da região de Santa Maria. Os altos teores de  $Al_2O_3-d$  sugerem uma expressiva substituição de Al por Fe na estrutura dos óxidos de ferro (Correa et al., 2008), além de uma possível dissolução de materiais aluminossilicatados de pequeno tamanho e baixa cristalinidade (Fontes e Weed, 1991, Mckeague e Day, 1966),

Os testes físicos de umedecimento e secagem não foram eficientes para separar as segregações de óxidos de ferro das matrizes dos solos após o 5º ciclo nas amostras dos perfis 11 RS 12 RS e 17 RS (Figura 31).

Em todas as amostras de estrutura preservada submetidas ao método, foram verificados porções ainda avermelhadas principalmente misturadas aos agregados remanescentes que não foram destruídos pelos ciclos de umedecimento e secagem. A maioria das amostras perderam a estrutura e foram homogeneizadas, conforme pode ser observado no fundo dos pratos com coloração mais avermelhada que a matriz original sugerindo que o material que foi desagregado pela água apresentou uma mistura das duas frações (matriz e segregação) não permanecendo estruturas como plintitas (Figura 31).

Os horizontes dos solos em que as amostras apresentaram maior resistência foram o Bt do perfil 12 RS, Btg do perfil 17 RS e o Btf do perfil 50 RS. Nestas amostras foi observado comportamentos distintos, sendo que, para os para as amostras dos perfis 12 RS e 17 RS a separação foi resultado do molhamento não homogêneo uma vez que a estrutura dessas amostras secas dificultou o umedecimento. Para a amostra do perfil 50 RS foram observadas

algumas segregações com estrutura estável podendo ser individualizadas da matriz do solo, o que foi considerado como plintitas. Para os demais horizontes e perfis analisados a diferenciação não foi possível, pois grande parte do material misturou-se ao longo do processo de umedecimento.

A diversidade e o grau de desenvolvimento das estruturas das amostras dos horizontes coletados dificultou a homogeneização do umedecimento das amostras com muitos agregados permanecendo inalterados após os cinco ciclos alternados de umedecimento e secagem. O que se verificou é que a elevada quantidade de material dificultou o umedecimento e a desagregação das amostras. A realização de mais ciclos de umedecimento e secagem nos horizontes com maior agregação, ou a utilização de material fracionado de menor tamanho poderiam ter resultado em melhores separações.

A mineralogia de todas as amostras analisadas, tanto de matriz quanto de segregações, foi predominantemente quartzosa (Figuras 32 e 33). Além do quartzo, puderam ser identificados reflexos de argilominerais 2:1 ( $d \cong 1,5$  nm), caulinitas ( $d \cong 0,72$  nm), feldspatos ( $d \cong 0,32$  nm) e hematita ( $d \cong 0,27$  e  $0,25$  nm). Os minerais identificados nessas amostras se assemelham em constituição aos minerais identificados nos horizontes dos solos estudados (Apêndices H, I, J e K.).

De modo geral as amostras das segregações e das matrizes apresentam composição mineralógica muito semelhante. Entre os horizontes avaliados também não foram constatadas diferenças muito expressivas. A diferença mais expressiva identificada entre os difratogramas oriundos da matriz e das segregações foi a presença de reflexos de hematita ( $d \cong 0,270$  e  $0,251$  nm) nos difratogramas das segregações de todos os horizontes analisados. Maiores concentrações de hematita nas segregações também foram observado por Miguel et al. (2013) e confirmam os teores de  $Fe_2O_3$ -d obtidos nas segregações.

As amostras dos perfis 13 RS, 17 RS e 50 RS foram as que apresentaram reflexos mais intensos de caulinitas. No perfil 12 RS, no horizonte Bt foi observado o único reflexo de minerais 2:1 ( $d \cong 1,5$  nm) com maior intensidade na amostra da matriz. No horizonte BC deste mesmo perfil foram observados reflexos de micas nas duas frações (matriz e segregações).

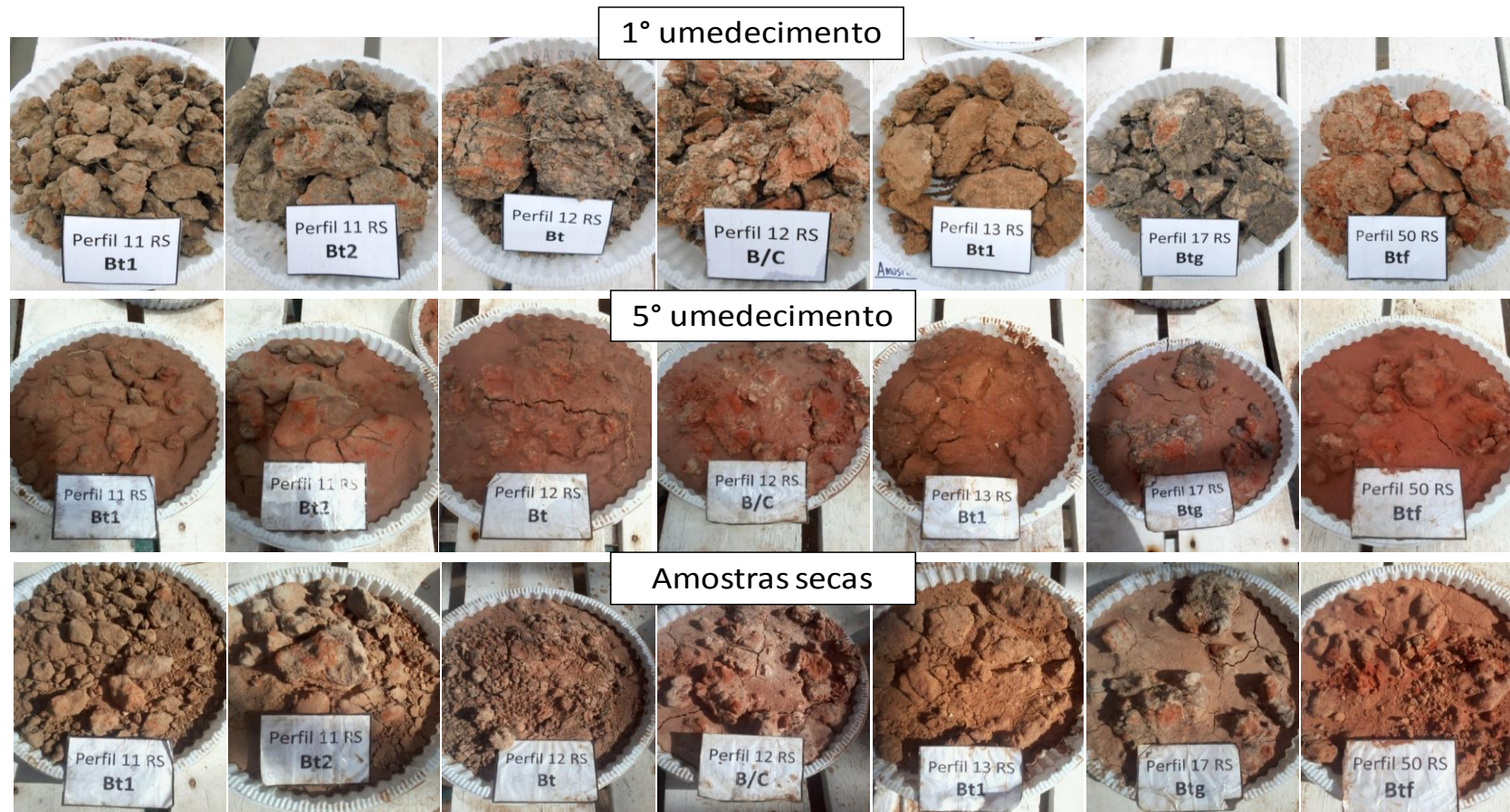


Figura 31: Teste de separação e identificação de plintitas através de ciclos sequenciais de umedecimento e secagem em casa de vegetação. Na primeira linha, as amostras coletadas a campo no primeiro ciclo de umedecimento; na linha intermediária as amostras úmidas após o 5° ciclo de umedecimento; e na última linha as amostras secas após os 5 ciclos de umedecimento e secagem.

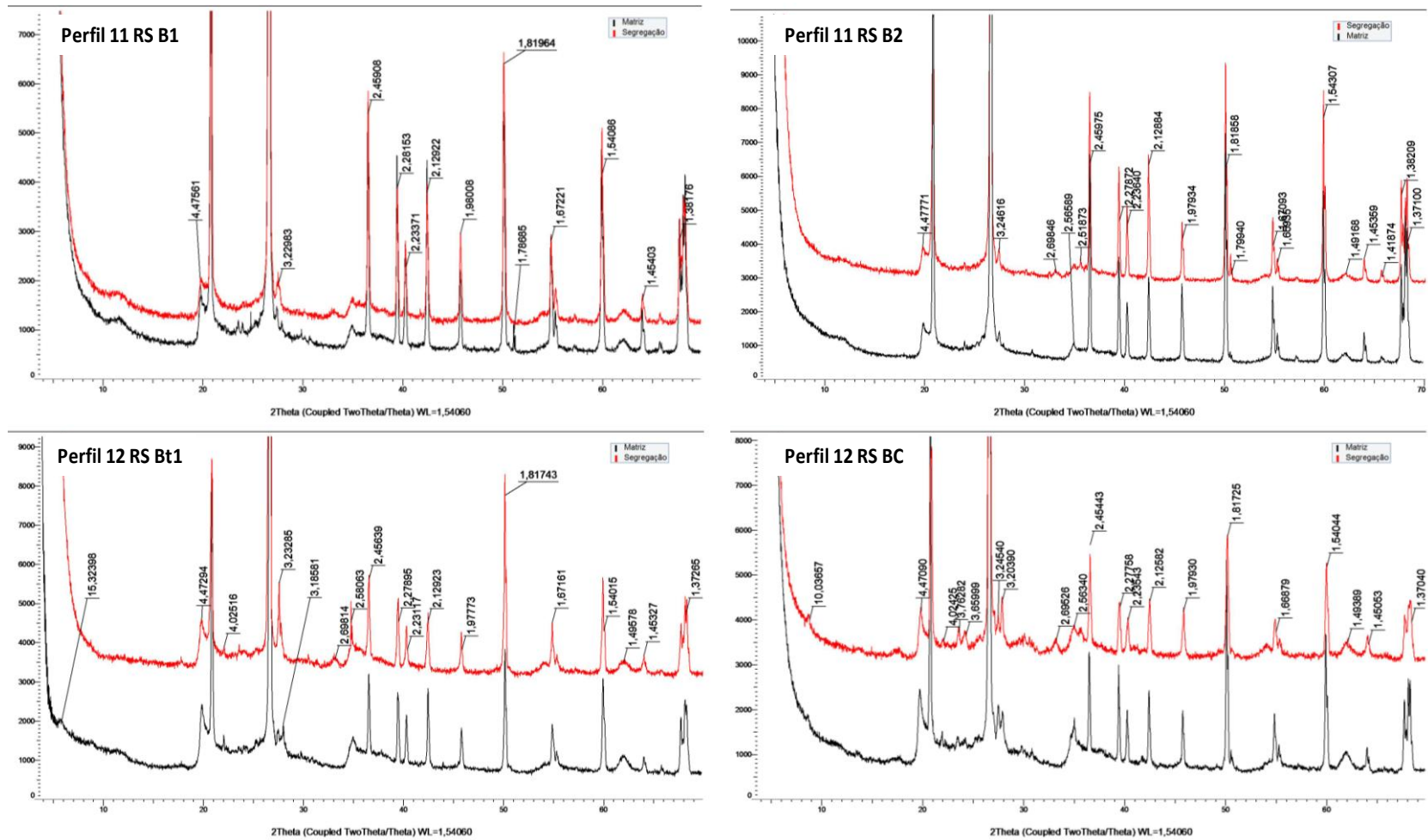


Figura 32: Difractogramas das amostras de segregações e matriz das amostras dos perfis 11 RS e 12 RS analisadas em pó.

