



**UDESC**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

O estudo teve como objetivo geral a caracterização das propriedades físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas, dos principais solos da região sudoeste do RS desenvolvidos sobre litologias sedimentares, estabelecendo relações entre seus atributos, e investigando as causas da variabilidade das classes de solos. A área de estudo está situada na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria na cidade de Rosário do Sul, RS. Foram definidas topotitossequências a partir de solos desenvolvidos de litologias das Formações Pirambóia, Sanga-do-Cabral e Guará, visando estudar a influência das formas de relevo e dos diferentes materiais de origem, na gênese e na composição mineralógica dos solos, assim como, compreender e descrever os principais processos pedogenéticos atuantes na sua evolução.

Orientador: Dr. Jaime Antonio de Almeida

Coorientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

Lages, 2015

ANO  
2015

PABLO GRAHL DOS SANTOS | MINERALOGIA, GÊNESE E RELAÇÕES PEDO  
GEOMÓRFICAS DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE LITOLOGIAS DAS FORMAÇÕES  
PIRAMBÓIA, SANGA-DO-CABRAL E GUARÁ NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO  
RIO GRANDE DO SUL

TESE DE DOUTORADO

**MINERALOGIA, GÊNESE E  
RELAÇÕES PEDO GEOMÓRFICAS  
DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE  
LITOLOGIAS DAS FORMAÇÕES  
PIRAMBÓIA, SANGA-DO-CABRAL E  
GUARÁ NA REGIÃO SUDOESTE DO  
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

PABLO GRAHL DOS SANTOS

LAGES, 2015



**PABLO GRAHL DOS SANTOS**

**MINERALOGIA, GÊNESE E RELAÇÕES PEDO  
GEOMÓRFICAS DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE  
LITOLOGIAS DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA, SANGA-DO-  
CABRAL E GUARÁ NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO  
RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação  
em Ciência do Solo da Universidade do Estado de  
Santa Catarina, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Doutor em Manejo do Solo.

Orientador: Dr. Jaime Antonio de Almeida  
Co-orientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

**LAGES, SC  
2015**

Santos, Pablo Grahrl dos

Mineralogia, gênese e relações pedo  
geomórficas de solos desenvolvidos de litologias  
das formações Pirambóia, Sanga-do-Cabral e Guará  
na região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul  
/ Pablo Grahrl dos Santos. - Lages, 2015.

318 p.: il.; 21 cm

Orientador: Jaime Antonio de Almeida

Coorientador: Álvaro Luiz Mafra

Inclui bibliografia

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,  
Lages, 2015.

1. Superfícies geomórficas. 2. Litologia. 3.  
Mineralogia do solo. 4. Sistema de Informação  
Geográfica. 5. Processos pedogenéticos. 6.  
Topolitosequência. I. Santos, Pablo Grahrl dos. II.  
Almeida, Jaime Antonio de. III. Universidade do  
Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

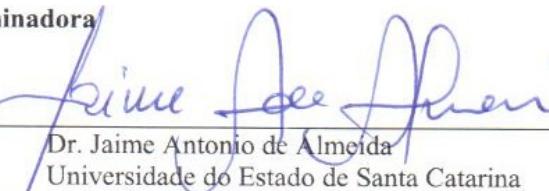
**PABLO GRAHL DOS SANTOS**

**MINERALOGIA, GÊNESE E RELAÇÕES PEDO  
GEOMÓRFICAS DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE  
LITOLOGIAS DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA, SANGA-DO-  
CABRAL E GUARÁ NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO  
RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Manejo do Solo.

**Banca Examinadora**

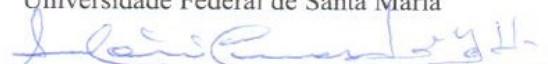
Orientador:

  
Dr. Jaime Antonio de Almeida  
Universidade do Estado de Santa Catarina

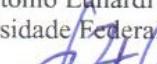
Membro:

  
Dr. Fabrício de Araújo Pedron  
Universidade Federal de Santa Maria

Membro:

  
Dr. Antônio Lunardi Neto  
Universidade Federal de Santa Catarina

Membro:

  
Dr. Ildegardis Bertol  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

  
Dr. Letícia Sequinatto  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**LAGES, SC (25 de Setembro de 2015)**



A todos os amantes da Pedologia que comprometeram a maior parte de suas vidas a nobre causa de estudar este inestimável recurso natural

Dedico.



## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e de todos, à Deus o grande arquiteto do universo, meu norte verdadeiro e a luz que ilumina o meu caminho, minha fortaleza espiritual, agradeço pela minha vida, liberdade, saúde, por minha família, por sua proteção divina contra o mal e os perigos, por defender-me de meus inimigos, por todas as provações, bênçãos e glórias alcançadas.

Aos meus pais, Claudiomar e Maria Marici, e aos meus irmãos Rafael e Clarissa, pela lembrança de um lar, pela união familiar, pelo amor, pelas alegrias e tristezas, e por todos os momentos que vivenciamos juntos e que estão guardados em nossas memórias e no fundo de nossos corações, onde cada pedacinho faz parte da construção da nossa verdadeira felicidade.

À minha esposa Sandra Rosa, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis quando precisei de alguém, uma pessoa muito especial em minha vida que me apoiou, incentivou e acreditou no meu potencial, dando-me forças para lutar pelos nossos ideais, na conquista de meus objetivos, na superação das adversidades e na edificação de nossos projetos de vida.

Ao professor Jaime Antonio de Almeida um grande mestre que aceitou como desafio a árdua missão de me orientar. Agradeço pelo suporte na execução deste trabalho de pesquisa demonstrando excepcional competência técnica e científica, pelo intercâmbio de experiências, pela transmissão de conhecimentos durante o processo de minha formação acadêmica e capacitação profissional, pela paciência e compreensão dos problemas e, acima de tudo pela amizade durante este efêmero tempo de convivência.

À comissão de orientação, professores Álvaro Luiz Mafra e Jackson Adriano Albuquerque e demais colaboradores do projeto.

Em particular aos seguintes professores da UDESC: Aos professores do Departamento de Solos e Recursos Naturais Letícia Sequinatto pela participação a campo na coleta das amostras de solo, e David José Miqueluti pela ajuda na análise estatística dos dados. Ao professor Marcos Benedito Schimalski do Departamento de Engenharia Florestal pelo auxílio na obtenção das imagens de satélite.

À acadêmica do Curso de Engenharia Florestal e bolsista de iniciação científica PROBIC/UDESC Carolina Alves Carvalho pelo ajuda nas atividades práticas de laboratório.

Ao professor Alberto Inda Vasconcelos Jr. e a doutoranda Catilene Schimidt da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS pela troca de experiências em viagens de campo e pelo apoio na realização da análise da sedimentologia da fração areia dos solos.

À Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, em especial ao pesquisador Vander Kaufmann, ao chefe do Departamento de Engenharia Química Vinicyus Rodolfo Wiggers e a bolsista de iniciação científica Fernanda Krieger da Silva do Laboratório de Verificação e Validação pela disponibilização do equipamento para realização das análises de granulometria a laser.

À todos que de alguma forma, direta ou indiretamente ajudaram ou contribuíram na realização deste projeto de pesquisa.

Aos demais professores do Departamento de Solos pelos valiosos ensinamentos ao longo do curso.

Aos funcionários do CAV.

À todos os amigos e colegas de laboratório e companheiros de curso.

À UDESC, pela oportunidade ímpar de realizar o Doutorado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da banca.

À todos que esqueci.

À aqueles que não mais estão entre nós.

“Se você quer mudar o mundo, mexa  
primeiro no seu interior.”

Tenzin Gyatsu  
Sua Santidade, o 14º Dalai-Lama



## RESUMO

SANTOS, Pablo Grahl dos. **Mineralogia, gênese e relações pedo geomórficas de solos desenvolvidos de litologias das formações Pirambóia, Sanga-do-Cabral e Guará na região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul.** 2015. 318 p. Tese (Doutorado em Manejo do Solo – Área: Gênese e Classificação dos Solos) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC., 2015.

O uso sustentável dos recursos naturais, com ênfase na exploração do solo em base conservacionista, demanda por informações pormenorizadas das suas características e propriedades, como um indicativo da sua qualidade, para recomendar o uso correto do solo e o melhor sistema de manejo. O estudo teve como objetivo geral a caracterização da natureza e das propriedades dos principais solos da região sudoeste do RS, estabelecendo relações entre os atributos físicos e químicos com sua constituição mineralógica, e investigando as causas da variabilidade das classes de solos decorrentes da dinâmica dos processos, considerando a variação litológica e o modelado da superfície topográfica. A área de estudo está situada na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria na cidade de Rosário do Sul-RS localizada a  $30^{\circ} 15' 28"S$  e  $54^{\circ} 54' 50"W$ , altitude média de 132 m, clima tipo Cfa, temperatura média anual próxima a  $20^{\circ}C$  e índice pluviométrico médio de 1300 mm. A base cartográfica básica consistiu de cartas topográficas, mapa geológico, imagens de satélite, modelos digitais de elevação e apoio de receptores GPS e de SIG's. Mapas de variáveis geomorfométricas foram utilizados para a correlação das superfícies geomórficas com a pedogênese aplicando-se modelos clássicos de compartimentação de vertentes. Foram definidas topolitossequências a partir de solos desenvolvidos de litologias das formações geológicas Pirambóia, Sanga-do-Cabral e Guará, escolhendo-se os perfis de solos com base em tipos de materiais de origem, variações no relevo e na altitude. Procedeu-se à descrição geral e morfológica dos perfis e a coleta de amostras de solo deformadas em cada um dos horizontes para análises químicas, físicas, mineralógicas e sedimentológicas, visando estudar a influência das formas de relevo e dos diferentes materiais de origem na gênese e na

composição mineralógica dos solos, assim como compreender e descrever os principais processos pedogenéticos atuantes na sua evolução. Observou-se que solos desenvolvidos da mesma formação geológica, em função de variações litológicas do pacote sedimentar, apresentam composição química e mineralógica diferente. Além disso, as diferenças entre os solos também se devem à forte interação do material de origem com o tipo e intensidade dos processos pedogênicos, influenciados pela posição que ocupam na paisagem, condicionados pelos fluxos de água no solo, já que supostamente evoluíram sob as mesmas condições climáticas pretéritas.

**Palavras-chave:** Superfícies geomórficas. Litologia. Mineralogia do solo. Sistema de Informação Geográfica. Processos pedogenéticos. Topolitossequência.

## ABSTRACT

SANTOS, Pablo Grahl dos. **Mineralogy, genesis and pedo geomorphic relationships of soils developed from lithologies of Pirambóia, Sanga-the-Cabral and Guara in the southwest region of the State of Rio Grande do Sul, Brazil.** 2015. 318 p. Thesis (Ph.D. in Soil Management – Area: Soil Genesis and Classification) - Santa Catarina State University. Post Graduation Program in Soil Science, Lages, SC. 2015.

The sustainable use of natural resources, with emphasis on soil exploration in conservation base, demand for detailed information on their characteristics and properties, as an indication of its quality, to recommend the correct land use and the best management system. The study aimed to characterization of the nature and properties of the main soils in the southwestern region of the State of Rio Grande do Sul – Brazil, establishing relationships between the physical and chemical attributes with your mineralogical constitution, and researching the causes of the variability of soil classes resultant from the dynamics of the processes considering the lithological variation and modeled of topographic surface. The area studied is situated in the Basin of Santa Maria River in Rosario do Sul County located at latitude 30°15'28" south and longitude 54°54'50" west, with an average altitude of 132 m, humid mesothermal climate, average annual temperature near to 20°C, and a rainfall in the range of 1300 mm. The cartographic base consisted of topographic charts, geological map, satellite imagery, digital elevation models, and support from global positioning system receivers and geographic information system. Geomorphometric variables maps were used for the correlation of the geomorphic surfaces with pedogenesis applying classic models to the compartmentalization of slopes. Topolithosequence were defined as from soil developed with lithology of the Pirambóia, Sanga-of-Cabral and Guará geological formations, choosing to the soil profiles based on types of source material, variations in relief and altitude. It was proceeded a general and morphological description of soil profiles and a horizons sampling collection for chemical, physical, mineralogical and sedimentological analysis, aiming to study the influence of relief forms and the different

source materials in the genesis and mineralogical composition of the soil, as well as to understand and describe the main pedogenic processes actants in their evolution. It was observed that soils developed in the same geological formation, in function to lithological variations of the sedimentary package, can have different chemical and mineralogical composition. Furthermore, the differences between the soils also are due to the strong interaction of the source material to the type and intensity of pedogenic processes, influenced by the position they hold in the landscape, conditioned by the flow of water in the soil, as presumably have evolved under the same preterit climatic conditions.