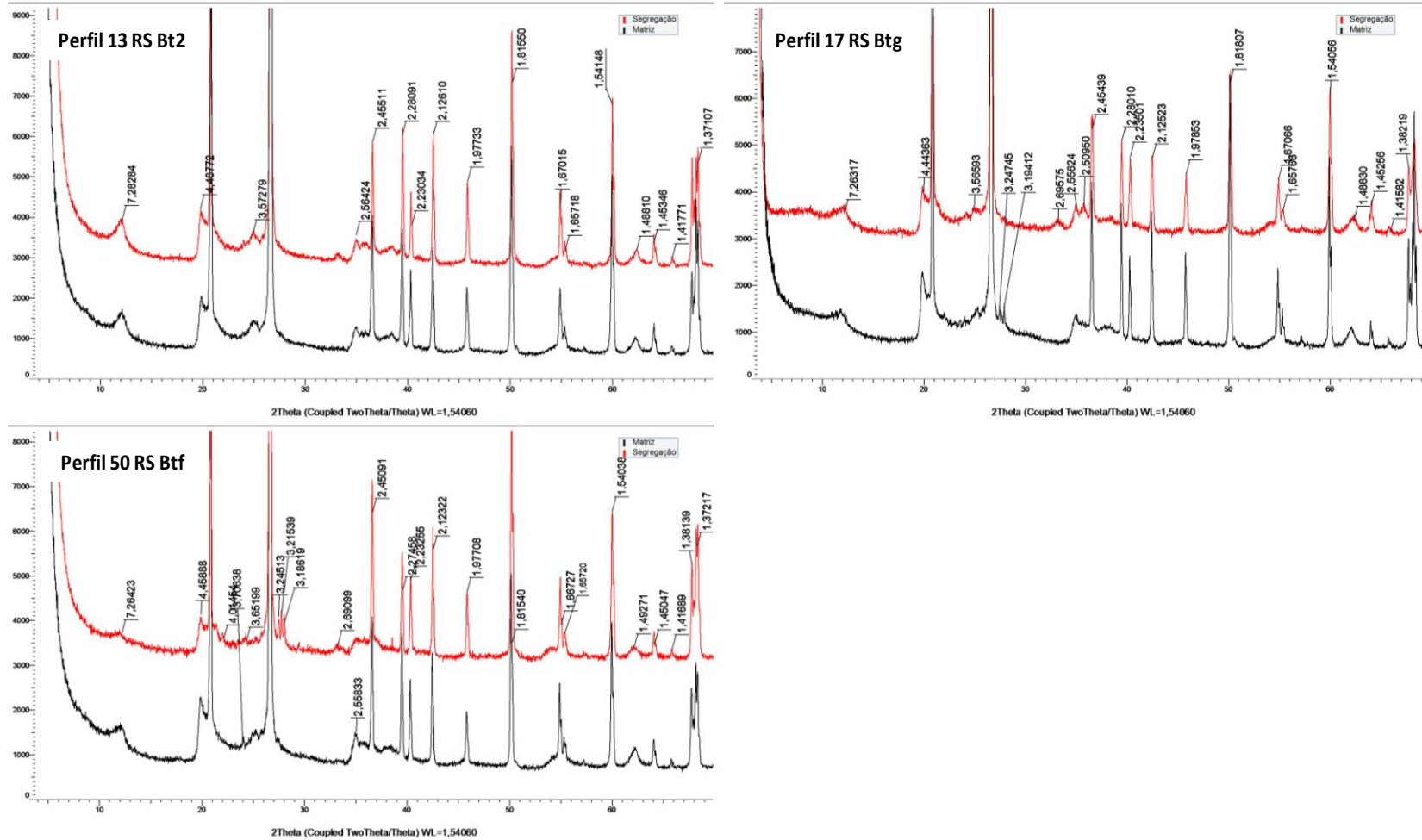


Figura 33: Difractogramas das amostras de segregações e matriz das amostras dos perfis 13 RS, 17 RS e 50 RS analisadas em pó.



A análise da amostra total (sem a separação da fração argila) dificultou a diferenciação de minerais de reflexos menos intensos como os óxidos ou caulinitas. A análise da fração argila dessas amostras resultaria em melhores condições de identificação de minerais que distinguissem as segregações e a matriz. Além disso, a análise de difratogramas da fração óxidos de ferro concentrada também seria muito útil na comparação com os resultados obtidos pelas análises químicas podendo revelar a presença de outras formas de óxidos de ferro que não hematita.

## 5. CONCLUSÕES

Os solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região sudoeste de Santa Maria apresentam grande diversidade de características morfológicas, químicas, e mineralógicas. A variabilidade das rochas sedimentares (das camadas superficiais) presentes nessa região é em grande parte responsável pelas diferenças químicas e mineralógicas observadas nos perfis de solos desenvolvidos nesse ambiente, visto que além das rochas apresentarem composição mineralógica e química bastante variável, os solos mantiveram as principais características das rochas subjacentes aos perfis. A utilização do mapa geológico não foi eficiente em distinguir os materiais geológicos formadores dos solos avaliados, sendo mais interessante a utilização de informações geológicas de superfície, ou o conhecimento de técnicos especializados.

A posição em que o solo se desenvolve na paisagem, afetando principalmente a dinâmica hídrica, resulta em variações morfológicas (como por exemplo: cor, profundidade e estrutura), e nos processos de transformação dos argilominerais.

A mineralogia da fração argila discriminou os solos, os quais puderam ser agrupados em: solos com predomínio dos argilominerais 2:1 > micas > caulinita (perfis 11RS, 12 RS e 16 RS); solos com predomínio de caulinita > micas > argilominerais 2:1 (perfis 51 RS e 50 RS); e solo com mineralogia caulínica e 2:1 (perfil 17 RS). Em todos os casos a mineralogia dos solos correlacionou-se com a mineralogia da rocha subjacente e esteve diretamente ligada com a constituição do complexo sortivo.

Os indicadores de descontinuidade litológica foram eficientes na identificação de diferenças ao longo do perfil de solo sugerindo que o perfil 50

RS apresenta indícios de materiais diversificados. Entretanto a diferenciação textural verificada ao longo dos perfis não está condicionada a diferentes materiais geológicos constituindo o perfil de solo. Apesar da descontinuidade litológica ter sido descartada na maioria dos perfis de solo investigados, a contribuição por material alóctone com mesma característica sedimentológica e composição mineralógica e química semelhante não é rejeitada.

A origem do contraste entre os horizontes superficiais arenosos e os subsuperficiais argilosos não foi totalmente elucidada. Entretanto a participação da lessivagem foi confirmada pela verificação de cerosidade e pelo incremento da relação af/at em vários perfis. Outras análises, como por exemplo, a micromorfologia, deverá auxiliar na definição da participação deste processo na formação desses horizontes com acúmulo de argilas em subsuperfície. Não se descarta o envolvimento de outros processos na formação dos gradientes texturais observados.

A gênese de segregações de óxidos de ferro observadas nos horizontes subsuperficiais está ligada as condições de maior restrição ou de impedimentos na drenagem, decorrentes da presença de horizontes com grande acumulação de argila sobrejacentes a horizontes pouco permeáveis ( C e CR). Reações de redução e oxidação fazem com que parte do ferro seja removido do perfil, sendo que as manchas acinzentadas correspondem as regiões de depleção de ferro, caracterizadas pelos menores teores de ferro total e Fed.

Os processos pedogenéticos constatados nos solos investigados foram a lessivagem, a gleização, a plintização e a ferrólise.

**Em suma:** a morfologia dos solos está mais correlacionada com as condições de drenagem dos perfis, enquanto as características químicas e mineralógicas são condicionadas principalmente pelas características da rocha da qual o solo evoluiu.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOISI, R. R.; PERECIN, D.; BONI, N. R. Granulometria da fração areia de alguns perfis de solos de Aripuanã – MT. **Acta Amazônica**, v. 8, n. 2, p. 129-132, 1978.

ALMEIDA, J. A. **Degradação do topo do horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo abrupto da Planície costeira do RS**. 1992. 152 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1992.

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

ALLEN, B.L. e HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, S.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of American, 1989. p.199-278.

ANJOS, L. H. C. et al. **Guia de Campo de IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 204 p.

ALOISI, R. R. et al. Granulometria da fração areia de alguns perfis de solos de Aripuanã – MT. **ACTA AMAZONICA**. v.8, n.2, p. 129-132, 1978.

ARNOLD, R. W. Pedological significance of lithologic discontinuities. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE SOIL SCIENCE**, Adelaide, v. 9, n. 4, p. 595-693, 1968.

ARNOLD, R.W. Concepts of soils and pedology. In: WILDING, L.P., SMECK, N.E., HALL, G.F. **Pedogenesis and Soil Taxonomy: I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 1–21.

AZEVEDO, A. C. e VIDAL-TORRADO, P. Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: ALLEONI, L. R. F. e MELO, V. F. **Química e mineralogia do solo. Parte I – Conceitos básicos**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 381-426.

BERNINI, T. A. et al. Taxonomia de solos desenvolvidos sobre depósitos sedimentares da Formação Solimões no Estado do Acre. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.71-80, 2013.

BOCKHEIM, J.G. e GENNADIYEV, A.N. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in soil taxonomy and the world soil reference base. **Geoderma**, v.95. p.53- 72, 2000.

BOULET, R.; BRUGIERE, J. M.; HUMBEL, F. X. Relations entre organization des sols et dynamique de l'eau en Guyane Francaise Septentrionale. **Sci. Sol**, v.1. P.3-18, 1979.

BORTOLUZZI, C. A. **Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil**. 1971. 162 f. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 1974.

BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa v. 32, p. 997-1007, 2008.

BOYER, J. **Dinâmica dos elementos químicos e fertilidade dos solos**. Salvador: Inst Geoc. da UFBA, 1985. p. 311.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: convênio MA/DPP – SA/ DRNR, 1973. p. 431. (Boletim Técnico, 30).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1986. p.796. v.33.

BREWER, R. Clay illuviation as a factor in particle size differentiation in soils profiles. IN: **Trans. International Conference Soils Science**. Adelaide, 1968. v. 9, n.4, p. 489-499,

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

BRINKMAN, R. Ferrolisys a hydromorphic soil-forming process. **Geoderma**, Amsterdam, v. 3, p. 199-206, 1969.

BRINKMAN, R. **Ferrolisys a soil-forming process in hydromorphic conditions**. **Agrc. Resp. Rep.**, 887, Wageningen: Pudoc, 1979. p.106.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. p.594.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D. Clay skin genesis in Wisconsin soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v.25, p.377–379. 1961.

CABRERA-MARTINEZ, F. et al.; Partitioning of Clay- sized minerals in coastpains soils whit Sandy/loamy boundaries. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 53, p. 1584-1587, 1988.

CAMARGO, M. G. Sysgran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 371-378, 2006.

CAMPOS M. C. C. et al., Caracterização de Argissolos em diferentes segmentos de vertente na região de Jaboticabal, SP. **Revista de Ciências Agrarias**, v. 55, n. 4, p. 251-259, out./dez. 2012.

CLEMENTE, C. A. et al. **Latossolos da Bacia do Ribeirão do Lobo (Brotas, Itirapina, SP): I. Granulometria**. Piracicaba: Boletins da ESALQ/USP, 1986, v.43, p.713-733.

COELHO, M.R. e VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. II - Mineralogia. R. Bras. Ci. Solo, **Revista Brasileira de ciência do Solo**, v.27, p.495-507, 2003.

COLTRINARI, L. **Paleoambientes quaternarios na America do Sul: primeira aproximacao**. In: CONGRESSO ABEQUA, 3., Belo Horizonte, 1992. Anais. Belo Horizonte, 1992. p.13-42.

COSTA, A. C. S.; E BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: parte I: Conceitos básicos**. Viçosa: MG: SBCS, 2009. p. 505 – 571.

CPRM. 2006. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo.

CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 2004. p.400.

CREMEENS, D. L.; MOKMA, D. L. Argillic horizon expression and classification in the soils of two Michigan hydrosequences. **Soil Science Society American Journal**. v. 50. p.1002-1007, 1986.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B.B. Relação entre o alumínio extraível com kcl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 38: p.1387-1401, 2014.

CURI, N.; KÄMPF, N.; Caracterização do solo. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: MG: SBCS, 2012. p. 147-169.

DALRYMPLE, J.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit land surface model. **Zeitschrift Geomorph**, v.12, p.60-76, 1968.

DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.F.; CADY, J.G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**. v. 23, p. 51-87, 1971.

DANIELS, R.B.; HAMMER, R.D. **Soil geomorphology**. New York: John Wiley & Sons, 1992. p.236.

DANIELS, R.B.; et al. Morphology of discontinuous phase plinthite and criteria for its field identification in the Southeastern United States. **Soil Society of America Journal**, Madison, v.42, n.6, p. 944-949, 1978.

DIAS, K. D. N. **Análise estratigráfica da Formação Pirambóia, permiano superior da Bacia do Paraná, leste do Rio Grande do Sul**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

DOKUCHAEV, V.V. **The problem of the reevaluation of the land in European an Asiatic and Asiatic Russia**. Moscow, 1898.

DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.635-674.

Emater/RS-ASCAR. **Mapa de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do estado do Rio Grande do Sul** – esc. 1:750.000 – Brasil, 1973 digitalizado pela EMBRAPA-CNPT em 1999. Atualizado em 2007. (PG-C-14).

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

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 3. Brasília: Embrapa, 2013. p.353.

FABRES, T, M. **Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Santa Maria, RS**. 2009. p.127. Dissertação (mestrado). Esalq, USP. Piracicaba, 2009.

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

FERREIRA, E. R. N. C. **Mineralogia e gênese de solos desenvolvidos de rochas alcalinas e ultrabásicas do Domo de Lages**. 2013. 152 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo, UDESC, Lages, 2013.

FINE, P.; SINGER, M. J.; VEROSUB, K. L. Use of magnetic-susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies. **Soil Science Society American Journal**, v. 56, p.1195-1199. 1992.

FLOATE, M. J. S. A chemical, physical and mineralogical study of soils developed on glacial lacustrine clays in north central British Columbia. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 227 – 236, 1966.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Bazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, p. 3-27, 1957.

FONTES, M.P.F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J. C. et al., **Pedologia Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 343 p. p. 207-302.

FONTES, M.P.F. **Mineralogia do solo** (Versão Resumida). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002.

GAL, M. et al. The effect of exchangeable Na and phosphogypsum on the structure of soil crust — SEM observations. *Science Society American Journal*, v. 48, p.872, 1984.

GAMBLE, E. E. et al. A2 horizons of coastal plain soils. Pedogenic or geologic origin. **South Geology**, Dirham, v. 11, n. 3, p. 137-152, 1970.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN, J. Soil-Landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.26, p.41-45, 2001.

GUASELLI, L. A. et al. Macrozoneamento do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 33, n. 1, p. 3-11, 2006.

HALL, G. F. Pedology and geomorphology. In: Wilding, L. P.; Smeck, N. E. e Hall, F. G. **Pedogenesis and soil taxonomy**. New York: Elsevier, 1985. p. 117-140.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p.770.

HOLTZ, M. **Do mar ao deserto: a evolução do Rio Grande do Sul no tempo geológico**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003. p.142.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, v. 13, p. 01-22, 1975.

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

HUMBEL, F.X. Characterization, par des mesures physiques, hydrologiques et de l'enracinement de sols de Guyane Française a dynamique de l'eau superficielle. **Sci. Sol**, v. 2, p.83-94, 1978.



IBGE. **Levantamento de recursos naturais do projeto Radam-Brasil**. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH.22 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. p.796 .

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2007. p.316.

INDA, A. V. et al. Óxidos de ferro e área superficial de Latossolo subtropical sob campo e floresta nativa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.2, p.289-292, 2014.

INDA, A. V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extrações dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1139-1147, 2003.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: advanced course**. 2.ed. Madison, 1965. p.991.

JACOMINE, P. K. T. et al. Testes para identificação de plintitas em solos da formação Solimões no Acre. In: **IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: Sistemas Amazônicos**. Acre: SBCS, 2010.

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

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos Brasileiros. In: KER, J. C. et al. **Pedologia Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, v.1, 2000. p. 81-138.

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

KÄMPF, N. e CURI, N. Formação e Evolução do Solo (Pedogênese). In: KER, J. C. et al. **Pedologia Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.

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

LADO, M. & BEN-HUR, M. Soil mineralogy effects on seal formation, runoff and soil loss. **Applied Clay Science**, v.24, p. 209 – 224, (2004).

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia geral**. São Paulo: Editora Nacional, 12.ed. 1995. 399p.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária (UFSM), 1990.

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

McKEAGUE, J. A.; et al. Micromorphological evidence of illuvial clay in horizons designated Bt in the field. **Canadian Journal Soil**, Ottawa, v. 58, p. 179-186, 1978.

MEDEIROS, R. E; et al. Filiação entre arenitos da Formação Guará e sua cobertura pedológica no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 555-564, 2013.

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

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

MENEGAT, R. (Coord.) **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS, 1998. 228p.

MICHELON, C. R. et al. Causes of morphological discontinuities in soils of Depressão Central, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.3, p.319-326, May/June 2010.

MIGUEL, P. et al. Caracterização de plintitas e petroplintitas em solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.43, n.6, p. 999-1005. 2013.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental**. 1997. 255 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 1997.

MILLER, M.B.; COOPER, T.H.; RUST, R.H. Differentiation of an eluvial fragipan from dense glacial till in Northern Minnesota. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, p.787- 796, 1993.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils. **Soil Res.**, v.4, p.183-198, 1935.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.69-77, 2005.

MOTA, F.S.da. Estudo do clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de W. Koeppen. **Revista Agrônômica**, Porto Alegre, n. 193/8, p. 132-141, 1953.

MULLER F, I. L. **Notas para o estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Santa Maria, Departamento de Geociências, UFSM. 1970. (Publicação especial 1)

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

OLIVEIRA, J.B. Fatores de formação. In: Moniz, A.C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Polígono, p. 275-288, 1972.

PARFITT, R.L.; CHILDS, C.W. Estimation of forms of Fe and Al: A review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Mossbauer methods. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.26, p.121-144, 1988.

PEDRO, C.; JAMAGNE, M.; BEGON, J.C. Mineral interactions and transformations in relation to pedogenesis during the Quaternary. **Soil Sci.**, v.107, p.462-469, 1969.

Phillips J.D. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. **Catena**, v.58 p.275–295, 2004.

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

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

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa, 2002, p.338.

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

REYNDERS, J.J. A study of argillic horizons in some soils in Morocco. **Geoderma**, V.8, p.267-279, 1972.

RUEDA, J.R.R.; DEMATTÊ, J.L.I. Solos originados de lamitos da formação Marília (grupo Bauru) da região de Monte Alto, SP. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.12, p.161-170, 1988.

RUHE, R.V.; WALKER, P.H. Hillslope models in soil formation. I Open systems. In: **Transaction International Congress Soil Science**, Adelaide, 1968. Transactions. Adelaide, 1968. v.4. p.551-560.

RUHE, R.V. Geomorphic Surfaces and the nature of soils. **Soil Sci.**, v.82, p.441-445, 1956.

SANTOS, R.D. et al., **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.100.

SARTÓRI, M. G. B. **O clima de Santa Maria, RS – do rural ao urbano**. 1979. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo. 1979.

SCHAEFER, C. E. G. R. Bases físicas da paisagem brasileira: estrutura geológica, relevo e solos. In. ARAÚJO e ALVES. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2013.p. 01-70.

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

Schiavo, et al., Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da Formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.34, p.881-889, 2010..

SCHNEIDER, P. et al. **Morfologia do solo**: Subsidio para caracterização e interpretação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007. p.72.

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

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

SETA, A. K. E KARATHANASIS, A. D. Stability and Transportability of Water-Dispersible Soil Colloids. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n. 2, p. 604-611, 1997.

SILVA, M. S. L. et al. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.314-320, 2002.

SIMONSON, R.W. Modern concepts of soil genesis. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.23, p.152-156, 1959.

SOARES, A. P. **Variabilidade espacial no sistema Aquífero Guarani: controles estratigráficos e estruturais**. 2008, 186 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

SOUZA, C.K. et al. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. University of California at Berkeley. Oxford University Press. New York, 1989.