**Key-words:** Geomorphic surfaces. Lithology. Soil Mineralogy. Geographic Information System. Pedogenic processes. Topolithosequence.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Províncias Geomorfológicas do estado do RS.....	35
Figura 2 –	Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, mostrando a ocorrência e a evolução geocronológica das supersequências e as profundidades dos embasamentos..	37
Figura 3 –	Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Paraná.....	39
Figura 4 –	Mapa geológico simplificado de parte da região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Principais Formações - P3T1p: Formação Pirambóia; T1sc: Formação Sanga-do-Cabral; J3g: Formação Guará; J3K1bt: Formação Botucatu; K1β: Formação Serra Geral (escala indicada).	40
Figura 5 –	Formação Geológica Pirambóia, RS.....	41
Figura 6 –	Formação Geológica Sanga-do-Cabral, RS. ....	42
Figura 7 –	Formação Geológica Guará, RS. ....	44
Figura 8 –	Segmento do mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul (s/escala).....	46
Figura 9 –	Toposequência característica de solos da região da Depressão Central do RS, formados a partir de rochas sedimentares do Grupo Rosário do Sul.....	48
Figura 10 –	(a) Regiões Fisiográficas do RS e (b) localização geográfica da área do estudo – Município de Rosário do Sul e Santana do Livramento/RS (Imagen Landsat 5-TM / Datum SAD69 - escala indicada).....	71
Figura 11 –	Fluxograma e conjuntos de arquivos do TOPODATA produzidos ao longo do processamento dos dados SRTM. ....	73
Figura 12 –	Variáveis geomorfométricas locais derivadas da altimetria. ....	74
Figura 13 –	Localização geográfica e vista geral do perfil P1T1-PVd: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico espessarênico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada). ....	90
Figura 14 –	Localização geográfica e vista geral do perfil P2T1-PBACal: ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada). ....	94

- Figura 15 – Localização geográfica e vista geral do perfil P3T1-PAal: ARGISSOLO AMARELO Alítico plintossólico (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 99
- Figura 16 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T2-PBACal: ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 103
- Figura 17 – Localização geográfica e vista geral do perfil P2T2-TCk: LUVISSOLO CRÔMICO Carbonático típico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 107
- Figura 18 – Localização geográfica e vista geral do perfil P3T2-FTd: PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrúptico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 111
- Figura 19 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T3-LVe: LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 115
- Figura 20 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T4-TXp: LUVISSOLO HÁPLICO Pálico redóxico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 119
- Figura 21 – Localização geográfica e vista geral do perfil P2T4-PVd: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico areníco e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 123
- Figura 22 – Combinação das curvaturas verticais e horizontais para caracterização das formas de terreno e legenda de cores para sua representação. ..... 128
- Figura 23 – Mapas de derivações geomorfométricas na região dos perfis P1T1-PVd, P2T1-PBACal e P3T1-PAal: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade (*Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 129
- Figura 24 – Mapas de derivações geomorfométricas na região dos perfis P1T2-PBACal, P2T2-TCk e P3T2-FTd: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade (*Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada). ..... 130

Figura 25 – Mapas de derivações geomorfométricas na região do perfil P1T3-LVe: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade ( <i>Datum SIRGAS 2000 - escala indicada</i> ). ....	131
Figura 26 – Mapas de derivações geomorfométricas na região dos perfis P1T4-TXp e P2T4-PVd: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade ( <i>Datum SIRGAS 2000 - escala indicada</i> ). ....	132
Figura 27 – Mapa altimétrico da região ( <i>Datum SIRGAS 2000 - escala indicada</i> ). ....	133
Figura 28 – (A), (B) e (C): Traçado das topolitossequências T1 (perfis P1-PVd, P2-PBACal e P3-PAal), T2 (perfis P1-PBACal, P2-TCk e P3-FTd) e T4 (perfis P1-TXp e P2-PVd) (Imagen RapidEye - s/ escala); (D), (E) e (F): Mapa de perfil topográfico das topolitossequências T1, T2 e T4 construído no ArcGis a partir do MDE (s/ Escala). ....	134
Figura 29 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T1-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros. ....	140
Figura 30 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt2 do perfil P1T1-PVd. ....	141
Figura 31 – Difratogramas da fração argila da camada Cr do perfil P1T1-PVd. ....	142
Figura 32 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P2T1-PBACal. ....	145
Figura 33 – Difratogramas da fração argila do horizonte 2Bt do perfil P2T1-PBACal. ....	146
Figura 34 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P2T1-PBACal. ....	147
Figura 35 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P3T1-PAal. ....	149
Figura 36 – Difratogramas da fração argila do horizonte Btf <sub>2</sub> do perfil P3T1-PAal. ....	150

Figura 37 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P3T1-PAal .....	151
Figura 38 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T2-PBACal .....	153
Figura 39 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt do perfil P1T2-PBACal .....	155
Figura 40 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P1T2-PBACal .....	157
Figura 41 – Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil P2T2-TCk .....	159
Figura 42 – Difratogramas da fração argila do horizonte Btx do perfil P2T2-TCk .....	161
Figura 43 – Difratogramas da fração argila da camada Cr do perfil P2T2-TCk .....	163
Figura 44 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P3T2-FTd .....	165
Figura 45 – Difratogramas da fração argila do horizonte 2Bt2 do perfil P3T2-FTd .....	166
Figura 46 – Difratogramas da fração argila da camada Cr do perfil P3T2-FTd .....	167
Figura 47 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T3-LVe .....	169
Figura 48 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bw2 do perfil P1T3-LVe .....	170
Figura 49 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P1T3-LVe .....	171
Figura 50 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T4-TXp .....	173
Figura 51 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt do perfil P1T4-TXp .....	174
Figura 52 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P1T4-TXp .....	175
Figura 53 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P2T4-PVd .....	177
Figura 54 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt1 do perfil P2T4-PVd .....	178
Figura 55 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P2T4-PVd .....	179
Figura 56 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de	

Figura 57 –	acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P1T1-PVd.....	212
Figura 58 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P2T1-PBACal .....	213
Figura 59 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P3T1-PAal.....	214
Figura 60 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P1T2-PBACal .....	215
Figura 61 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P2T2-TCk.....	216
Figura 62 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P3T2-FTd.....	217
Figura 63 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P1T4-TXp .....	218
Figura 64 –	Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P2T4-PVd.....	219
Figura 65 –	Histogramas de distribuição granulométrica de amostras da fração areia dos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 1.....	223
Figura 66 –	Histogramas de distribuição granulométrica de amostras da fração areia dos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 2.....	224
Figura 67 –	Histogramas de distribuição granulométrica de amostras da fração areia dos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 3 e 4.....	225

Figura 67 – Curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica de amostras da fração areia nos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 1 ...	226
Figura 68 – Curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica de amostras da fração areia nos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 2 ...	227
Figura 69 – Curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica de amostras da fração areia nos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 3 e 4.	228
Figura 70 – Resultado visual do teste de plintita das amostras dos horizontes 2BC e BC dos perfis P2T1-PBACal e P1T4-TXp respectivamente.....	248
Figura 71 – Resultado visual do teste de plintita das amostras dos horizontes Btf <sub>1</sub> e Btf <sub>2</sub> do perfil P3T1-PAal. ....	249
Figura 72 – Resultado visual do teste de plintita das amostras dos horizontes 2Btf <sub>2</sub> e 2Btf <sub>3</sub> do perfil P3T2-FTd.....	250
Figura 73 – Agrupamento hierárquico aglomerativo entre os horizontes dos perfis pelo método de dissimilaridade por distância euclidiana: (a) dendrograma pelos atributos do horizonte A; (b) dendrograma pelos atributos do horizonte B. ....	254

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 –	Processos pedogenéticos específicos, subprocessos e processos múltiplos.....	59
Tabela 1 –	Atributos físicos do perfil P1T1-PVd.....	92
Tabela 2 –	Atributos químicos do perfil P1T1-PVd.....	93
Tabela 3 –	Atributos físicos do perfil P2T1-PBACal.....	97
Tabela 4 –	Atributos químicos do perfil P2T1-PBACal.....	98
Tabela 5 –	Atributos físicos do perfil P3T1-PAal.....	101
Tabela 6 –	Atributos químicos do perfil P3T1-PAal.....	102
Tabela 7 –	Atributos físicos do perfil P1T2-PBACal.....	105
Tabela 8 –	Atributos químicos do perfil P1T2-PBACal.....	106
Tabela 9 –	Atributos físicos do perfil P2T2-TCk.....	109
Tabela 10 –	Atributos químicos do perfil P2T2-TCk.....	110
Tabela 11 –	Atributos físicos do perfil P3T2-FTd.....	113
Tabela 12 –	Atributos químicos do perfil P3T2-FTd.....	114
Tabela 13 –	Atributos físicos do perfil P1T3-LVe.....	117
Tabela 14 –	Atributos químicos do perfil P1T3-LVe.....	118
Tabela 15 –	Atributos físicos do perfil P1T4-TXp.....	121
Tabela 16 –	Atributos químicos do perfil P1T4-TXp.....	122
Tabela 17 –	Atributos físicos do perfil P2T4-PVd.....	125
Tabela 18 –	Atributos químicos do perfil P2T4-PVd.....	126
Quadro 2 –	Representação da declividade em classes segundo fases de relevo da Embrapa (2013), limites rígidos e identificador da classe.....	127
Quadro 3 –	Curvaturas horizontal e vertical e identificador da classe.....	127
Quadro 4 –	Representação da orientação de vertentes classificada em octantes, e o número identificador de cada classe.....	128
Quadro 5 –	Formato de terreno e identificador da classe.....	128
Tabela 19 –	Dados quantitativos de argilominerais e parâmetros cristalográficos de caulinitas de solos.....	181
Tabela 20 –	Teores químicos totais dos elementos maiores expressos em % de óxidos determinada por Fluorescência de Raios-X na fração TFSA dos horizontes nos perfis de solo estudados.....	185
Tabela 21 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-	

	citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T1-PVd .....	197
Tabela 22 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P2T1-PBACal .....	198
Tabela 23 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P3T1-PAal .....	199
Tabela 24 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T2-PBACal .....	200
Tabela 25 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P2T2-TCk .....	201
Tabela 26 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P3T2-FTd .....	202
Tabela 27 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T3-LVe .....	203
Tabela 28 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T4-TXp .....	204
Tabela 29 –	Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P2T4-PVd .....	205
Tabela 30 –	Parâmetros indicadores de descontinuidade litológica: relações granulométricas, valor de uniformidade e relação zircônio/titânia dos horizontes nos perfis de solos estudados .....	210
Tabela 31 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T1-PVd calculados pelo programa SYSGRAN	

	(versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	231
Tabela 32 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P2T1-PBCAal calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	232
Tabela 33 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P3T1-PAal calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	233
Tabela 34 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T2-PBACal calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	234
Tabela 35 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P2T2-TCk calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	235
Tabela 36 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P3T2-FTd calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	236
Tabela 37 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T3-LVe calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	237
Tabela 38 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T4-TXp calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	238
Tabela 39 –	Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P2T4-PVd calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).....	239
Tabela 40 –	Cargas fatoriais de variáveis químicas e físicas nos três primeiros eixos no horizonte A dos perfis de solos estudados.....	251
Tabela 41 –	Cargas fatoriais de variáveis químicas e físicas nos três primeiros eixos no horizonte B dos perfis de solos estudados.....	252



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$A_F$	Argila fina
$A_G$	Argila grossa
Al	Alumínio
Al <sub>o</sub>	Alumínio extraído por solução de oxalato ácido de amônio
Al <sub>s</sub>	Alumínio determinado pelo método do ataque sulfúrico da terra fina
An	Argila natural
APD	Automatic Powder Diffraction
AR <sub>F</sub>	Areia fina
AR <sub>G</sub>	Areia grossa
AR <sub>T</sub>	Areia total
ASTF	Ataque sulfúrico da terra fina
A <sub>T</sub>	Argila total
Ca	Cálcio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
Calgon	Hexametafosfato de sódio e carbonato de sódio anidro
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
Cfa	Classificação climática de Köppen
CPRM	Serviço Geológico do Brasil/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTC	Capacidade de troca de cátions
d	Espaçamento interplanar
DCB	Ditionito-citrato-bicarbonato
DMC	Dimensão média do cristalito do argilomineral
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
DRX	Difratometria de raios-X
DSR	Divisão de Sensoriamento Remoto
DSRN	Departamento de Solos e Recursos Naturais
EAA	Espectrofômetro de Absorção Atômica
EHE	Esmectita com polímeros de hidróxi-alumínio entre-camadas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute

Fe	Ferro
Fe <sub>d</sub>	Ferro extraído por solução de ditionitoto-citrato-bicarbonato de sódio
Fe <sub>o</sub>	Ferro extraído por solução de oxalato ácido de amônio
FeSO <sub>4</sub>	Sulfato ferroso
Fe <sub>s</sub>	Ferro determinado pelo método do ataque sulfúrico da terra fina
FRX	Fluorescência de raios-X
FURB	Fundação Universidade Regional de Blumenau
GFA	Grau de flocação da argila
GPS	Global Positioning System
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K	Potássio
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de potássio
KCl	Cloreto de potássio
Ki	Relação molar silício/alumínio
Kr	Relação molar silício/(alumínio+ferro)
LMA	Largura a meia-altura
m%	Saturação por alumínio
MDE	Modelo digital de elevação
Mg	Magnésio
MgCl <sub>2</sub>	Cloreto de Magnésio
MTA	Mudança textural abrupta
Na	Sódio
Na%	Saturação por sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NC	Número de camadas do argilomineral
OMT	Object Modeling Technique
pH	Potencial hidrogeniônico
RS	Estado do Rio Grande do Sul
RT	Relação textural
S	Soma de bases
SGBD	Sistema gerenciador de banco de dados
Si	Silício
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
$\text{SrCl}_2$	Cloreto de estrôncio
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
$S_T$	Silte total
Ta	Argila de atividade alta
Tb	Argila de atividade baixa
TFSA	Terra fina seca ao ar
Ti	Titânio
TM	Thematic Mapper (sensor imageador)
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGS	United States Geological Survey
V%	Saturação por bases
VHE	Vermiculita com polímeros de hidróxi-alumínio entre-camadas
VU	Valor de uniformidade
WGS84	Sistema de referência adotado pela Sociedade Geodésica Mundial
Zr	Zircônio