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

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: EDUSP 1973. p.317.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Depto de Solos da Fac. de Agronomia, UFRGS, 1995. (Boletim técnico, 5).

TOMASI, C. A. et al. Atributos químicos e área superficial específica em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciência Rural**, v.42, n.12, p.2172-2179, 2012.

USDA. **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, 1993.437p. (Handbook,18)

VAN den BROEK, T. M. W. **Clay dispersion and pedogenesis of soils with a contrast in texture**. 1989, 109p. Tese (Doutorado) - Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, Holand, 1989.

VEIGA, P. Estudo comparativo das argilas de rochas mesozóicas e cenozóicas da Depressão Central do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 1, p.67 – 78, 1979.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v 4, p. 145-192, 2005.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais**. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. p.464.

ZANARDO, A. e MARQUES JUNIOR, J. Conceitos básicos em mineralogia. Formação e Evolução do Solo (Pedogênese). In: FREITAS, V.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo. Parte I – Conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 695 p. p. 73-150.

ZERFASS, H. **História tectônica e sedimentaria do Triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as Bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina)**. 2003. 191 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do PERFIL 11 RS.

APÊNDICE B – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 12 RS

APÊNDICE C – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 13 RS.

APÊNDICE D – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 51 RS.

APÊNDICE E – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 16 RS.

APÊNDICE F – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 17 RS.

APÊNDICE G – Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 50. RS

APÊNDICE H – Difractogramas da fração silte em pó

APÊNDICE I – Difractogramas da fração silte em pó

APÊNDICE J – Difractogramas da fração argila em pó

APÊNDICE K – Difractogramas da fração argila em pó

**Apêndice A: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 11 RS.**

**Data da coleta:** 13/03/2012.

**Classificação proposta:** **GLEISSOLO HÁPLICO Alítico argissólico**, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical úmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** Santa Maria.

**Município e estado:** Santa Maria-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, saída da cidade de Santa Maria em direção a Rosário do Sul a margem esquerda da rodovia.

**Coordenadas:** 29° 43' 2,15" S

-53° 54' 17,39" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de terço inferior com superfície linear e 3% de declividade,

**Altitude:** 103,7 m.

**Formação geológica e cronologia:** Sedimentos das formações Santa Maria e/ou Sanga do Cabral, Triássico médio.

**Material de origem:** produto da alteração de arenito fino a médio, quartzoso, acinzentado/esbranquiçado (reduzido) com feições avermelhadas (zonas de oxidação), não reagente a HCl, aparentemente sem estrutura (possivelmente destruída), permeável.

**Pedregosidade:** Não pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Suave ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** moderadamente/imperfeitamente drenado.

**Uso atual:** Campo nativo.

**Descrito e coletado por:** Paulo César do Nascimento, Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, Rômulo da Conceição, e Edgardo Medeiros.

**Observações:** Coloração variegada (mosqueados vermelhos em fundo acinzentado) nos horizontes Bt1 e Bt2, de tamanho pequeno a médio compondo aproximadamente 15 a 20 % no horizonte Bt1 e 25-30 % do volume do horizonte Bt2.

**Descrição morfológica:**

A	0-40 cm, Bruno (10 YR 4,5/3 seco), bruno- escuro (10 YR 3/3, úmida); moderada média blocos subangulares; consistência macia, muito friável, não pegajoso não plástico; transição plana e gradual.
BA	40-62 cm, Bruno (10 YR 4/3,5 seco), Bruno- escuro (10 YR 3/3, úmida); moderada média grande blocos subangulares; consistência dura, muito friável, pegajoso plástico; transição clara e plana
Bt1	62-88 cm, Bruno (10 YR 5/3 seco), Bruno-amarelado (10 YR 4/3 úmido) com segregações Vermelho-escuro (2,5 YR 4/8 mosqueado seco) e Vermelho (10 R 4/6 úmido); moderada forte, média a grande blocos subangulares; consistência dura, firme, pegajoso plástico; transição gradual e plana. Quantidade de mosqueados: 15-20 %.
Bt2	88-112 cm, Bruno oliváceo-claro (2,5 Y 5/3 seco), Bruno-acinzentado (10 YR 4/2 úmido) com segregações Vermelho-escuro (2,5 YR 4/8 mosqueado seco) e Vermelho escuro (2,5 YR 4/8 úmido); moderada forte grande prismática/ blocos moderada forte blocos subangulares; consistência dura, firme ligeiramente pegajosa-pegajosa plástica; transição clara e plana. Quantidade de mosqueados: 25-30 %.
C	112-160+ cm, Franco argilosa; dura firme , pegajosa, ligeiramente plástica

**Caracterização granulométrica e química**

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila							
A	00-40	0,14	169	537	39	255	60	76,5					
BA	40-60	0,4	132	432	56	380	80	78,9					
Bt1	62-88	0,3	142	398	21	440	100	77,3					
Bt2	88-112	0,18	144	415	16	425	100	76,5					
C	112-160+	0,19	184	390	16	410	80	80,5					
pH		C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )									V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> / Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH 7</sub>	V m (%)	
4,6	3,8		0,39	0,7	0,1	0,01	0,07	4,5	2,2	0,9	5,4	17	71
4,6	3,7		0,43	1,0	0,2	0,02	0,10	7,3	5,1	1,3	8,6	15	80
4,6	3,6		0,32	0,9	0,2	0,03	0,10	8,1	6,1	1,2	9,3	13	84
4,6	3,7		0,32	1,0	0,2	0,03	0,10	7,7	6,5	1,3	9,0	14	83
4,7	3,7		0,22	1,4	0,5	0,04	0,13	7,6	6,6	2,1	9,7	22	76
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
20,97	27,08	10,50	0,050	3,70	1,32	5,78	2,60	1,23	1,23				
58,11	77,06	22,91	0,070	6,31	1,28	11,94	4,70	1,47	2,10				
46,62	79,15	24,06	0,057	5,22	1,00	12,04	4,22	1,63	1,81				
63,51	85,28	24,95	0,063	5,94	1,27	11,83	4,87	1,71	2,06				
71,20	95,28	29,42	0,054	5,34	1,27	14,93	3,69	1,13	1,64				



## **Apêndice B: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 12 RS.**

**Data da coleta:** 13/03/2012.

**Classificação proposta:** **PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico êndico**, A moderado, Ta, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** Santa Maria.

**Município e estado:** Santa Maria-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, saída da cidade de Santa Maria em direção a Rosário do Sul a margem esquerda da rodovia.

**Coordenadas:** -29° 43' 46,1" S

-53° 54' 41,1" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de meia encosta com 2% de declividade.

**Altitude:** 108 m.

**Formação geológica e cronologia:** sedimentos da base da formação Santa Maria (Membro Passo das Tropas) e/ou parte superior da formação Sanga do Cabral, Triássico.

**Material de origem:** produto da alteração de arenito fino, avermelhado, apresentando micas pequenas e bem distribuídas, reagente ao HCl evidenciando a presença de carbonatos, com pouco e finos recobrimentos escurecidos reagente à H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, constatando óxido de manganês.

**Pedregosidade:** Não pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Suave ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** Moderadamente/imperfeitamente drenado.

**Uso atual:** Campo nativo

**Descrito e coletado por:** Paulo César do Nascimento, Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, Rômmulo da Conceição e Edgardo Medeiros.

**Observações:** Concreções esbranquiçadas (carbonatos) reagentes à HCl precipitadas ou provenientes do material de origem na encosta do perfil, manchas escurecidas reagentes a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (óxidos de manganês) no material

incipiente abaixo do perfil. Coloração variegada (mosqueados vermelhos em fundo acinzentado) nos horizontes Bt e BC de tamanho médio compondo aproximadamente 25-30 % do volume dos horizontes.

### Descrição morfológica:

A1	0-30 cm, Bruno (10 YR 4/3 seco), Preto (10 YR 2/1, úmida); granular moderada média a grande; consistência macia, friável, não pegajoso não plástico; transição plana e gradual.
A2	30-60/65 cm, Bruno (10 YR 4/3 seco), Preto (10 YR 2/1, úmida); fraca pequena blocos subangulares; consistência macia, friável, não pegajoso não plástico; transição ondulada e clara.
E	60/65-80/85 cm, Bruno-oliváceo-claro (10 YR 6,5/4 seco) Bruno- amarelado (10 YR 5/4 úmida); fraca pequena blocos subangulares/ grão simples; consistência macia, friável, não pegajosa não plástica; transição ondulada e abrupta.
Bt	80/85-103/120 cm, Bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2 seco), Preto-brunado (2,5 Y 3/1 úmido) com segregações Vermelho escuro (2,5 YR 4/8 seco) e Vermelho (10 R 4/8 úmido); moderada forte grande blocos angulares; consistência muito dura, muito firme muito pegajosa a plástica; transição gradual ondulada. Quantidade de mosqueados: 20-25%.
BC	103/120-140 cm, Cinzento-brunado-claro (10 YR 6/2 seco), Preto (2,5 Y 2,5/1 úmido) com segregações Vermelho/ vermelho-escuro (2,5 YR 4,5/8 seco) e Bruno-avermelhado (2,5 YR 4/8 úmido); moderada forte grande blocos angulares; consistência muito dura, muito firme, pegajosa, plástica; transição ondulada. Quantidade de mosqueados: 20-30%.

### Caracterização granulométrica e química

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silt e	Argila							
A1	00-30	0,21	232	431	72	265	20	92,5					
A2	30-60/65	0,1	204	442	115	240	30	87,5					
E	60/65-80/85	1,11	202	499	100	200	60	70					
Bt	80/85-103/120	0,46	58	239	163	540	140	74,1					
BC	103/120-140	0	31	291	262	415	160	61,4					
A1	00-30	0,21	232	431	72	265	20	92,5					
pH			C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH7</sub>	(%)	
4,5	3,7		1,40	1,6	0,3	0,03	0,13	6,4	2,6	2,1	8,5	25	55
4,7	4,0		0,93	1,4	0,2	0,03	0,06	6,8	3,3	1,7	8,5	20	66
4,8	3,9		0,21	1,2	0,2	0,03	0,05	3,1	1,9	1,5	4,6	33	56
5,2	3,5		0,39	11,0	1,2	0,57	0,22	11,1	9,1	13,0	24,1	54	41
5,6	3,5		0,24	18,0	2,0	0,80	0,25	6,1	4,0	21,1	27,2	78	16
4,5	3,7		1,40	1,6	0,3	0,03	0,13	6,4	2,6	2,1	8,5	25	55
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
34,66	27,18	7,70	0,117	3,08	2,17	3,45	2,31	2,28	1,49				
31,96	33,25	9,81	0,063	3,52	1,63	3,93	4,17	2,44	2,61				
17,92	21,00	8,00	0,059	3,50	1,45	3,44	1,79	0,78	0,74				
144,45	161,65	33,69	0,148	7,70	1,52	14,07	6,06	2,81	3,18				
133,07	118,51	27,02	0,190	7,42	1,91	9,41	3,23	1,10	1,74				

## **Apêndice C: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 13 RS.**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

**Data da coleta:** 12/03/2012.

**Classificação proposta:** **ARGISSOLO AMARELO Alumínico abrupático**, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** São Pedro.