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>35</b>
2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	35
2.2 ASPECTOS PEDOLÓGICOS .....	45
2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E RELAÇÕES PEDO- GEOMÓRFICAS .....	50
2.4 INTEMPERISMO E PROCESSOS MORFO-PEDOGENÉTICOS	55
2.5 ASPECTOS MINERALÓGICOS .....	62
<b>3 HIPÓTESES .....</b>	<b>67</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>69</b>
4.1 GERAL .....	69
4.2 ESPECÍFICO .....	69
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>71</b>
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	71
5.2 BASE CARTOGRÁFICA.....	72
5.3 GEOMORFOLOGIA .....	72
5.4 TRABALHO DE CAMPO.....	74
5.5 ANÁLISES LABORATORIAIS .....	75
<b>5.5.1 Caracterização física .....</b>	<b>76</b>
5.5.1.1 Textura do solo.....	76
5.5.1.2 Sedimentologia da fração areia .....	77
5.5.1.3 Fracionamento do silte e da argila.....	77
5.5.1.4 Relações granulométricas e valor de uniformidade.....	78
<b>5.5.2 Caracterização química .....</b>	<b>78</b>
5.5.2.1 Análises básicas.....	78
5.5.2.1.1 Acidez ativa (pH em água e sal).....	79
5.5.2.1.2 Carbono orgânico .....	79
5.5.2.1.3 Potássio e sódio .....	80

5.5.2.1.4 Cálcio, magnésio e alumínio trocável .....	80
5.5.2.1.5 Acidez potencial (H+Al) .....	80
5.5.2.1.6 Outros parâmetros químicos .....	81
5.5.2.2 Análises complementares .....	81
5.5.2.2.1 Alumínio e ferro (ASTF) .....	81
5.5.2.2.2 Alumínio e ferro (oxalato de amônio) .....	82
5.5.2.2.3 Ferro DCB .....	82
5.5.2.2.4 Análises elementares por FRX .....	83
5.5.2.2.5 Relações moleculares .....	84
<b>5.5.3 Caracterização mineralógica.....</b>	<b>84</b>
5.5.3.1 Mineralogia básica (tratamentos químicos e térmicos) .....	85
5.5.3.2 Mineralogia dos óxidos de ferro .....	85
5.5.3.3 Parâmetros cristalográficos .....	86
<b>5.5.4 Testes para identificação de plintita .....</b>	<b>86</b>
5.6 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	87
5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	87
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>89</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA GERAL (QUÍMICA BÁSICA, GRANULOMETRIA E MORFOLOGIA DO SOLO).....	89
<b>6.1.1 Perfil P1T1-PVd .....</b>	<b>89</b>
<b>6.1.2 Perfil P2T1-PBACal.....</b>	<b>94</b>
<b>6.1.3 Perfil P3T1-PAal .....</b>	<b>99</b>
<b>6.1.4 Perfil P1T2-PBACal.....</b>	<b>103</b>
<b>6.1.5 Perfil P2T2-TCk.....</b>	<b>107</b>
<b>6.1.6 Perfil P3T2-FTd .....</b>	<b>111</b>
<b>6.1.7 Perfil P1T3-LVe .....</b>	<b>115</b>
<b>6.1.8 Perfil P1T4-TXp .....</b>	<b>119</b>
<b>6.1.9 Perfil P2T4-PVd .....</b>	<b>123</b>
6.2 RELAÇÕES PEDO-GEOMÓRFICAS.....	127
6.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA.....	139
<b>6.3.1 Mineralogia do Perfil P1T1-PVd .....</b>	<b>139</b>

<b>6.3.2 Mineralogia do Perfil P2T1-PBACal.....</b>	<b>143</b>
<b>6.3.3 Mineralogia do Perfil P3T1-PAal .....</b>	<b>148</b>
<b>6.3.4 Mineralogia do Perfil P1T2-PBACal.....</b>	<b>152</b>
<b>6.3.5 Mineralogia do Perfil P2T2-TCk .....</b>	<b>158</b>
<b>6.3.6 Mineralogia do Perfil P3T2-FTd.....</b>	<b>164</b>
<b>6.3.7 Mineralogia do Perfil P1T3-LVe.....</b>	<b>168</b>
<b>6.3.8 Mineralogia do Perfil P1T4-TXp .....</b>	<b>172</b>
<b>6.3.9 Mineralogia do Perfil P2T4-PVd .....</b>	<b>176</b>
<b>6.3.10 Parâmetros cristalográficos de argilominerais .....</b>	<b>180</b>
<b>6.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....</b>	<b>184</b>
<b>6.5 EXTRAÇÕES TOTAIS E SELETIVAS.....</b>	<b>189</b>
<b>6.5.1 Ataque sulfúrico da terra fina .....</b>	<b>190</b>
<b>6.5.2 Extrações seletivas (DCB e oxalato).....</b>	<b>191</b>
<b>6.5.3 Relações moleculares.....</b>	<b>193</b>
6.5.3.1 Ferro (Fe <sub>s</sub> , Fe <sub>d</sub> , Fe <sub>0</sub> ) e alumínio (Al <sub>s</sub> e Al <sub>0</sub> ) .....	193
6.5.3.2 Índices Ki e Kr .....	194
<b>6.6 ATRIBUTOS INDICADORES DE DESCONTINUIDADE LITOLÓGICA NOS PERFIS DE SOLO .....</b>	<b>206</b>
<b>6.6.1 Relações granulométricas, valor de uniformidade e relação zircônio/titânio.....</b>	<b>207</b>
<b>6.6.2 Sedimentologia da fração areia .....</b>	<b>220</b>
<b>6.7 PROCESSOS PEDOGÊNICOS.....</b>	<b>241</b>
<b>6.7.1 Argiluviação e ferrólise .....</b>	<b>241</b>
<b>6.7.2 Segregações e plintização .....</b>	<b>244</b>
<b>6.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....</b>	<b>251</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>257</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>259</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>287</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul apresenta diversas áreas com distintos estágios de degradação do solo que vêm sofrendo continuamente um forte impacto decorrente do processo de arenização. Aliado a esse fato, a crescente ocupação antrópica com o uso agrícola intensivo dos solos nas áreas de campos naturais não arenizadas, juntamente com a necessidade da exploração dos recursos naturais em base sustentável, nos indica a importância do conhecimento detalhado a respeito das características básicas dos solos, da sua natureza particular, das suas propriedades intrínsecas e de seu comportamento sob diferentes usos e sistemas de manejo, visando, sobretudo, a sua conservação.

A caracterização dos atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos pode ser utilizada como um indicativo da sua qualidade, no intuito de promover um melhor embasamento para recomendar o uso e manejo correto do solo, e as práticas conservacionistas que garantam a sua sustentabilidade. Mas, informações sobre suas características físicas, químicas e morfológicas, assim como dados sobre a gênese dos solos e sua composição mineralógica, são ainda escassas.

Durante os mapeamentos geológicos anteriores do RS, a Formação Guará era interpretada como sendo a Formação Botucatu. Da mesma forma, as formações que hoje são individualizadas como Formações Sanga-do-Cabral e Pirambóia eram interpretadas como sendo constituídas de rochas sedimentares da Formação Rosário do Sul, agora elevada à categoria de Grupo Rosário do Sul pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Esta nova interpretação da geologia da região, tornando-a mais complexa do que anteriormente era entendida, traz novos questionamentos quanto à suposta uniformidade das classes de solos existentes na região, necessitando averiguar se as litologias agora descritas podem ser responsáveis por uma maior variação nas características dos solos, tanto nos aspectos da morfologia, propriedades físicas, químicas e mineralógicas, quanto da própria taxonomia segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

No intuito de preencher a falta de conhecimento científico sobre os solos dominantes na paisagem dessa região, derivados de diferentes materiais de origem e em condições de relevo distintos sobre a mesma influência climática, conduziu-se este trabalho.

A relevância desta abordagem consiste na busca do entendimento dos processos que levaram a formação dos solos à luz da

Pedologia e das suas relações com os demais componentes das paisagens, por meio de um estudo integrado, levando em consideração aspectos estratigráficos e geomorfológicos com suporte de geoprocessamento.

O problema de pesquisa reside na busca e compreensão das causas da variabilidade das diferentes classes de solos ocorrentes, da sua dinâmica interna decorrente de processos morfopedogenéticos (podzolização, latolização, argiluviação, ferrólise,...), em virtude da variação litológica e do modelado da superfície topográfica.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

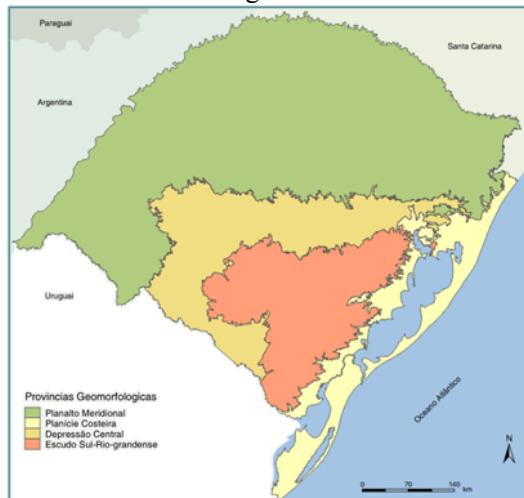
### 2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Segundo Milani (1997), no estado do Rio Grande do Sul (RS) a maior parte da região da Depressão Central (Figura 1) é formada por uma sucessão de rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná.

A bacia do Paraná é de natureza sedimentar-magmática, estendendo-se por aproximadamente 1.500.000 Km<sup>2</sup>, estando situada no centro e sudeste da América do Sul aflorando no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (MILANI et al., 2007).

As unidades permo-mesozóicas estão contidas na Bacia do Paraná, sendo uma das grandes bacias intracratônicas fanerozóicas brasileiras. Sua história deposicional está relacionada à evolução tectônica do sudoeste do Gondwana. A deposição na Bacia do Paraná ocorreu em pulsos separados por fases erosivas e não-deposicionais, do Ordoviciano ao Cretáceo (CPRM, 2007).

Figura 1 – Províncias Geomorfológicas do estado do RS.



Fonte: Atlas Socioeconômico do RS, 1998.

De acordo com Milani (1997), o arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná é composto por seis unidades correspondentes às supersequências Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriana), Paraná (Devoniana) e

Gondwana I (Carbonífera-Eotriássica) que são representadas por sucessões de depósitos sedimentares formados por ciclos transgressivo-regressivos derivados das oscilações do nível do mar durante o período Paleozoico. As supersequências Gondwana II (Triássico Médio a Superior), Gondwana III e Bauru representam pacotes de sedimentos continentais integrados com rochas magmáticas (Figura 2).

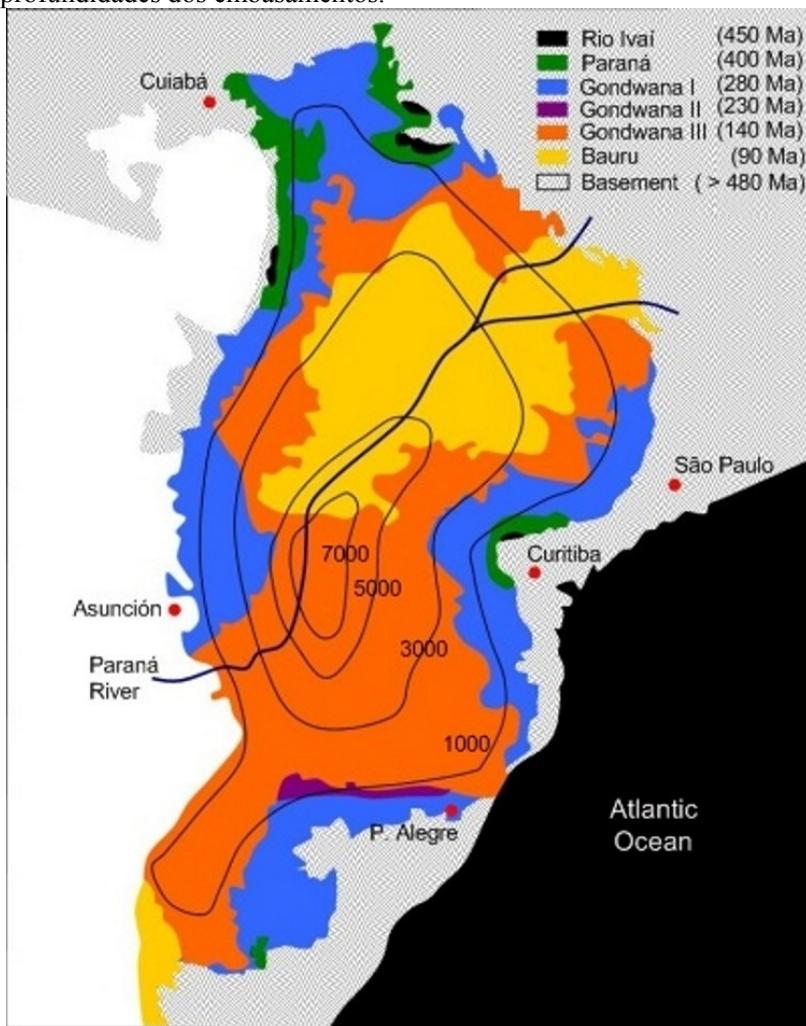
A supersequência Gondwana II ocorre somente no Rio Grande do Sul e no norte do Uruguai e conclui a sedimentação na Bacia do Paraná, sendo constituída pelas rochas das Formações Sanga-do-Cabral, Santa Maria, Caturrita e Guará. A supersequência Gondwana III compreende as Formações Botucatu e Serra Geral (Grupo São Bento).

A fase de máxima continentalização é marcada pelo desenvolvimento de um extenso campo de dunas eólicas sobre os corpos lacustres da Formação Rio do Rastro. No Rio Grande do Sul, o pacote eólico tem sido referido como a parte inferior da Formação Rosário do Sul (GAMERMANN, 1973 e BORTOLUZZI, 1974), e parte inferior da Formação Sanga-do-Cabral (LAVINA, 1992). Esta unidade é correlacionada à Formação Pirambóia (LAVINA et al., 1993). Seu contato inferior com a Formação Rio do Rastro não ocorre na área mapeada, porém a não recorrência das fácies fluvio-lacustres desta última após a deposição do pacote eólico sugere um rebaixamento do nível de base, sustentando a individualização da Seqüência Pirambóia (CPRM, 2007).

Conforme o novo mapeamento geológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006) a Formação Rosário do Sul foi elevada à categoria de Grupo Rosário do Sul, onde foram individualizadas as Formações Sanga-do-Cabral, Santa Maria e Caturrita. A Formação Sanga-do-Cabral aflora de forma contínua do Uruguai ao Rio Grande do Sul, sendo o registro de um sistema fluvial de baixa sinuosidade que teve como fonte terrenos soerguidos a sul e a oeste, durante a fase compressiva do Triássico Inferior (ZERFASS et al., 2004). As Formações Santa Maria e Caturrita que afloram na Depressão Central do Rio Grande do Sul a oeste da Falha do Leão, são unidades exclusivas, não ocorrendo em outras áreas da Bacia do Paraná.

Scherer e Lavina (1997) propuseram na região oeste do Rio Grande do Sul uma nova unidade informal, a Aloformação Guará que consistiria de um pacote de arenitos quartzosos esbranquiçados entre as Formações Sanga-do-Cabral e Botucatu, que seria correlata com o membro inferior da Formação Tacuarembó no Uruguai.

Figura 2 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, mostrando a ocorrência e a evolução geocronológica das supersequências e as profundidades dos embasamentos.



Fonte: Zielinski & Nascimento, 2014 (Modificado de Milani, 2004).

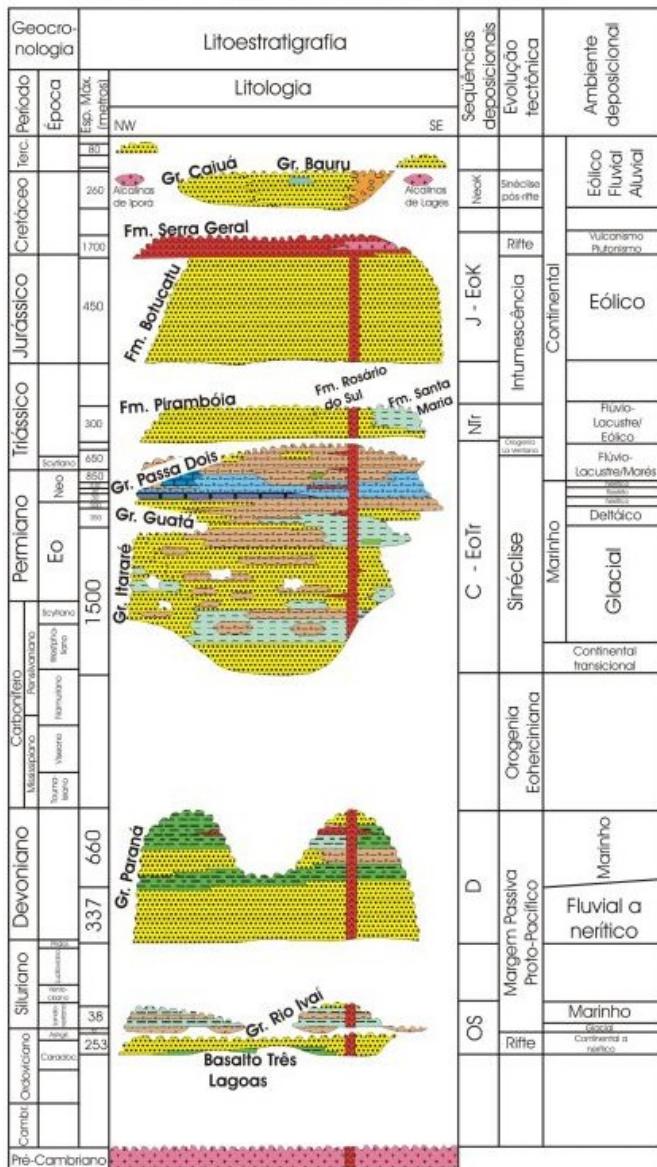
O período Cretáceo foi marcado pelo fim de um ciclo tectônico de primeira ordem, com a fragmentação do Gondwana e a abertura do Atlântico Sul. O registro deste evento são os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os derrames da Formação Serra Geral (Figura 3).

No que diz respeito à cobertura litológica associada às formações geológicas ocorrentes na região, na área de contato da unidade geomorfológica Planalto de Uruguaiana com a unidade geomorfológica da Depressão do Rio Ibicuí-Rio Negro, margeando esta área desde o sul, a partir de Santana do Livramento, passando por Alegrete e imediações de Rosário do Sul até próximo de São Francisco de Assis, predominam os arenitos eólicos das Formações Botucatu, os quais encontram-se sobrepostos aos arenitos finos a conglomeráticos de origem fluvial, eólica e lacustre da Formação Guará, ambos do Jurássico (CPRM, 2006). No restante da unidade geomorfológica Depressão do Rio Ibicuí-Rio Negro, notadamente no entorno da bacia dos rios Ibicuí, Negro e Jaguarão, predominam rochas triássicas do Grupo Rosário do Sul e, principalmente, rochas pelíticas permianas dos Grupos Passa Dois e Guatá.

No Grupo Rosário do Sul as rochas da Formação Caturrita são compostas por arenito, conglomerado, siltito arenoso-argiloso e folhelho, a Formação Santa Maria por arenito e arenito conglomerático com pelitos subordinados (Membro Passo das Tropas), e siltito argiloso maciço (Membro Alemao), enquanto que a Formação Sanga-do-Cabral é composta por brechas e conglomerados intraformacionais, siltitos e raros argilitos (CPRM, 2006).

Nas rochas permianas do Grupo Passa Dois, foi reconhecida e proposta a inclusão da Formação Pirambóia. Neste grupo ainda se incluem a Formação Rio do Rasto, constituída de siltitos e arenitos tabulares de origem principalmente lacustre, o subgrupo Estrada Nova, constituído de folhelhos, siltitos e argilitos de origem marinha, com cimentação calcária, e os folhelos, siltitos, argilitos, calcário, marga e folhelhos betuminosos da Formação Irati, também de origem marinha. Mais ao sul da unidade geomorfológica Depressão do Rio Ibicuí-Rio Negro, bem como nas imediações de São Gabriel, ocorrem maiores proporções de rochas sedimentares pelíticas do Grupo Guatá, constituído pelas Formações Palermo e Rio Bonito.

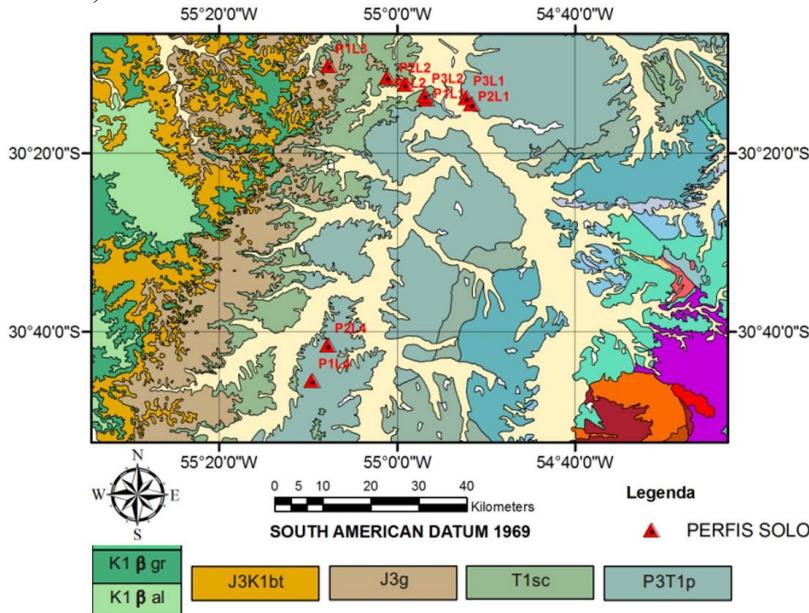
Figura 3 – Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Paraná.



Fonte: Milani, 1997.

Na Figura 4 é possível visualizar a distribuição geográfica das principais formações geológicas ocorrentes nesta região recentemente atualizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006) e a localização dos perfis de solo do presente estudo sobre as Formações Pirambóia, Sanga-do-Cabral e Guará.

Figura 4 – Mapa geológico simplificado de parte da região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Principais Formações - P3T1p: Formação Pirambóia; T1sc: Formação Sanga-do-Cabral; J3g: Formação Guará; J3K1bt: Formação Botucatu; K1 $\beta$ : Formação Serra Geral (escala indicada).



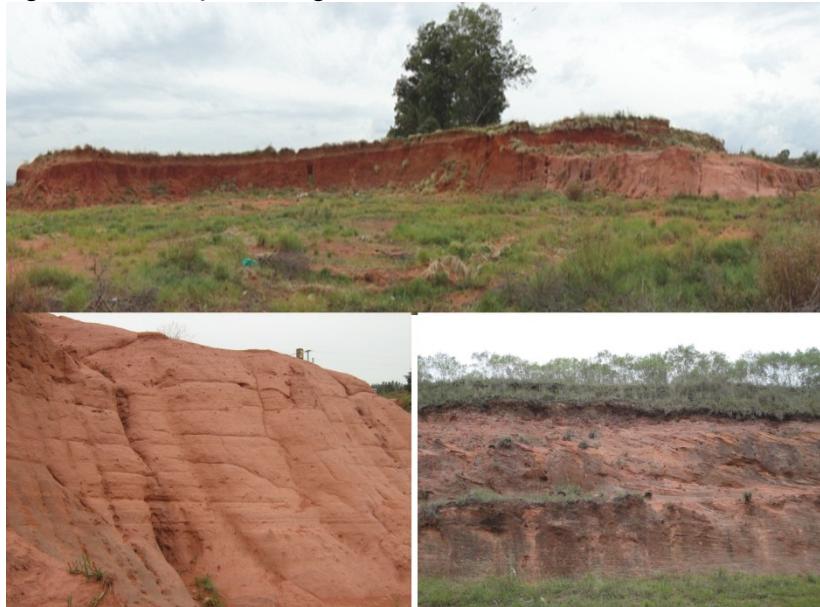
Fonte: produção do próprio autor (compilado de CPRM, 2006).

A Formação Pirambóia (Figura 5) comprehende arenito médio a fino, com geometria lenticular bem desenvolvida, depositados em ambiente continental, eólico com intercalações fluviais. Camadas de siltito também podem ocorrer intercaladas aos arenitos (CPRM, 2006).

De acordo com o estudo mineralógico feito por Wu & Caetano-Chang (1992), os arenitos da Formação Pirambóia no estado de São Paulo são subarcóseos, principalmente de granulometria muito fina a média, subangulares a arredondados, contendo argila infiltrada,

ferruginosos, com grau de seleção predominantemente regular e texturalmente submaturos a maturos. Os minerais pesados encontrados são: zircão, turmalina, rutilo, granada, estaurolita, moscovita, cianita, epídoto, biotita, sillimanita, magnetita e ilmenita, hematita e limonita. Os componentes principais dos arenitos (minerais leves) são o quartzo, feldspato, fragmentos das rochas, cimento e matriz.

Figura 5 – Formação Geológica Pirambóia, RS.



Fonte: produção do próprio autor

A ocorrência da Formação Pirambóia no Rio Grande do Sul, relatada anteriormente no Estado de São Paulo, foi proposta por Lavina et al. (1993), como sendo composta predominantemente por arenitos finos a grossos moderadamente selecionados, avermelhados, com estratificações cruzadas de grande porte, interpretados como depósitos de dunas eólicas. Esta formação seria constituída por uma associação de três fácies: depósitos de lençóis de areia eólicos sucedidos por depósitos de dunas e interdunas apresentando um contato basal discordante, onde os arenitos grossos de lençóis de areia estão recobrindo abruptamente os estratos arenoso-pelíticos lacustres da Formação Rio do Rasto. O contato superior também é marcado por uma discordância com os depósitos de

dunas eólicas da Formação Botucatu (DIAS, 2006; DIAS & SCHERER, 2008). No relatório do mapeamento geológico da escala 1:100.000 (SH.22-V-C-V, Folha Agudo) publicado pela CPRM (2007) apenas uma das fácies da Formação Pirambóia foi observada, sendo constituída por arenito fino a médio, cor rosa, bimodal, com estratificação cruzada acanalada de grande porte, composta por camadas alternadas de arenito médio geradas por fluxo de grãos, e de arenito fino geradas por queda de grãos, o que permite associar esta fácie a dunas eólicas.