**Município e estado:** Santa Maria-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, saída da cidade de Santa Maria em direção a Rosário do Sul a margem esquerda da rodovia.

**Coordenadas:** -29° 44' 10,09" S

-53° 55' 04,67" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de pedimento e superfície suave convexa com 3% de declividade.

**Altitude:** 143,12 m.

**Formação geológica e cronologia:** Formações Santa Maria e/ou Sanga do Cabral. Triássico.

**Material de origem:** produto da alteração de arenito fino a muito fino, sem estrutura pouco argiloso, rosa esbranquiçado, aparentemente quartzoso, já bastante lixiviado, bem litificado (endurecido).

**Pedregosidade:** Não pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Suave ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** Bem drenado.

**Uso atual:** Campo nativo

**Descrito e coletado por:** Paulo César do Nascimento, Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, Rômulo da Conceição, e Edgardo Medeiros.

**Observações:** mosqueados pequenos e bem distribuídos nos horizontes Bt1 e Bt2.

**Descrição morfológica:**

A1-	0-30 cm; Bruno (10 YR 5/3 seco), Preto (10 YR 3/3, úmida); grão simples granular fraca; consistência macia, muito friável, não pegajoso não plástico; transição plana e gradual.
A2-	30-60/65 cm; Bruno (10 YR 5/3 seco), Bruno-escuro (10 YR 3,5/3 úmida); caráter fragipânico; consistência macia, muito friável, não pegajoso não plástico; transição plana e abrupta.
E-	60/65-80/85 cm; Bruno-amarelado-claro (10 YR 6,5/4 seco) Bruno- amarelado escuro (10 YR 4/6 úmida); caráter fragipânico; consistência macia, muito friável, não pegajosa não plástica; transição plana e abrupta.
Bt1-	97-120 cm Bruno-amarelado (10 YR 5/4 seco), Bruno escuro (7,5 YR 3/4 úmido) com segregações Vermelho escuro (2,5 YR 4/8 seco) e Bruno (7,5 YR 4/6 úmido); blocos angulares médios- médios fortes, cerosidade moderada e pouca; consistência dura, firme, pegajosa a plástica; transição plana e gradual
Bt2-	120-143/155 cm; Bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4 seco), Bruno escuro (10 YR 3/4) com segregações Vermelho escuro (2,5 YR 4/8 seco) e Bruno-avermelhado (2,5 YR 4/8 úmido); maciça; cerosidade fraca e pouca; consistência muito dura, firme, pegajosa a plástica; transição ondulada e abrupta.
C-	143/155- 180+ cm; Bruno (10 YR 4/4 úmida) com segregações Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/6 úmida) Muito Dura, Friável, não pegajoso não plástico.

**Caracterização granulométrica e química**

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila							
A1	00-17	0,5	242	549	9	200	30	85					
A2	17-70	0,2	236	577	7	180	40	77,8					
E	70-97	2,66	201	630	9	160	40	75					
Bt1	97-120	2,37	119	361	20	500	100	80					
Bt2	120-143/155	1,79	95	404	20	480	20	95,8					
C	143/155-180+	0,88	-	-	-	-	40	-					
pH			C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> / Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH7</sub>	(%)	
4,8	3,9		1,00	1,2	0,8	0,01	0,26	3,6	0,6	2,3	5,9	39	21
4,6	3,8		0,32	0,4	0,1	0,01	0,08	2,6	1,0	0,6	3,2	19	63
4,7	3,9		0,31	0,2	0,1	0,01	0,03	1,7	0,8	0,3	2,0	15	73
4,7	3,6		0,46	1,4	0,7	0,02	0,11	6,3	4,1	2,2	8,5	26	65
4,6	3,6		0,24	1,4	0,7	0,01	0,11	5,9	4,4	2,2	8,1	27	67
4,6	3,7		0,23	1,0	0,7	0,01	0,08	4,6	3,7	1,8	6,4	28	67
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
14,56	20,74	7,09	0,119	2,72	1,19	4,06	1,22	1,14	0,53				
10,21	16,63	6,44	0,199	2,63	1,04	3,14	0,82	1,01	0,47				
3,58	11,66	6,34	0,072	2,55	0,52	3,49	0,85	0,56	0,21				
88,42	110,65	26,89	0,124	6,83	1,36	22,00	4,55	3,68	1,70				
92,59	112,96	25,96	0,127	6,33	1,39	19,92	4,36	2,88	1,61				
61,50	71,96	13,72	0,063	3,44	1,45	8,01	2,37	1,27	1,04				

**Apêndice D: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 51 RS.**

**Data da coleta:** 15/03/2012.

**Classificação proposta:** **ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico**, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** São Pedro.

**Município e estado:** Santa Maria/Dilermando de Aguiar-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, saindo da cidade de Santa Maria em direção a Rosário do Sul, ao lado de uma cantina, à margem esquerda da rodovia.

**Coordenadas:** -29° 46' 07,3" S  
-54° 04' 42,7" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de pedimento com superfície côncava com 3% de declividade,

**Altitude:** 142 m.

**Formação geológica e cronologia:** Formação Sanga do Cabral, Triássico inferior.

**Material de origem:** Produto da alteração de material arenoso médio a grosseiro, finamente e pouco micáceo, contendo além dos clastos de quartzo pequenos fragmentos de troncos (0,5 cm).

**Pedregosidade:** Não pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** Bem drenado.

**Uso atual:** Pastagem cultivada.

**Descrito e coletado por:** Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, e Edgardo Medeiros.

**Observações:** mosqueados amarelados pequenos e poucos expressivos nos horizontes Bt2 e Bt3 (<5%)

**Descrição morfológica:**

A1	0-24 cm, Bruno/ Bruno-amarelado (10 YR 5/3,5seco), Bruno-escuro (10 YR3/3, úmida); Grão simples/ granular fraca pequena média; consistência macia, muito friável, não pegajoso não plástico; transição plana e gradual.
A2	24-55/62 cm, Bruno-amarelado (10 YR 5/3 seco), Bruno-escuro (10 YR 3/3,5 úmida); médios que se desfaz em pequenos e grão simples; cerosidade fraca e pouca; consistência ligeiramente macia, muito friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição ondulada e clara.
AB	55/62-77 cm, Bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4 seco), Bruno-escuro (7,5 YR 3/4 úmida); blocos subangulares pequenos- médio moderado; cerosidade moderada e comum; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.
BA	77-99 cm, Bruno-forte (7,5 YR 4/6 seco) Bruno (7,5 YR 4/4 úmida); blocos subangulares pequenos a médios; consistência ligeiramente dura, forte; consistência muito friável, ligeiramente pegajosa ligeiramente plástica; transição clara e plana.
Bt1	99-135 cm, Vermelho-amarelado (5 YR 4/6 , seco), Vermelho-escuro 2,5 YR 4/6 úmida); blocos subangulares pequenos a grandes, forte; consistência ligeiramente dura, muito friável, pegajosa, ligeiramente plástica; transição plana e gradual.
Bt2	135-176 cm, Bruno-amarelado (10 YR 5/4, seco), Vermelho-escuro (2,5 YR 4/8) com segregações Cinzento-brunado-claro (2,5 YR 6/2 seco) e Bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4); blocos subangulares pequenos a muito grandes, forte; consistência ligeiramente dura, muito friável, pegajosa, ligeiramente plástica; transição plana e gradual.
Bt3	176-200+ cm, Vermelho-escuro (2,5 YR 4/6, seco), Vermelho-escuro (2,5 YR 3,5/6) com segregações Cinzento-brunado-claro (2,5 YR 6/2 seco) e Cinzento (2,5 Y 6/1); blocos subangulares pequena, grande, moderada; consistência ligeiramente dura, muito friável, pegajosa, ligeiramente plástica; transição plana e gradual.
C	

### Caracterização granulométrica e química

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila							
A1	00-24	0,07	529	317	34	120	40	66,7					
A2	24-55/62	0,14	474	295	31	200	100	50					
AB	55/62-77	0,21	405	245	40	310	150	51,6					
BA	77-99	1,47	373	260	17	350	130	62,9					
Bt1	99-135	1,68	259	190	31	520	120	76,9					
Bt2	135-176	1,57	296	225	19	460	20	95,7					
Bt3	176-200+	1,64	288	208	65	440	20	95,5					
CR		0,83	348	238	14	400	20	95					
pH		C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )									V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> / Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH 7</sub>	V m (%)	
5,5	4,9		0,44	1,4	0,7	0,01	0,18	1,5	0,0	2,3	3,8	61	0
4,8	3,8		0,33	0,9	0,2	0,01	0,20	2,7	0,8	1,3	4,0	33	38
4,6	3,6		0,39	1,1	0,3	0,01	0,08	4,6	1,8	1,5	6,1	25	55
4,5	3,6		0,41	1,2	0,3	0,01	0,07	4,7	2,0	1,6	6,3	25	56
4,5	3,6		0,41	1,1	0,8	0,01	0,10	5,2	2,4	2,0	7,2	28	55
4,7	3,6		0,28	1,1	0,8	0,01	0,10	4,3	2,1	2,0	6,3	32	51
4,7	3,6		0,29	1,1	0,8	0,01	0,12	3,9	2,2	2,0	5,9	34	52
4,8	3,6		0,14	1,0	0,7	0,01	0,10	3,4	1,9	1,8	5,2	35	51
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
5,29	13,32	5,58	0,213	2,77	0,67	3,62	1,06	1,63	0,26				
21,63	28,63	9,51	0,132	3,99	1,28	7,37	2,03	2,20	0,70				
54,22	65,13	18,89	0,096	6,11	1,42	15,05	3,60	2,10	1,17				
47,63	99,46	24,74	0,106	7,25	0,81	17,70	4,66	2,65	1,66				
74,91	128,68	31,18	0,113	7,81	0,99	25,61	5,35	-	1,85				
75,33	101,61	26,20	0,121	7,04	1,26	21,32	3,68	3,35	1,23				
88,04	100,13	26,37	0,127	7,05	1,49	21,69	3,22	3,85	1,13				
42,08	83,12	23,04	0,130	6,41	0,86	13,30	2,63	2,50	0,81				



## **Apêndice E: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 16 RS.**

**Data da coleta:** 14/03/2012.

**Classificação proposta:** LUVISSOLO CRÔMICO Pálico típico, A moderado, Ta, textura franco arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** São Pedro.

**Município e estado:** Dilermando de Aguiar-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, saindo da cidade de Santa Maria em direção a Rosário do Sul, afloramento de arenito avermelhados expondo lamelas de argilitos e siltitos à margem esquerda da rodovia.

**Coordenadas:** -29° 49' 04,34" S

-54° 08' 19,14" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de meia encosta com 3% de declividade,

**Altitude:** 97,69 m.

**Formação geológica e cronologia:** Formação Sanga do Cabral, Triássico inferior.

**Material de origem:** produto da alteração de níveis conglomeráticos algumas vezes atingindo 0,5 m de espessura, cujos clastos são compostos por concreções arredondadas de tamanhos diversos, discoides e irregulares de quartzo cimentados por carbonatos (glébulos), intercaladas com argilitos (clayballs) e arenitos da formação Sanga do Cabral. Presença de micas (biotita e muscovita) bem visíveis ( $\approx$  2mm), distribuídas nas diferentes fases da rocha.

**Pedregosidade:** Nao pedregosa.

**Rochosidade:** Nao rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** Moderadamente drenado.

**Uso atual:** Plantio de soja e pastagem.

**Descrito e coletado por:** Paulo César do Nascimento, Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, Rômmulo da Conceição, e Edgardo Medeiros.

**Observações:** Presença de material alóctone recobrimdo o horizonte superficial. Mosqueados avermelhados pequenos e bem distribuídos nos horizontes Bt e BC ( 20 a 30%).

**Descrição morfológica:**

A1	0-22 cm, Bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2 seco) Bruno-acinzentado-escuro (10 YR 3/2, úmida); moderada média blocos subangulares; consistência dura, friável, pegajoso pouco plástico; transição plana e gradual.
A2	22-50 cm, Bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2 seco), Cinzento-muito escuro (10 YR 3/1 úmida); maciça/moderada média, blocos subangulares; consistência dura, friável, pegajoso e pouco plástico; transição clara e plana.
AB	50-67/72 cm, Bruno-acinzentado (10 YR 5/2,5 seco), Bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2 úmida); forte grande blocos subangulares; consistência muito dura, friável, pegajoso e plástico; transição plana e clara.
Bt	67/72-98 cm, Bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4 seco), Bruno (7,5 YR 5/4 úmida) com segregações Vermelho (2,5 YR 5/7 seco) e Bruno claro (2,5 YR 5/8 úmida); moderada grande colunar que pode se desfazer em grande e blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca; consistência moderada, extremamente dura, friável, muito pegajosa e plástica; transição gradual e plana.
BC	98-118 cm, Bruno-claro (7,5 YR 6/4 seco), Amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6 úmida) com segregações Amarelo-avermelhado (5 YR 6/8 seco) e Vermelho-amarelado (5 YR 5/8 úmida); moderada grande colunar que pode se desfazer em grande e blocos subangulares; consistência extremamente dura, friável, muito pegajosa e plástica; transição gradual e plana.
C	118-145+ cm, Vermelho- amarelado / Amarelo-avermelhado (5 YR 5,5/6 seco), vermelho-escuro (2,5 YR 4/6 úmida e amassada); laminar grande moderada colunar; consistência muito dura ou extremamente dura, firme, muito friável, não pegajosa, não plástica; transição plana e clara.

### Caracterização granulométrica e química

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila							
A1	00-22	0,34	157	296	282	265	40	84,9					
A2	22-50	0,13	159	371	210	260	50	80,8					
AB	50-67/72	0,23	112	325	297	265	90	66					
Bt	67/72-98	0	41	173	337	450	160	64,4					
BC	98-118	1,69	40	256	352	340	140	58,8					
C	118-145+	0,22	19	310	496	170	50	70,6					
pH		C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )									V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH 7</sub>	(%)	
4,8	3,9		1,30	5,1	0,3	0,04	0,08	6,3	1,3	5,5	11,8	47	19
5,0	3,9		1,60	5,2	0,2	0,04	0,06	4,7	0,9	5,5	10,2	54	14
5,6	4,4		0,48	8,4	0,4	0,07	0,11	2,1	0,0	9,0	11,1	81	0
6,0	4,6		0,28	20,6	1,3	0,20	0,24	1,8	0,0	22,3	24,1	93	0
6,1	4,8		0,13	20,9	1,4	0,22	0,20	1,6	0,0	22,7	24,3	93	0
6,5	5,3		1,90	20,7	1,3	0,23	0,16	0,4	0,0	22,4	22,8	98	0
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
37,33	37,12	11,87	0,113	4,90	1,71	4,48	2,41	3,00	1,61				
30,23	31,82	11,11	0,105	2,07	1,62	4,22	2,12	2,56	1,29				
40,14	67,83	21,59	0,178	8,48	1,01	6,94	2,59	0,65	0,96				
92,02	102,00	28,63	0,197	8,85	1,53	16,68	2,93	1,59	1,27				
77,54	115,87	32,66	0,241	7,62	1,14	13,69	2,14	0,83	0,62				
60,21	62,07	27,62	0,467	8,67	1,65	13,13	1,11	0,52	0,28				

**Apêndice F: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 17 RS.**

**Data da coleta:** 14/03/2012.

**Classificação proposta:** como **PLANOSSOLO HÁPLICO Alítico gleissólico**, A moderado, Ta, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** Santa Maria/Vacacaí.

**Município e estado:** Dilermando de Aguiar-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, no sentido de Santa Maria em direção a Rosário do Sul, passando um arroio, próximo a uma porteira, à margem direita da rodovia.

**Coordenadas:** -29° 49' 58" S

-54° 09' 42,01" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de várzea com 2% de declividade,

**Altitude:** 87,60 m

**Formação geológica e cronologia:** Formação Sanga do Cabral com possível contribuição fluvial recente, Triássico inferior.

**Material de origem:** produto da alteração de arenito conglomerático, médio, amarelado, quartzoso, pequenos e poucos feldspatos alterados, pouco cimentado, aparentemente sem estrutura (possivelmente destruída), permeável, argiloso, possivelmente caulínico

**Pedregosidade:** Não pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Plano.

**Relevo regional:** Ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** Mal drenado.

**Uso atual:** Lavoura de soja.

**Descrito e coletado por:** Paulo César do Nascimento, Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, Rômulo da Conceição e, Edgardo Medeiros.

**Observações:** coloração variegada (mesclando colorações vermelhas, cinzas e escurecidas) nos horizontes Btg e C (15 a 20 %).

**Descrição morfológica:**

A1	0-27 cm, Bruno-acinzentado- muito escuro (10 YR 3/2 seco), preto (10 YR 2/1 úmida); fraca pequena granular; consistência macia, muito friável, ligeiramente pegajoso não plástico; transição plana e clara.
A2	27-48 cm, Bruno-acinzentado escuro/ Bruno oliváceo (2,5 Y 4/2,5 seco), Preto (2,5 Y 2,5/1 úmida); fraca pequena blocos subangulares/ fraca média granular; consistência macia, muito friável, não pegajoso e não plástico; transição plana e gradual.
EA	48-68 cm, Bruno-oliváceo/ Bruno-oliváceo claro (2,5 Y 4,5/3 seco), Bruno acinzentado muito escuro – Bruno-oliváceo escuro (2,5 Y 3/2,5 úmida); maciça/fraca, média blocos subangulares, consistência macia, muito friável, não pegajoso e não plástico, transição ondulada e gradual.
E	68-87 cm, Bruno-amarelado-claro (2,5 Y 6/3 seco) Bruno-oliváceo claro (2,5 Y 5/4 úmida); maciça/fraca, média blocos subangulares; consistência macia, muito friável, não pegajosa e não plástica; transição clara e plana.
Btg	87-125 cm, Cinzento- escuro (10 YR 4/1 seco), Bruno (5 YR 6,5/1 úmida) com segregações Vermelho-claro-acinzentado (2,5 YR 7/2 seco) e Bruno-avermelhado (5 YR 4/6 úmida); moderada média prismática/ moderada média blocos subangulares, consistência muito dura, firme, pegajosa e plástica; transição gradual e plana.
C	125-140+ cm, Vermelho-acinzentado (2,5 YR 6/2 úmido) com segregações Vermelho-acinzentado (2,5 Y 5,5/2 úmido) Moderada grande laminar, transição gradual e plana.

**Caracterização granulométrica e química**

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila							
A1	00-27	0,22	261	400	129	210	20	90,5					
A2	27-48	0,14	269	424	107	200	20	90					
EA	48-68	0,61	257	449	114	180	30	83,3					
E	68-87	0	245	455	140	160	40	75					
Btg	87-125	0,76	126	280	163	430	100	76,7					
C	125-140+	0,39	135	353	242	270	160	40,7					
pH		C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )									V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH 7</sub>	(%)	
4,7	3,9		0,85	1,7	0,4	0,04	0,17	6,9	1,7	2,3	9,2	25	43
4,8	4,0		0,35	0,5	0,1	0,02	0,04	6,1	1,8	0,7	6,8	10	72
4,6	4,0		0,33	0,4	0,1	0,01	0,03	4,0	1,8	0,5	4,5	11	78
4,8	4,0		0,17	0,3	0,1	0,02	0,02	2,3	1,1	0,4	2,7	15	73
5,1	3,6		0,20	4,4	0,8	0,27	0,14	8,7	6,7	5,6	14,3	39	54
5,4	3,4		0,17	6,1	1,1	0,40	0,14	4,3	3,6	7,7	12,0	64	32
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
11,23	25,51	7,93	0,320	2,88	0,75	2,54	2,84	1,95	1,83				
8,47	24,70	8,86	0,035	2,88	0,58	3,02	3,04	1,65	1,85				
9,08	21,85	7,54	0,036	2,72	0,71	2,64	2,03	0,66	1,10				
1,41	11,89	5,21	0,033	2,27	0,20	2,35	1,15	0,46	0,42				
76,72	90,98	27,95	0,063	6,19	1,43	9,35	3,96	1,07	1,89				
52,97	57,06	22,87	0,077	4,69	1,58	2,77	1,87	0,50	0,55				

**Apêndice G: Descrição geral, descrição morfológica e caracterização granulométrica e química do Perfil 50 RS.**

**Data da coleta:** 14/03/2012.

**Classificação proposta:** PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alítico espesso, A moderado, Tb, textura arenosa/media/argilosa, vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

**Unidade de mapeamento:** São Pedro.

**Município e estado:** Dilermando de Aguiar-RS

**Localização:** Rodovia RS 158, saindo da cidade de Santa Maria em direção a Rosário do Sul, à margem direita da rodovia.

**Coordenadas:** -29° 51' 31,2" S

-54° 13' 10" O

**Situação e declividade:** Perfil em posição de pedimento com superfície convexa com 2% de declividade,

**Altitude:** 105 m

**Formação geológica e cronologia:** Não foi possível chegar a uma conclusão da formação geológica da qual estes sedimentos são provenientes.