De acordo com a CPRM (2006) a Formação Sanga-do-Cabral (Figura 6), pertence ao grupo Rosário do Sul, e caracteriza-se por arenitos subarcóseo e arcóseo, corpos tabulares ou lenticulares alongados, constituídos por brecha e conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito, depositados em ambiente continental, fluvial entrelaçado, contendo fragmentos de vertebrados fósseis.

Figura 6 – Formação Geológica Sanga-do-Cabral, RS.



Fonte: produção do próprio autor

Soares (2008) identificou duas unidades dentro da Formação Sanga-do-Cabral. A porção superior é formada por arenitos vermelhos e rosados, finos a grossos, mal selecionados, interpretados como depósitos

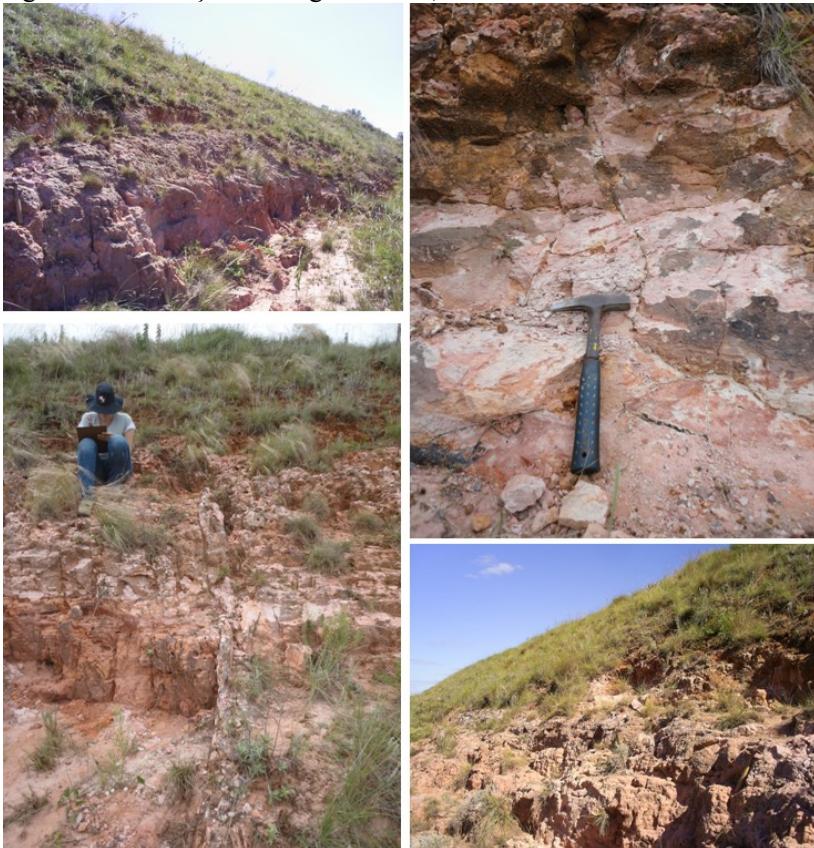
fluviais, e na porção inferior ocorrem arenitos vermelhos rosados, finos e médios, bem selecionados interpretados como eólicos. A Formação Sanga-do-Cabral ocorre na porção sul-sudoeste e centro-sul da Bacia do Paraná onde afloram arenitos avermelhados, quartzosos, de granulação bimodal fina a média, com grãos foscos e arredondados que apresentam estratificação cruzada tangencial de médio porte, que se intercalam com fácies de arenito avermelhados, granulometria fina a média, matriz argilosa e estratificação sub-horizontal (SOARES, 2008), que foram posteriormente incluídos como unidade inferior na Formação Sanga-do-Cabral (LAVINA, 1992; FACCINI, 2000). Segundo Andreis et al. (1980) os arenitos superiores da Formação Sanga-do-Cabral são avermelhados, de granulometria predominantemente fina e lentes conglomeráticas com estratificação cruzada acanalada, apresentam intercalações de siltitos laminados e arenitos com estratificações plano-paralelas incipientes, com presença de concreções carbonáticas nesta unidade.

A Formação Guará localiza-se na margem sul da bacia do Paraná, tendo a sua ocorrência no Brasil restringida a região oeste do estado do Rio Grande do Sul estendendo-se na divisa com o Uruguai e Argentina. Conforme CPRM (2006), a Formação Guará (Figura 7) é composta por arenito fino a conglomerático, com cores esbranquiçadas a avermelhadas, intercalado ocasionalmente com níveis centimétricos de pelitos, contendo pegadas de dinossauros, depositados em ambiente continental desértico, com depósitos fluviais, eólicos e lacustres.

Estratigraficamente, assenta-se em discordância sobre a Formação Sanga-do-Cabral e encontra-se sotoposta à Formação Botucatu ou na ausência desta diretamente sob as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Sua litologia é constituída de rochas sedimentares, sendo composta por arenitos que apresentam coloração bege a esbranquiçada e natureza fluvial com processos eólicos associados. Este material é caracterizado pela granulometria grossa e média pouco selecionada, às vezes fina e com matriz argilosa; evidenciam mineralogia quartzosa com grãos subangulosos e com subordinação de feldspatos, apresentando estratificação cruzada acanalada, plano-paralela e maciça (SCHERER & LAVINA, 2005).

Segundo Scherer et al. (2000) a Formação Guará ao longo de sua faixa aflorante caracteriza-se por uma mudança de fácies, onde ao norte é composta por arenitos grossos a conglomeráticos e pelitos depositados em um sistema fluvial entrelaçado, enquanto que ao sul predominam arenitos médios a finos eólicos.

Figura 7 – Formação Geológica Guará, RS.



Fonte: produção do próprio autor

De acordo com Scherer & Lavina (2005) a Formação Guará apresenta uma associação de quatro fácies distintas. Os depósitos de dunas eólicas são constituídos por arenitos finos a médios, de cor esbranquiçada, bem selecionados com grãos arredondados de alta esfericidade apresentando estratificação cruzada de grande porte. Os lençóis de areia eólicos são compostos por arenitos finos a grossos bem selecionados, formando pacotes com geometrias tabulares. Distinguem-se arenitos horizontalmente laminados que representam uma graduação vertical de lençóis de areia eólicos sobre um substrato seco e arenitos com estruturas de adesão evidenciando deposição sobre uma superfície úmida, indicando a presença de lençol freático superficial. Os depósitos

“floodflows” distais são compostos por uma associação de pelitos avermelhados, finamente laminados e às vezes intercalados com níveis de siltitos e arenitos muito finos, com estratificação cruzada de pequeno porte ou laminação plano-paralela. Os canais fluviais são caracterizados por arenitos médios a muito grossos moderadamente selecionados com grânulos de quartzo. Os arenitos apresentam estratificação cruzada acanalada e planar, e também plano-paralela e de baixo ângulo.

Medeiros et al. (2013) caracterizou o substrato rochoso como sendo constituído por uma rocha sedimentar clástica, de bem a moderadamente selecionada, que mesmo em lâmina delgada orientada oriunda de amostra com orientação vertical no perfil não evidenciou nenhum tipo de orientação na distribuição de seus clastos, mas que em outro perfil ocorreu uma grosseira laminação oriunda da intercalação paralela de areia média e areia fina. A mineralogia é quase que totalmente quartzosa, tratando-se de uma rocha tipo quartzo-arenito, com grãos monocristalinos e raros polimicrocristalinos. Tanto os minerais pesados opacos quanto os transparentes, pelo menos microscopicamente, não são de ocorrência significativa na rocha, restringindo-se à presença de poucos grãos de rutilo e zircão.

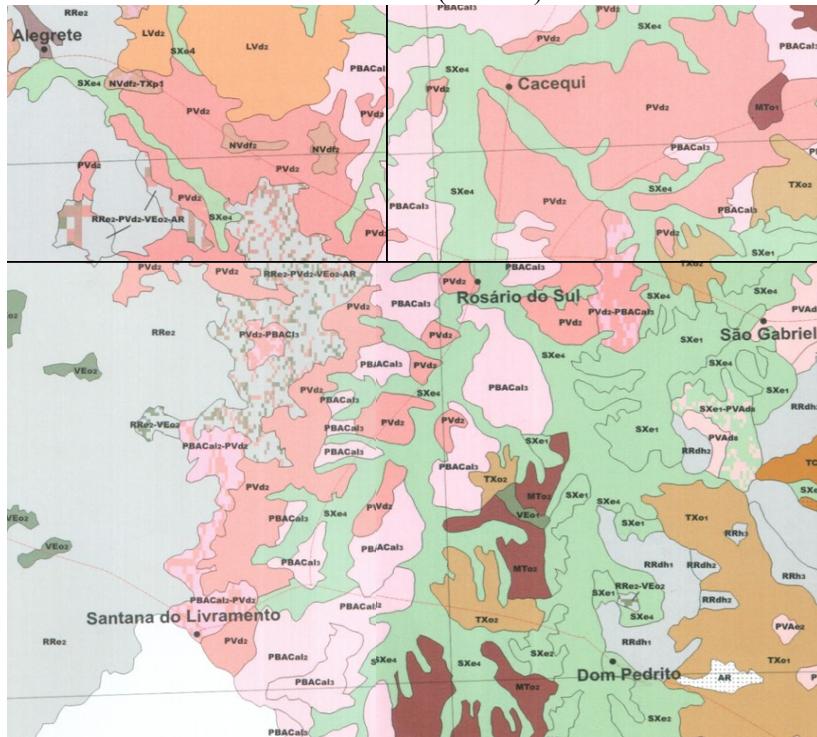
## 2.2 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

A maior parte da informação existente atualmente a respeito das características e distribuição espacial dos solos na região das Pradarias Mistas do Sul do Brasil (Pampa Gaúcho) decorre do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973) publicado na escala 1:750.000 (Figura 8) e do Levantamento Exploratório de Solos realizado pelo Projeto Radambrasil (IBGE, 1986) publicado na escala 1:1.000.000. De acordo com Almeida (1996) dados mais detalhados em relação à gênese dos solos e sobre sua caracterização química e mineralógica são encontrados em Setzer (1951), Goedert (1967), Goedert & Beatty (1971a,b,c), Cogo (1972), Bombin & Klamt (1974), Carvalho (1976) e Kampf et al. (1995).

Segundo o livro Solos do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2008) o segmento sul-norte da Depressão Periférica corresponde à depressão rio Ibicuí, onde a partir de Santana do Livramento (Figura 8) em seções para o norte e nordeste, ocupando um relevo suave ondulado, ocorrem Argissolos Bruno-Acinzentados Alíticos abrúpticos (Unidade mapeamento Livramento). No sentido sul-norte, acompanhando a bacia dos rios Ibicuí da Armada e Santa Maria, ocorrem Planossolos Háplicos

Eutróficos arênicos (Unidade Vacacai) nas planícies de inundação dos rios. Nas coxilhas de cotas intermediárias situam-se os Argissolos Bruno-Acinentados Alíticos úmbricos (Unidade Santa Maria), originados de siltitos e argilitos, ocupando áreas de grande extensão entre Rosário do Sul e Santa Maria.

Figura 8 – Segmento do mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul (s/escala).



Legenda: PVd = ARGISSOLO VERMELHO Distrófico; PBACal = ARGISSOLO BRUNO-ACIZENTADO Alítico; SXe = PLANOSOLO HÁPLICO Eutrófico; LVd = LATOSOLO VERMELHO Distrófico; NVdf = NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico; TXo = LUVISSOLO HÁPLICO Órtico; RRe = NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico; RRdh = NEOSSOLO REGOLÍTICO Distro-úmbrico; MTo = CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico; VEm = VERTISSOLO EBÂNICO Órtico.

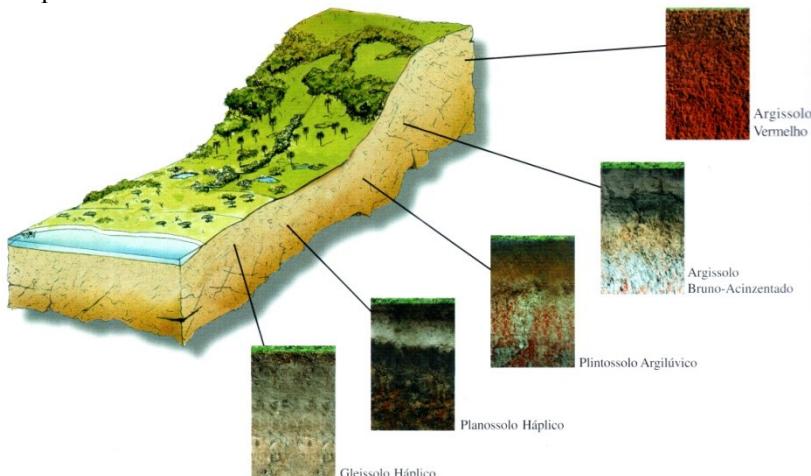
Fonte: Streck et al., 2008.

Nas cotas mais elevadas ocorrem Argissolos Vermelhos Distróficos arênicos ou espessarênicos abrúpticos, desenvolvidos de arenitos (Unidade São Pedro). Entre Dom Pedrito, São Gabriel e Formigueiro, ocupando coxilhas de relevo suave ondulado, ocorrem Planossolos Háplicos Eutróficos vertissólicos originados de folhelhos (Unidade São Gabriel). Margeando a província do Escudo Sul-riograndense ocorrem áreas descontínuas com Luvissolos Háplicos Órticos típicos (Unidade Piraí), desenvolvidos a partir de siltitos. Na porção norte do segmento sul-norte, a leste de Alegrete e nas imediações de São Francisco de Assis, ocorrem Latossolos Vermelhos Distróficos (Unidade Cruz Alta) e Neossolos Quartzarênicos Órticos.