**Material de origem:** produto da alteração de arenito médio, quartzoso e feldspático já em estágio de alteração avançado (presença de caulinita), estrutura fortemente laminado (estratificação fina), pouco micáceo, proveniente de ambiente fluvial.

**Pedregosidade:** Não pedregosa.

**Rochosidade:** Não rochosa.

**Relevo local:** Suave ondulado.

**Relevo regional:** Ondulado.

**Erosão:** Sem erosão aparente.

**Drenagem:** Bem/Moderadamente drenado.

**Uso atual:** Lavoura de soja.

**Descrito e coletado por:** Paulo César do Nascimento, Alberto Vasconcellos Inda Junior, Catiline Schmitt, Rômulo da Conceição e Edgardo Medeiros.

**Observações:** mosqueados pequenos e poucos no horizonte Bt1 (5 a 10 % do volume) e concreções avermelhadas endurecidas moderadamente resistentes a pressão entre os dedos no horizonte Btf compondo aproximadamente 25% do volume do horizonte.

**Descrição morfológica:**

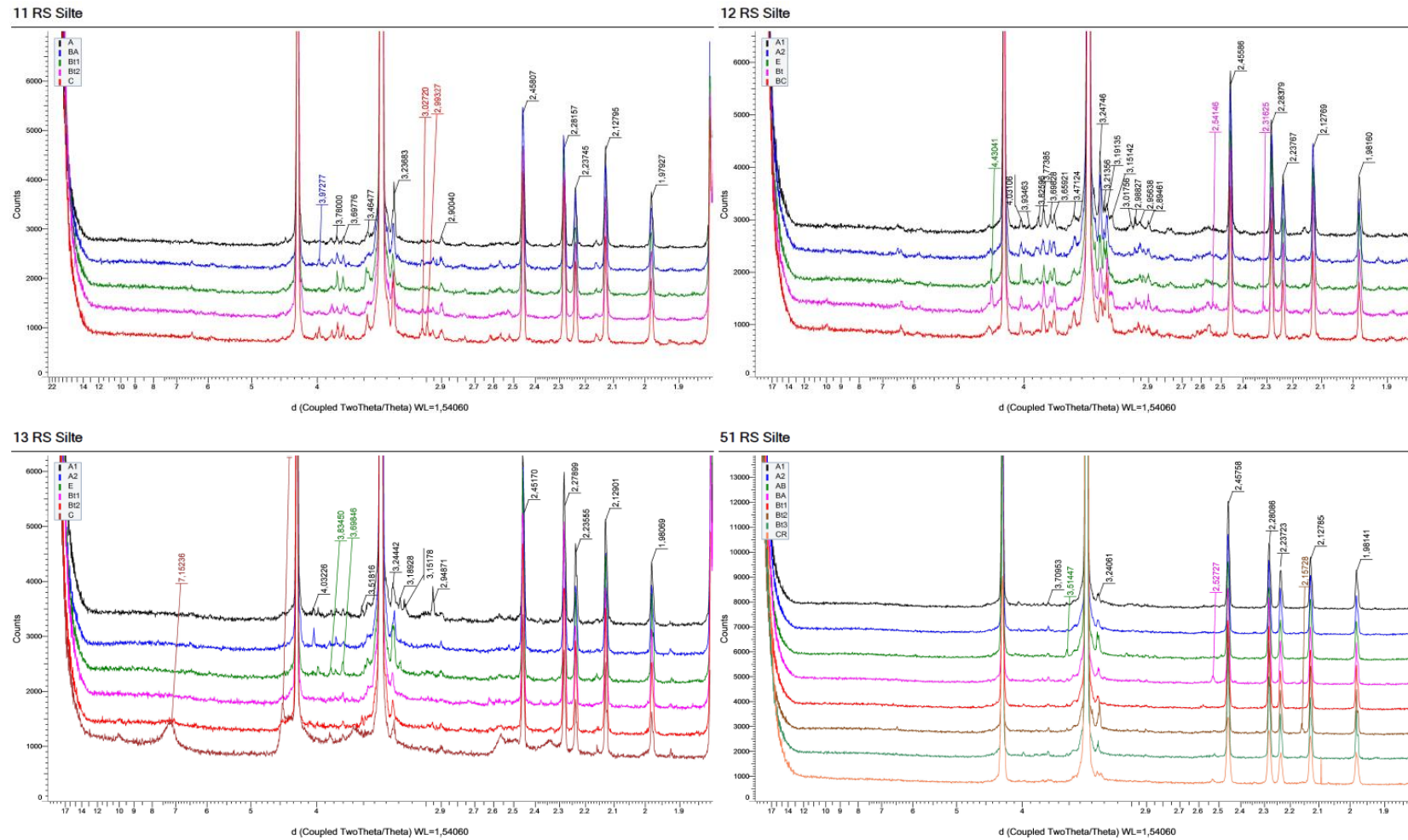
A1	0-28 cm, Vermelho-acinzentado (2,5 YR 5/3 seco), Bruno-muito escuro (10 YR 3/2,5 úmida); fraca pequena granular/ fraca pequena blocos subangulares; consistência macia, muito friável, ligeiramente pegajoso não plástico, transição plana e clara.
A2	28-58/62 cm, Bruno (10 YR 4/3 seco), Bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2 úmida); fraca pequena blocos subangulares; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajoso e não plástico; transição ondulada e clara.
E	58/62-83 cm, Bruno (10 YR 5/3 seco Bruno-escuro (10 YR 3/3 úmida); maciça pequena a moderada blocos subangulares fraca pequena blocos subangulares s; consistência ligeiramente dura, muito friável, não pegajoso e não plástico; transição clara e ondulada.
EB	83-92 cm, Amarelo-brunado (10 YR 6/6 seco) Bruno/Bruno-forte (7,5 YR 4/5 úmida); maciça pequena a moderada blocos subangulares; consistência dura, muito friável; consistência ligeiramente pegajoso ligeiramente plástico; transição abrupta e plana.
Bt1	92-102/110 cm, Cinzento- escuro (10 YR 4/1 seco), Bruno (5 YR 4/3 úmida) com segregações Vermelho-claro-acinzentado (2,5 YR 7/2 seco) e Bruno-avermelhado (2,5 YR 4/7 úmida); moderada média blocos subangulares; consistência dura, friável, pegajosa e plástica; transição gradual e ondulada.
Btf	102/110-155+ cm, Cinzento- escuro (10 YR 4/1 seco), Bruno (10 YR 5/3 úmida) com segregações Vermelho-claro-acinzentado (2,5 YR 7/2 seco) e Bruno amarelado (2,5 YR 3/6 úmida); moderada média prismática/ moderada média blocos subangulares; consistência muito dura, firme, pegajosa e plástica; transição plana.
C	190-200+ cm, Bruno-avermelhado (5 YR 4/7 úmida) com segregações Bruno-acinzentado (10 YR 5/2 úmida) Dura, muito friável.

### Caracterização granulométrica e química

Símb.	Prof. (cm)	Frações grosseiras (%)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Argila Dispersa (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de Floculação (%)					
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila							
A1	00-28	0,17	296	443	41	220	30	86,4					
A2	28-58/62	0	267	430	63	240	80	66,7					
E	58/62-83	2,06	211	468	85	235	90	61,7					
EB	83-92	0,85	194	412	99	295	120	59,3					
Bt1	92-102/110	0,41	150	260	75	515	150	70,9					
Btf	102/110-190	0,26	253	186	66	495	150	69,7					
C	190-200+	0,71	444	144	47	365	140	61,6					
pH			C Org.	Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	%%	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	S	CTC <sub>pH 7</sub>	%	
4,4	3,6		0,98	0,6	0,2	0,03	0,05	5,1	1,8	0,9	6,0	15	67
4,6	3,9		0,44	1,0	0,2	0,03	0,04	4,2	2,3	1,3	5,5	24	64
4,8	3,7		0,39	0,8	0,2	0,02	0,03	4,8	2,0	1,1	5,9	19	65
4,5	3,6		0,56	0,7	0,3	0,02	0,04	6,9	2,7	1,1	8,0	14	71
4,4	3,7		0,33	1,1	0,6	0,04	0,09	7,3	6,8	1,8	9,1	20	79
4,5	3,6		0,25	1,0	0,8	0,04	0,10	8,9	8,0	1,9	10,8	18	81
4,6	4,3		0,39	1,4	1,1	0,06	0,11	8,4	7,6	2,7	11,1	24	74
Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d = 1,84 (g kg <sup>-1</sup> )					ki	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>		%							
14,74	28,61	10,52	0,109	3,12	0,88	5,19	2,00	1,40	0,76				
20,94	35,55	11,02	0,075	3,42	1,00	5,71	2,52	1,41	1,04				
14,45	28,77	9,60	0,059	3,38	0,85	6,10	2,46	1,33	0,83				
33,58	43,62	15,61	0,066	4,58	1,31	6,49	2,34	1,93	0,96				
89,09	105,70	31,17	0,085	6,52	1,43	21,71	5,15	3,77	1,85				
103,70	114,02	33,44	0,097	5,34	1,55	28,26	4,92	2,49	1,80				
81,96	149,93	30,59	0,123	3,81	0,93	13,42	3,26	3,79	1,44				

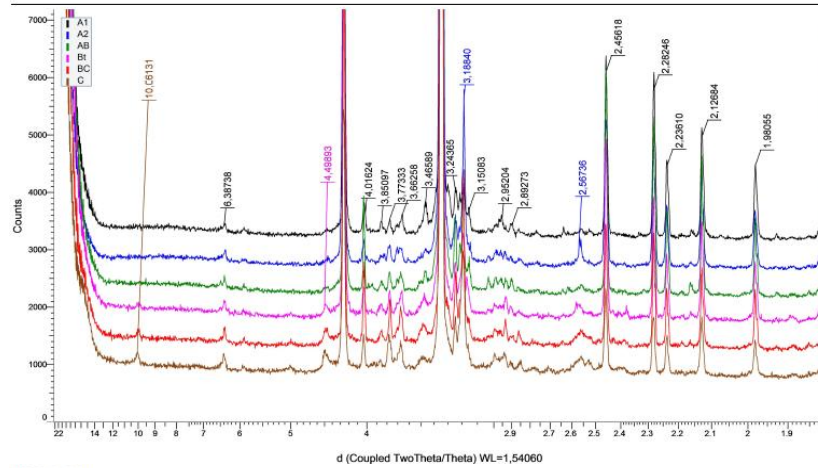


## Apêndice H: Difratogramas de raios-x da fração silte na forma de pó, de todos os horizontes dos perfis 11 RS, 12 RS, 13 RS E 51