Nesta região, de acordo com o mapeamento geológico do RS feito pela CPRM (2006), os solos são formados principalmente a partir de litologias das Formações Pirambóia (Grupo Passa Dois), Santa Maria, Caturrita e Sanga-do-Cabral (Grupo Rosário do Sul). No município de Rosário do Sul, RS, bem como no seu entorno, o Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (*In* STRECK et al., 2008), bem como o Mapa Exploratório de Solos (IBGE, 1986) indicam como classes de solos dominantes (atualizadas pela nomenclatura do SiBCS, 2013) nas superfícies mais elevadas, Argissolos Vermelhos, Argissolos Bruno-Acinzentados e Latossolos Vermelhos Distróficos de textura média. Já nas planícies aluviais, os Planossolos Háplicos são dominantes, juntamente com os Gleissolos Háplicos. Com menor frequência também ocorrem solos da classe dos Plintossolos (Figuras 8 e 9).

A distribuição desses solos na paisagem obedece a um padrão relativamente simples, com os Argissolos Vermelhos ocupando as cotas mais altas, onde se desenvolvem sobre arenitos. Os Argissolos Bruno-Acinzentados ocupam os terços inferiores das encostas com pendentes longas e relevo suave ondulado, sendo geralmente originados da alteração de siltitos ou argilitos com intensa presença de mosqueados na base dos perfis. Os Plintossolos em alguns casos ocorrem geralmente na base das encostas, por causa de restrições na drenagem vertical devido a presença de siltitos pouco permeáveis, e acumulação de compostos de Fe oriundos do transporte subsuperficial lateral, e os demais solos (Planossolos e Gleissolos) ocupam a planície aluvial, sendo originados de depósitos quaternários (Figura 9).

Figura 9 – Topossequência característica de solos da região da Depressão Central do RS, formados a partir de rochas sedimentares do Grupo Rosário do Sul.



Fonte: Streck et al., 2008.

Os ARGISSOLOS são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B (EMBRAPA, 2013).

Dentro da subordem dos Argissolos Vermelhos que predominam na paisagem da Região da Campanha, ocupando as partes mais elevadas da superfície topográfica, destacam-se os Argissolos Vermelhos Distróficos arênicos e abrúpticos (STRECK et al., 2008), que são solos geralmente profundos a muito profundos, com matiz 2,5YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR e valores e croma iguais ou menores que 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, com argila de atividade baixa e caráter distrófico. Apresentam horizontes diagnósticos de superfície na maior parte das vezes com textura arenosa contrastando abruptamente com o horizonte subsuperficial vermelho de textura média ou argilosa. A espessura do horizonte A é muito variável. Os solos com textura arenosa desde a superfície até no mínimo 50 cm e no máximo 100 cm de profundidade, são enquadrados como PVd arênicos; os de espessura igual ou inferior a esse limite, e que apresentam MTA (mudança textural abrupta), são denominados de PVd abrúpticos (IBGE, 2007 e EMBRAPA, 2013).

Os Argissolos Bruno-Acinzentados (PBAC) são solos com horizonte A do tipo moderado ou proeminente, com horizonte B textural com cores brunas ou bruno acinzentadas, com matiz 5YR ou mais amarelo, valor de 3 a 4 e croma menor ou igual a 4 na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B e que apresentam expressivo escurecimento da porção superior desse horizonte (EMBRAPA, 2013).

Os PLINTOSSOLOS compreendem solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam por apresentar horizonte plíntico, litoplíntico ou concretionário que satisfaçam todas as condições para seu enquadramento (EMBRAPA, 2013). Na região, apesar de serem relatados Plintossolos Argilúvicos Distróficos (FTd) e Alumínicos (FTA), foram pouco estudados, havendo carência de informações a respeito de suas características, necessitando que perfis representativos sejam descritos e classificados.

Por último aparecem os Planossolos e Gleissolos ocupando a planície aluvial, ocorrendo em fase de relevo plano, nas várzeas e ao longo do rio Ibicuí e seus tributários.

Os GLEISSOLOS são solos minerais pouco profundos a profundos, muito mal drenados, que apresentam horizonte glei (Bg ou Cg) dentro de 50 cm a partir da superfície do solo ou a profundidades entre 50 e 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E, com ou sem gleização; ou de horizonte hístico com menos de 40 cm, sem horizonte plíntico dentro de 200 cm ou outro horizonte diagnóstico acima do horizonte glei. São solos hidromórficos que se encontram permanentemente ou periodicamente saturados por água, formando um ambiente anaeróbio implicando na redução e solubilização de compostos ferrosos (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2013). Os teores de argila são expressivamente variáveis, ocorrendo solos de diferentes classes texturais dependendo do tipo de material de origem. Os Gleissolos Háplicos (GX) que ocorrem nesta região possuem horizonte A do tipo moderado sobrejacente a um horizonte C gleizado (Cg), geralmente possuem gradiente textural pequeno ou nulo, podendo apresentar um horizonte B com maior incremento de argila, no entanto insuficiente para caracterizar um horizonte B plânico. Podem ser de argila de atividade alta (Ta) ou baixa (Tb), e distróficos ou eutróficos (GXvd, GXve, GXbd ou GXbe), e geralmente aparecem como inclusões ou como associações com os Planossolos (BRASIL, 1973; STRECK et al., 2008).

Os PLANOSOLOS compreendem solos minerais, hidromórficos, imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial (A) ou subsuperficial eluvial (E), de textura mais leve (geralmente arenosa), que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente adensado, e geralmente de acentuada concentração de argila, com permeabilidade lenta ou muito lenta, e com sequência de horizontes A-AB ou A-E seguidos de Bt ou Btg e Cg, caracterizados por mudança textural abrupta entre os horizontes E ou A, e o Bt ou Btg (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2013). A maioria dos Planossolos Háplicos que ocorrem na região da Depressão Central e da Campanha são geralmente eutróficos (SXe) com argila de atividade alta (Ta) no B, e com horizonte A distrófico do tipo moderado ou proeminente, predominando na paisagem os SXe arênicos e gleissólicos (Unidade Vacacaí) originados de sedimentos aluviais e o SXe vertissólico (Unidade São Gabriel e Bagé) originado de siltitos. Na região os SXe gleissólicos são encontrados em áreas de relevo plano a suave ondulado, ocupando a maior parte das extensas várzeas da Depressão dos rios Ibicuí-Rio Negro (BRASIL, 1973; STRECK et al., 2008).

### 2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E RELAÇÕES PEDO-GEOMÓRFICAS

Por meio de um enfoque multidisciplinar pelo estudo integrado das diversas variáveis que controlam os sistemas naturais há uma melhor compreensão e entendimento dos fenômenos ocorrentes, ou seja, quanto mais atributos forem avaliados, melhor será o entendimento da origem, evolução, constituição, propriedades, qualidades e distribuição espacial dos solos (VIDAL-TORRADO et al., 2005).

A análise dos fenômenos estudados ajuda a indicar os melhores locais e a intensidade de amostragem, e contribui para uma melhor interpretação dos resultados das análises laboratoriais (DANIELS et al., 1971). De acordo com Boulet (1988), só é possível manejar e conservar o solo por meio do conhecimento de como os seus horizontes pedogenéticos se formaram e em que estágio evolutivo eles se encontram.

Uma das principais finalidades dos estudos pedológicos integrados com outras áreas do conhecimento é o de compreender melhor os atributos do solo, a sua dinâmica interna, e a distribuição dos solos na paisagem (BIRKELAND, 1990). As relações solo-paisagem

são extremamente importantes no estudo e no mapeamento de solos, sendo potencialmente úteis para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos nas paisagens devido à associação entre os atributos topográficos e as classes de solos (CAMPOS et al., 2006), podendo ser compreendida neste caso como o padrão de distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações de dependência com a disposição do relevo (BUI et al., 1999).

O conceito de paisagem conforme Pennock e Veldkamp (2006) deriva da combinação entre as feições da superfície da terra e os componentes de subsuperfície. De acordo com Carré e Mcbratney (2005), a relação solo-paisagem diz respeito ao conjunto dos atributos do solo e da paisagem e a interação entre ambos definidos no tempo e espaço.

Hudson (1992) estabelece alguns paradigmas a respeito da relação solo-paisagem: dentro de uma unidade solo-paisagem ocorre interação entre os cinco fatores de formação em diferentes magnitudes resultando em diferentes tipos de solos; os solos dentro de uma mesma unidade solo-paisagem são mais similares quando comparados a solos em outras unidades; áreas com formas do relevo semelhantes, também apresentaram associação de solos com características similares; áreas adjacentes de diferentes unidades solo paisagem apresentam relações espaciais; uma vez que as quantidades de solos e as unidades de paisagem são determinadas na área, o tipo de solo pode ser inferido pela identificação das unidades solo-paisagem. Em seu estudo da relação da paisagem com a gênese do solo, Sommer et al. (2008), afirmam a existência de três modelos principais. O primeiro trata do desenvolvimento contínuo do solo caracterizado pela presença de processos pedogenéticos progressivos e regressivos; o segundo é o de parametrização do desenvolvimento do solo referindo-se aos processos intrínsecos e ao volume do solo; e o terceiro modelo refere-se às propriedades do solo na paisagem, considerando os fluxos laterais no interior do solo, extensão espacial e processos locais.

Milne (1935) foi um dos primeiros pesquisadores na interpretação detalhada da relação solo e relevo, sugerindo o conceito de catena, afirmando que as mudanças na paisagem interferem na distribuição e arranjoamento dos solos, mostrando a relevância da movimentação da matéria ao longo do relevo topográfico, descrevendo as catenas de solos em sucessões contínuas nas vertentes, enfatizando os múltiplos fatores estratigráficos envolvidos na pedogênese. Foi depois da aparição da definição de catena de solos que se destacou a influência

do relevo sobre a drenagem, movimento da água anisotrópico (vertical e horizontal), provocando alterações nos atributos do solo e favorecendo a identificação de superfícies geomórficas ou superfícies pedométricas, que são geneticamente e evolutivamente interdependentes (SOMMER & SCHLICHTING, 1997; BOCKHEIM et al., 2005).

Ruhe (1956) conceitua superfície geomórfica como sendo uma porção de terra que é definida no espaço e no tempo, que apresenta limites geográficos definidos (DANIELS et al., 1971) e que podem ser ambientes erosionais ou deposicionais, ou ainda pode existir em uma área a ocorrência de ambos. As superfícies geomórficas são derivadas de um longo episódio geológico e geomorfológico onde juntamente com o próprio solo conserva evidências de sua evolução (VIDAL-TORRADO et al., 2005).

De acordo com Humbel (1978) e Boulet et al. (1979), as variações no grau de inclinação, forma e comprimento das encostas e as dimensões dessas vertentes, aliadas à natureza e estruturação dos seus constituintes, são condicionantes dos fluxos hídricos e dos processos pedogenéticos.

Segundo Coltrinari (1992) os lapsos de tempo de maior ou menor estabilidade da crosta terrestre dependem, não só do tipo/composição do material rochoso e da magnitude dos fenômenos geológicos, mas também da duração e intensidade de condições pretéritas do clima e suas variações em ciclos mais úmidos e outros mais secos (semiáridos). Já Queiroz Neto (2000) chama a atenção ao antagonismo criado entre a morfogênese e pedogênese que acaba influenciando atualmente as interpretações relativas às cronussequências, devido à associação entre as idades das superfícies geomórficas e idades dos solos, baseadas nas noções de estabilidade/instabilidade das superfícies, nos tipos de depósitos correlativos e nos métodos analíticos usados para a comprovação.

Sob esta óptica, a compreensão das relações entre os solos e as superfícies geomórficas constituem uma ferramenta fundamental tanto para entender a distribuição dos solos na paisagem, como para servir de base nos levantamentos e no planejamento de uso e manejo do solo (TERAMOTO, et al., 2001; MOTTA et al., 2002). Em pesquisas mais contemporâneas, aplicando o método de separação de superfícies geomórficas, foram observadas correlações satisfatórias com os atributos dos solos, fundamentando uma base de predição para auxiliar em futuros trabalhos de levantamentos pedológicos em nível de detalhe

(VIDAL-TORRADO, 1994; MARQUES Jr. et al., 1997; COOPER et al., 2002).

Ruhe (1956) propôs um modelo conceitual de variabilidade espacial dos solos, aonde ocorre uma interação entre os processos responsáveis pela sua formação e suas superfícies, criando uma associação solo-feição geomórfica, onde desta forma seus padrões de ocorrência geográfica seriam repetitivos e predizíveis, ou seja, classes de solos específicas vão sempre estar associadas a determinadas formas de relevo características. De acordo com Daniels & 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, que acabou por gerar uma ampla nomenclatura, sendo a de Ruhe muito utilizada em diversos estudos das relações solo-paisagem em nível mundial. A nomenclatura de Ruhe (RUHE & WALKER, 1968), propõe que sistemas de drenagem aberta devem apresentar as seguintes formas: interflúvio (*interfluve*), esporão (*nose-slope*), cabeceiras (*head-slope*) e meia-encosta (*side-slope*), ocorrendo nos fundos de vales de primeira ordem os relevos aluvio-coluvionares (*aluvial fill*); sendo definido no perfil das vertentes os seguintes segmentos: topo (*summit*), ombro ou ombreira (*shoulder*), encosta retilínea (*side-slope*), encosta côncava (cabeceira em anfiteatro), esporão (*nose-slope*), meia-encosta (*backslope*), sopé coluvial (*footslope*) e sopé colúvio-aluvial (*toeslope*).