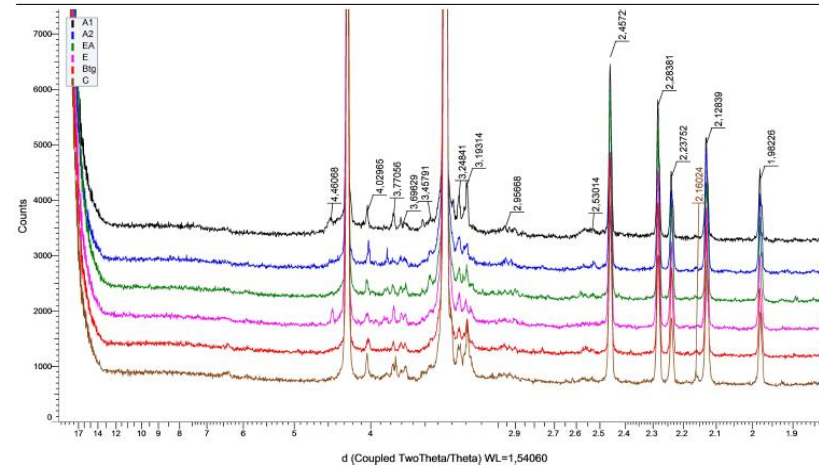


**Apêndice I: Difratogramas de raios-x da fração silte na forma de pó, de todos os horizontes dos perfis 16 RS, 17 RS E 50 RS.**

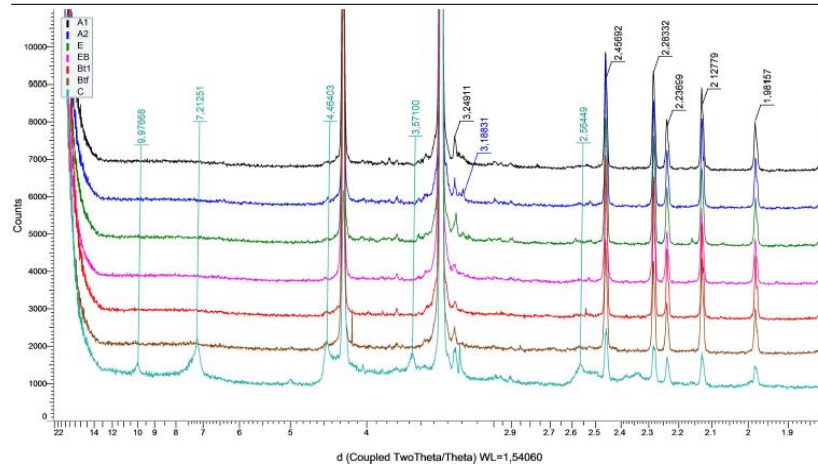
16 RS Sítio



17 RS Sítio

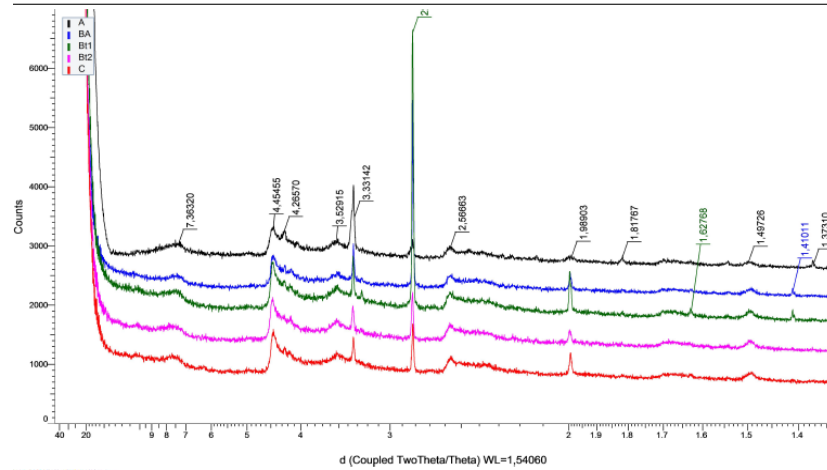


50 RS Sítio

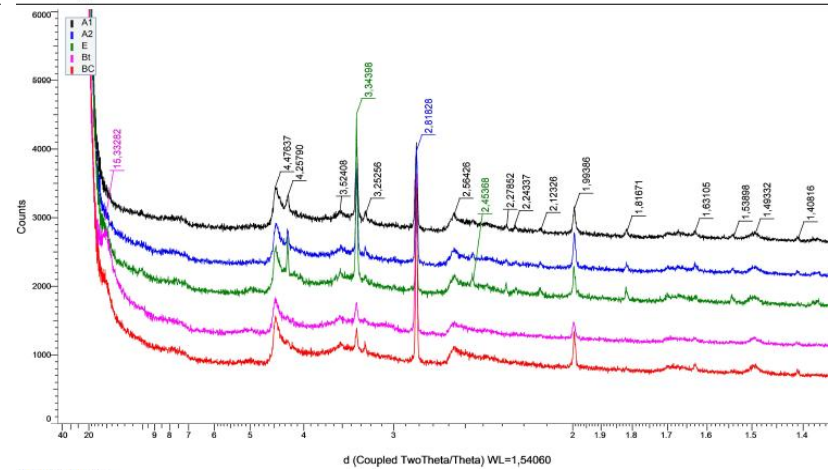


**Apêndice J: Difratogramas de raios-x da fração argila na forma de pó, de todos os horizontes dos perfis 11 RS, 12 RS, 13 RS E 51 RS.**

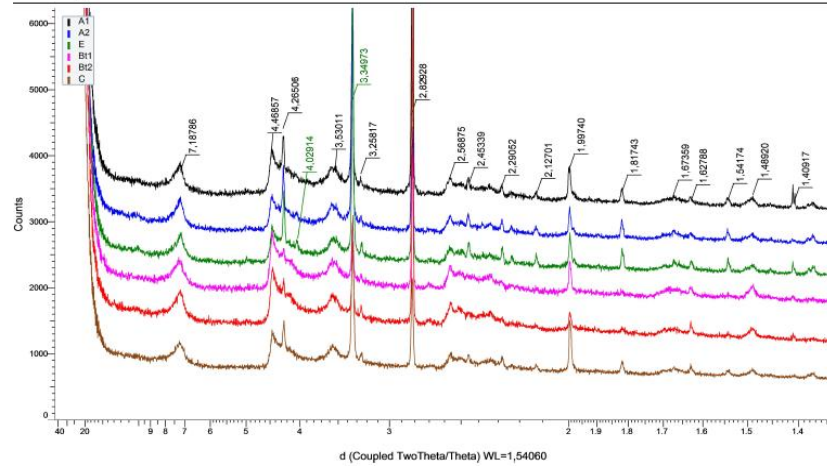
Perfil 11 RS argila



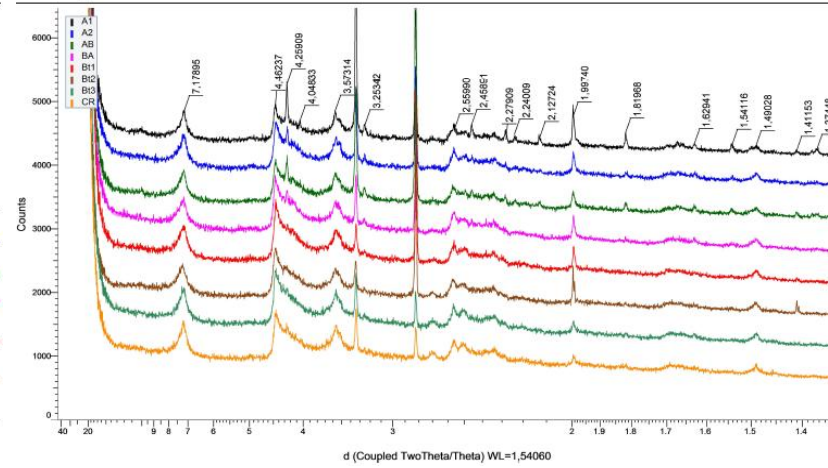
12 RS Argila



13 RS Argila

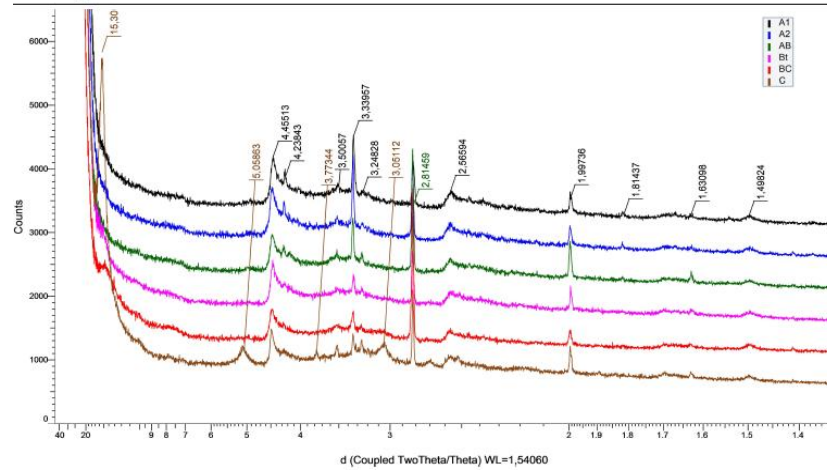


51 RS Argila

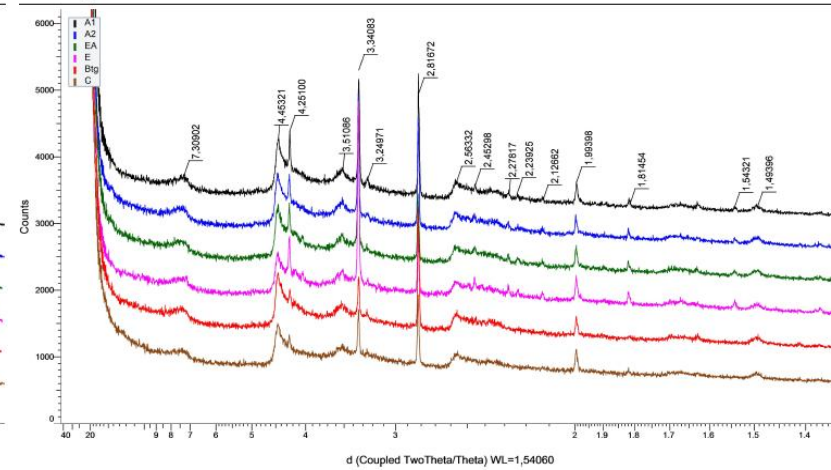


**Apêndice K: Difratogramas de raios-x da fração argila na forma de pó, de todos os horizontes dos perfis 16 RS, 17 RS E 50 RS.**

16 RS Argila



17 RS Argila



50 RS Argila