Troeh (1965) estabeleceu um modelo com base na curvatura do terreno utilizando equações adaptadas a mapas planialtimétricos detalhados. As pedoformas podem ser lineares, convexas e côncavas, influenciando nos movimentos e distribuição dos fluxos de água (convergência e divergência) e consequentemente provocando variações nos solos.

Dalrymple et al. (1968) propuseram um modelo de compartimentação de superfícies geomórficas constituído por nove segmentos hipotéticos de vertente baseado na magnitude dos processos erosivos e pedogenéticos. Os segmentos de vertentes podem estar parcialmente ausentes, ou repetidos em uma catena e são divididos em topo, terço superior, terço inferior, terço médio, ombro, meia encosta, escarpa, sopé de transporte, sopé de deposição. Inúmeros autores destacam a importância da segmentação da vertente no transporte e retenção de água no solo, devido a uma variabilidade nos atributos do solo e sua relação com o transporte e deposição de sedimentos,

contribuindo para aumentar ou diminuir a complexidade dos solos nesses ambientes (HUGGETT, 1975; WYSOCKI et al., 2000; PACHEPSKY et al., 2001).

Hugget (1975) estabeleceu um modelo baseado na convergência e divergência das linhas de fluxos d'água nas encostas, em conformidade, respectivamente, com a concavidade e convexidade da superfície, propondo padrões ideais para indicações das direções dos fluxos, de acordo com a forma dos diferentes tipos dos segmentos de vertentes. Segundo Hugget (1975) este modelo tem como característica armazenar, transformar e transmitir forças, tendo entradas de materiais e de energia e a migração, dissolução e percolação de constituintes minerais e orgânicos pela água condicionados pelas formas de relevo.

Levando em consideração o fato de que as formas do relevo imprimem um fator decisivo no tempo de exposição dos materiais de origem, na intensidade e direção do fluxo da água no perfil, regulando as variações nos processos pedogenéticos, o estudo e a observação das diferentes formas da paisagem são fundamentais na execução de levantamentos pedológicos (CAMPOS, 2012). Estudos desta natureza tornam-se mais consistentes, quando a análise das informações topográficas e de levantamentos de solos preexistentes, a inspeção de campo e a interpretação dos dados quantitativos levam em consideração o histórico da área, as superfícies geomórficas e a posição geográfica do solo em relação a elas e ao perfil geológico (coluna estratigráfica), conjuntamente com as inferências sobre a hidrologia e seus processos de superfície e subsuperfície (DANIELS et al., 1971; DANIELS & HAMMER, 1992; BOULET et al., 1979; e MONIZ & BUOL, 1982).

Segundo Ab'Sáber (1998) os estudos pedológicos integrados com a geomorfologia, a estratigrafia e a hidrologia auxiliam bastante na compreensão dos processos pedogenéticos, nos levantamentos e cartografia de solos e na interpretação dos parâmetros indicadores da qualidade dos solos, ressaltando ainda a importância do conhecimento aprofundado das superfícies geomórficas e seus segmentos, e de suas relações com os fluxos internos e externos d'água no solo baseados em modelos de evolução de vertentes.

O processo de investigação pedológica otimiza seus resultados quando for precedido de um processo de análise e de interpretação criteriosa do material cartográfico básico de referência, produto de geotecnologias como por exemplo a aerofotogrametria e o sensoriamento remoto orbital, auxiliando na seleção de áreas para a pesquisa das relações solo e paisagem, do mesmo modo que nos

trabalhos de campo quando se realiza uma correta descrição e amostragem do solo, levando-se em consideração a seqüência morfológica lateral dos diferentes horizontes do solo em encostas ou toposequências (DANIELS et al., 1971, 1984; BUOL et al., 1980; BOULET, 1988).

Atualmente existem várias formas de descrever as vertentes e/ou seus segmentos e quantificar os seus atributos e os dos solos. Utilizando métodos de cartografia digital, torna-se possível a representação da superfície terrestre na forma de modelos digitais de elevação (MDE), permitindo uma melhor análise topográfica e hidrográfica pelo processamento de uma série de variáveis correlacionadas. Os SIG são ferramentas computacionais desenvolvidas para geoprocessamento, adequadas para organizar, armazenar, manipular e apresentar atributos do ambiente, distribuídos espacialmente (NETO, 1994). Os SIG permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados, possibilitando um grande leque de aplicações (IBGE, 2007). Os SIG são tecnologias versáteis que permitem produzir com agilidade mapas temáticos, ordenando dados sistematicamente, onde a associação dessas informações com dados de atributos das feições espaciais permite aos pesquisadores entender os fenômenos geográficos e seus inter-relacionamentos. A análise conjunta de dados de diversos fatores integrados por meio do modelo SIG, deverá fornecer uma visão global, sistêmica, da estrutura da unidade hidrográfica e dos processos e fenômenos nela atuantes, permitindo detectar as relações que possam existir entre superfícies geomórficas, solos e os substratos geológicos.

## 2.4 INTEMPERISMO E PROCESSOS MORFO-PEDOGENÉTICOS

De acordo com a Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 1975) e o Soil Survey Manual (1984) (*In* IBGE, 2007) o solo é definido como a coletividade de indivíduos naturais, na superfície da terra, eventualmente modificado ou mesmo construído pelo homem, contendo matéria orgânica viva e servindo ou sendo capaz de servir à sustentação de plantas ao ar livre, onde em sua parte superior, limita-se com o ar atmosférico ou águas rasas e lateralmente, limita-se gradualmente com rocha consolidada ou parcialmente desintegrada, água profunda ou gelo. Já segundo o SiBCS o solo é conceituado como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas,

tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem, e ocasionalmente, podem ter sido modificados por atividades antrópicas (EMBRAPA, 2006).

Os modelos pedogenéticos tiveram base nas teorias fatorial-funcional (DOKUCHAEV, 1898 e JENNY, 1941) onde os solos formam-se durante o tempo devido aos quatro fatores ambientais clima, organismos, relevo e material de origem; a do sistema - processo - fluxo (SIMONSON, 1959); ou uma síntese de ambas (JENNY, 1961; RUNGE, 1973).

A rocha, submetida à ação dos agentes intempéricos, constitui a matriz de origem dos solos (WAMBEKE, 1962). A natureza da rocha, seja ela ígnea, sedimentar ou metamórfica, pela sua fragmentação e decomposição, influencia o tipo de solo a ser formado (VIEIRA, 1975); sendo o solo resultante da ação combinada de inúmeros processos pedogenéticos (adição, perdas, translocação e transformação), e dependentes da intensidade dos fatores de formação sobre o material de origem durante um determinado período de tempo, condicionando a formação de uma imensidão de tipos de solos que apresentam natureza, composição e comportamento diferenciados (OLIVEIRA, 2011).

O intemperismo pode ser definido como o fenômeno responsável pelo colapso, desintegração ou desagregação das rochas transformando-as em solo, ou seja conjunto de processos operantes sobre a superfície da crosta terrestre, que causam a decomposição das rochas e de seus minerais constituintes, graças a ação dos agentes atmosféricos e biológicos. Os constituintes do solo dependem das características gerais da constituição da rocha matriz e/ou do tipo e propriedades dos sedimentos de origem, sob a ação dos principais agentes de intemperismo. Neste caso, o intemperismo passa a ser compreendido como uma coleção de processos físicos e químicos atuantes na alteração das rochas, provocando uma modificação na composição e na constituição mineralógica, originando solos baseados em determinadas características que foram herdadas do material parental (LEINZ & AMARAL, 1985; OLIVEIRA, 2011).

A intensidade do processo de intemperismo é extremamente dependente da relação direta dos fluxos horizontal e vertical de movimentação de água no perfil, fortemente influenciadas por características pluviométricas (volume, intensidade, e frequência) e do próprio solo, e de condições do meio físico-químico como o pH,

concentração de diversos elementos químicos e variações de temperaturas (MELFI & PEDRO, 1977 e 1978).

A interação conjunta de todos os fatores em uma escala de tempo acaba por imprimir características intrínsecas nos solos, sendo estes produtos das ações dos diversos agentes de formação integrados, resultando em propriedades químicas, físicas e mineralógicas específicas (WAMBEKE, 1962; ESWARAN e DE CONINCK, 1971).

Nas diversas regiões tropicais e subtropicais, logo após a ação do intemperismo físico ter promovido a fragmentação e exposição da rocha, o intemperismo químico ocorre com maior magnitude, tendo como principal mecanismo de alteração a hidrólise. O processo de hidrólise e o fluxo lixiviante, podem ser divididos em três graus de acordo com a intensidade: baixa intensidade ou bissialitização, média intensidade ou monossialitização e altamente intensa ou alitização. Na situação em que ocorre hidrólise parcial, e a lixiviação é fraca, a dessilicização é limitada, mantendo silício suficiente no sistema para a formação de argilominerais 2:1, nos quais parte dos cátions permanece no sistema, ocupando as entrecamadas do argilomineral; a este processo denomina-se bissialitização. Quando se tem hidrólise parcial com lixiviação mais intensa permitindo uma dessilicização moderada, o silício remanescente formará argilominerais do tipo 1:1; processo este denominado de monossialitização ou caulinitização. Já em ambientes com fluxo de percolação onde ocorre uma lixiviação muito forte permitindo a dessilicização completa, mantendo no sistema somente o alumínio que precipita na forma de óxidos, posteriormente cristalizando-se na forma de gibbsita; este processo de perda drástica de cátions básicos é denominado alitização (KAMPF & CURI, 2003).

O modelo pedogenético dos processos específicos deriva da interpretação das características expressas pelos diferentes tipos de solos, considerando serem elas o resultado de um ou mais processos ou reações específicas condicionadas pelos fatores ambientais (FANNING & FANNING, 1989; van BREEMEN & BUURMAN, 1998), e são responsáveis pelas propriedades do solo, sendo designados por termos que expressam feições atuais, mecanismos ou ambientes do solo (KAMPF & CURI, 2012).

Os processos específicos fornecem uma visão dinâmica do solo, enquanto as propriedades e horizontes diagnósticos dão uma ideia estática do sistema (BOCKHEIM & GENNADIYEV, 2000). A conceituação dos processos pedogenéticos fornece modelos úteis para o entendimento das feições do perfil de solo, bem como para a sua

identificação no campo e organização da classificação de solos (KAMPF & CURI, 2012). No Quadro 1 estão sintetizados os diversos processos pedogenéticos específicos associados ao modelo de processos múltiplos de Simonson (1959).

Quadro 1 – Processos pedogenéticos específicos, subprocessos e processos múltiplos.

Processos pedogenéticos específicos	Subprocesso ou reação	Processos múltiplos*	Descrição resumida do processo
Melanização	Complexação	1, 3	Escurecimento de material mineral por mistura com MO, produzindo horizonte A espesso e/ou horizonte B escurecido.
Leucinização	Oxidação da MO, erosão	2, 3	Empalidecimento de horizontes por desaparecimento de MO por remoção ou transformação.
Pedalização	Expansão e contração	1, 3, 4	Formação de agregados estruturais (peds) no material de origem e no solo.
Silificação	Solubilização e precipitação de Si	3, 4	Migração e acumulação de sílica secundária produzindo cimentação de peds ou da matriz do solo.
Dessilificação	Liberação e lixiviação de Si	3, 4	Liberação e remoção parcial a total de sílica do solo.
Brunificação, rubeificação, ferruginização	Liberação e oxidação de Fe	3, 4	Liberação de Fe <sup>2+</sup> de minerais primários, oxidação e dispersão de óxidos de ferro, conferindo colorações brunadas, bruno-avermelhadas e vermelhas à matriz do solo.
Ferralitização	Dessilificação, oxidação	2, 3, 4	Remoção de sílica do solo, formação de caulinita e concentração de óxidos de Fe e Al, com ou sem formação de petroplintita (ou laterita) e concreções.
Plintização e laterização	Redução, oxidação, acumulação e concentração de Fe	3, 4	Translocação de Fe na forma reduzida e sua precipitação por oxidação produzindo plintita e acumulações macias localizadas de óxidos de ferro (cor vermelha ou brunada); a plintita está sujeita a eventual endurecimento irreversível (cimentação) através de ciclos de secamento e umedecimento (petroplintita). Camadas cimentadas extensivas são conhecidas como lateritas ou ferricretes.

Continua próxima página

**Quadro 1 – Continuação.**

Processos pedogenéticos específicos	Subprocesso ou reação	Processos múltiplos*	Descrição resumida do processo
Lessivagem ou argiluviação	Eluviação, iluviação	3	Migração de partículas finas (argila) dos horizontes A e E (eluviais) para o B (iluvial) produzindo horizontes Bt.
Elutrição	Erosão seletiva	2	Remoção de material fino (argila, silte fino) do horizonte superficial por escoamento superficial produzindo gradiente textural no solo.
Podzolização	Complexação	3, 4	Migração de Al e Fe complexados e/ou MO produzindo horizonte eluvial (E) com concentração de quartzo e secundariamente de sílica e horizonte iluvial (Bsh) com acumulação de Fe, Al e MO.
Gleização	Redução	2, 3, 4	Redução do Fe sob condições anaeróbicas, produzindo matriz de cores cinzentas (azuladas e esverdeadas), com ou sem mosqueados ou concreções de Fe e Mn.
Calcificação ou carbonatação	Evaporação > chuvas	3	Acumulação de CaCO <sub>3</sub> em horizontes subsuperficiais, produzindo desde nódulos a horizonte petrocálcico.
Ferrólise	Redução, oxidação, hidrólise	2, 3, 4	Destrução de argilominerais do horizonte superficial por oxidação do ferro, produzindo gradiente textural (horizonte Bt).
Salinização	Evaporação > chuvas; ineficaz lixiviação de sais	3	Acumulação de sais solúveis (cloreto, sulfatos, bicarbonatos de Na, Ca, Mg, K) na ou próximo à superfície do solo por evaporação da água. CE > 4mS m <sup>-1</sup> , PST < 15%.
Sodificação ou alcalinização	Concentração de íons Na	3	Acumulação de íons Na nos sítios de troca do solo. PST > 15%, CE > 4mS m <sup>-1</sup> .
Solodização	Lixiviação	3	Lixiviação dos íons Na dos sítios de troca do solo, dispersão e migração de argilas originando horizonte Bt com caráter solódico.

Continua próxima página

**Quadro 1 – Continuação.**

<b>Processos pedogenéticos específicos</b>	<b>Subprocesso ou reação</b>	<b>Processos múltiplos*</b>	<b>Descrição resumida do processo</b>
Sulfurização ou tiomorfismo	Oxidação e acidificação	3, 4	Acidificação do solo por oxidação de sulfetos de ferro (FeS).
Vertização	Expansão e contração	3, 4	Formação de fendas, agregados cuneiformes, slickensides, micro-relevo gilgai.
Agradação ou cumulização	Deposição de partículas	1	Adição (eólica, hidrológica, coluvial, etc.) de partículas minerais à superfície do solo.
Paludização	Anaerobiose, redução	1, 4	Acumulação de MO em ambientes alagadiços anaeróbicos originando espessos depósitos (turfa, horizontes H).
Pedoturbação	Mistura, segregação	3	Homogeneização do solo por ação biológica (bioturbação) ou física; transferência de partículas finas à superfície, biomanto.
Antrosolização	Ação humana	1, 2, 3, 4	Adição humana de materiais, movimentação de solo, fertilização, irrigação, aterramento, decapagem, etc.
Erosão	Remoção de partículas	2	Remoção de material do solo por ação eólica ou hídrica, com ou sem interferência humana.

\*Conforme o modelo de Simonson (1959): (1) adições; (2) remoções; (3) translocações; e (4) transformações no solo.

**Fonte:** Adaptado de Kampf & Curi (in KER et al., 2012).

## 2.5 ASPECTOS MINERALÓGICOS

Os minerais constituintes do solo podem ser classificados em dois grupos principais, os minerais primários, herdados da rocha matriz ou do material originário do solo, e os minerais secundários, produtos da ação do intemperismo sobre o material originário do solo. A fração areia e silte têm a sua mineralogia formada principalmente por minerais resistentes ao intemperismo, como quartzo, além de outros minerais primários em quantidades variáveis, como olivinas, anfibólios, piroxênios, feldspatos e micas (BUCKMAN & BRADY, 1989). Já a fração argila, no entanto é constituída por minerais secundários, resultantes dos processos de modificação física, química e biológica, independentemente de terem sido formados *in situ* ou transportados (ALLEN & HAJEK, 1989).

Dentre os vários aspectos do solo, a constituição mineralógica é o que mais têm influência na maior parte dos fenômenos físicos e químicos que nele se desenvolvem. Sob a ótica da gênese do solo, a composição, as propriedades e as transformações mineralógicas no material parental acabam por propiciar uma melhor compreensão da evolução dos sistemas intempéricos e pedogenéticos, uma vez que os minerais são um indicativo da dimensão com que os diferentes processos têm atuado nas paisagens atuais (COELHO & VIDAL-TORRADO, 2003).

De acordo com Kämpf et al. (2012) a ocorrência de diferentes grupos e espécies de argilominerais é condicionada pelo material de origem, intemperismo e pela pedogênese, abrangendo as etapas de estabilidade, transformações e neoformações. Em decorrência deste fato, esta grande variedade de argilominerais pode estar representada em diferentes tipos de solos ou até mesmo dentro de um mesmo perfil de solo nos diferentes horizontes ou camadas, fazendo com que sejam indicadores da intensidade de intemperização e dos processos pedogênicos (bissialitização, monossilitização, alitização).

A estabilidade ou a resistência ao intemperismo de um mineral depende da dureza, da clivagem, do coeficiente de expansão, dos defeitos no cristal e da solubilidade em ambientes específicos, além do tamanho do grão e das condições do ambiente que vão influenciar o processo de intemperização (KÄMPF et al., 2009).

Entre todos os processos químicos envolvidos na formação dos minerais da fração argila, a reação de hidrólise é um dos principais mecanismos, podendo ocorrer em diferentes intensidades de acordo com

o grau de lixiviação do silício e dos cátions básicos do solo no sistema (MELFI & PEDRO, 1977). A neogênese é outro processo de grande relevância, onde os argilominerais são formados a partir dos íons alumínio, silício e bases liberados e presentes na solução do solo. Os argilominerais também podem sofrer transformações incompletas no solo formando minerais interestratificados, ou então os argilominerais do tipo 2:1 podem sofrer intercalação com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas (BARNHISEL & BERTCH, 1989).

O conhecimento prévio a respeito da composição mineralógica indica o grau de intemperismo sofrido pela rocha para a formação do solo (MELFI & PEDRO, 1977 e 1978), podendo ajudar na interpretação da dinâmica evolutiva do solo, e de suas propriedades com reflexos diretos em seu manejo (KÄMPF et al., 1995). Os minerais associados nas rochas apresentam distintas susceptibilidades à intemperização, à medida que os solos evoluem, sua composição mineral começa a depender mais do ambiente de intemperização do que da composição do seu material de origem, por esta razão as associações de argilominerais nos solos são consideradas indicadoras do grau de desenvolvimento do solo (KÄMPF et al., 2009).

As alterações, transformações e neoformações de minerais que ocorrem no solo no decurso da intemperização são condicionadas por numerosos fatores físicos, químicos e biológicos. Cada ambiente difere quanto aos fatores que controlam a alteração e as assembléias minerais presentes. Os fatores que determinam a intemperização dos minerais são a instabilidade intrínseca do mineral, a concentração de prótons da solução, a presença de ligantes complexantes, a área superficial específica do mineral e a eficiência da remoção dos produtos solúveis da intemperização (KÄMPF et al., 2009). A estabilidade intrínseca dos minerais silicatados depende do caráter iônico e covalente das ligações, da condensação da estrutura, do arranjo dos tetraedros, da substituição do Si por Al e da eletronegatividade dos íons metálicos (STICHER & BACH, 1966).

A presença de minerais primários ricos em nutrientes em potencial não significa necessariamente que o solo seja fértil. Os solos desenvolvidos de rochas ricas, sob condições de alta lixiviação e taxa de intemperização mais lenta são muito pobres em nutrientes disponíveis, mesmo quando ainda apresentam substancial quantidade de minerais decomponíveis (RESENDE et al, 2007). Mas o prévio conhecimento dos minerais primários ocorrentes nos solos constitui uma informação de grande valor do ponto de vista pedogenético e agronômico, podendo

indicar o nível de reserva de nutrientes essenciais às plantas a longo prazo (SCHULTZE, 1989; ALLEN e HAJEK, 1989). Segundo Melo et al. (2009) a caracterização mineralógica das frações do solo, a avaliação da cinética de liberação e da contribuição de formas não trocáveis e estruturais na absorção dos nutrientes pelas culturas influenciam fortemente a produção agrícola.

Os minerais de natureza secundária são responsáveis pela grande maioria dos fenômenos importantes inerentes à fertilidade, física, química e manejo dos solos. Os argilominerais têm uma importante e significativa contribuição nas propriedades físicas do solo (textura, estrutura, consistência, permeabilidade, expansão e contração) e em suas propriedades químicas (disponibilidade de nutrientes, CTC, pH, sorção), principalmente em virtude do seu pequeno tamanho de partícula (propriedades coloidais), elevada área superficial e reatividade de superfície (KÄMPF et al., 2012). A reatividade da superfície dos argilominerais controla grande parte dos processos no solo, sendo condicionada pela estrutura dos minerais, mediante a interação dos sítios na superfície das partículas com outras substâncias ou componentes da solução do solo (JOHNSTON & TOMBÁCZ, 2002).

Segundo Resende et al. (2005) dentre os principais componentes minerais encontrados nos solos brasileiros de argila de atividade baixa, nas frações silte e areia, o quartzo é usualmente o mineral dominante, dependendo muito do material de origem. Já na fração argila a caulinita é quase sempre presente, além de óxidos de ferro e alumínio. Já em solos de argila de atividade alta, no silte e areia podem ocorrer praticamente todos os minerais primários que se encontram na rocha de origem como feldspatos, micas e hornblendas, sendo que na fração argila além da caulinita é muito comum a presença de minerais 2:1 e de interestratificados de mica, vermiculita e esmectita.

Vários estudos a respeito da mineralogia em solos ácidos da região sul do Brasil apontam a presença simultânea de gibbsita, caulinita, argilominerais 2:1 com polímeros de hidróxi-alumínio e interestratificados (KÄMPF et al., 1995; ALMEIDA et al., 2000; TESKE et al., 2013). De acordo com Kämpf & Shwertmann (1983) a ocorrência simultânea destes minerais pode influenciar de forma peculiar nas propriedades do solo, assim como proceder a interpretações a respeito das variações climáticas do ambiente.

Dentro dos minerais não-silicatados, destacam-se os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que são minerais de natureza secundária de suma importância principalmente nos solos de regiões tropicais,

sendo a sua influência nas propriedades dos solos bastante expressiva. Os óxidos de Fe no solo compreendem minerais que têm a sua origem condicionada pelo ambiente, onde a sua concentração está intimamente relacionada com o tipo do material de origem, com o grau de intemperização e com os processos pedogenéticos de acumulação ou remoção (KÄMPF & CURI, 2000), sendo que os principais óxidos de Fe encontrados nos solos são a hematita, goethita, magnetita, maghemita, lepidocrocita e a ferridrita (FONTES, 2002).

A investigação científica dos processos pedogenéticos dominantes ocorrentes em cada perfil de solo estudado, conjugado com o material de origem (litologias) das diferentes formações geológicas e a conformação da superfície topográfica deve contribuir para a identificação do comportamento e dos componentes mineralógicos dos solos. A pesquisa da mineralogia constitui-se num valioso recurso usado na prática para evidenciar diferenças fundamentais entre as distintas unidades de solos ocorrentes em determinado local, sendo utilizado para indicar mudanças importantes na morfologia ou retratar situações particulares e específicas de certas classes de solos.



### 3 HIPÓTESES

- 3.1. Na região do estudo, em uma mesma formação geológica ocorrem variações na litologia em função de mudanças no ambiente de sedimentação.
- 3.2. Nos solos estudados, suas propriedades intrínsecas são influenciadas principalmente pelo tipo de material de origem (rocha).
- 3.3. Os diferentes solos da região do estudo, desenvolvidos da mesma formação geológica, apresentam composição química e mineralógica distinta, em função de variações litológicas no material de origem.
- 3.4. Os diferentes solos da região do estudo, derivados da mesma litologia, apresentam composição química e mineralógica distinta, em função da diferença de posição que ocupam na paisagem, sendo condicionados pelo relevo e drenagem interna e pelos processos geomórficos pretéritos.
- 3.5. Os diferentes solos da região do estudo, derivados de diferentes formações/litologias, desenvolvidos em iguais condições de clima e relevo, apresentam características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas semelhantes.
- 3.6. Os diferentes solos da região do estudo, desenvolvidos de rochas sedimentares apresentam mineralogia da fração argila predominantemente caulinitica.
- 3.7. Nos diferentes solos da região estudados, as caulinitas são de pequeno tamanho e de baixo grau de cristalinidade.
- 3.8. Nos diferentes solos da região estudados, há ocorrência de descontinuidade litológica no perfil.
- 3.9. Nos diferentes solos da região estudados, o elevado gradiente textural entre os horizontes no perfil deve-se ao processo de argiluviação (lessivagem).

3.10. Nos horizontes com manchas de alteração cinzentas e avermelhadas e/ou coloração variegada, ocorrem segregações de óxidos de ferro no solo sendo interpretadas como plintitas.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 GERAL

Com o presente estudo objetivou-se caracterizar as propriedades físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas de solos desenvolvidos sobre litologias sedimentares da região sudoeste do RS e identificar se as variações entre os pacotes sedimentares das diferentes formações geológicas afetam a diferenciação dos solos.

### 4.2 ESPECÍFICO

- I. Estudar, por meio de topolitossequências, a influência das diferentes litologias de três formações geológicas de natureza sedimentar na gênese e na composição mineralógica dos solos.
- II. Estudar, por meio de topolitossequências, a influência das formas de relevo e da posição que ocupam na paisagem, na gênese e constituição dos solos, condicionados pelos fluxos de água no perfil.
- III. Investigar as causas da variabilidade das classes de solos decorrentes da dinâmica dos processos, considerando a variação litológica e o modelado da superfície topográfica.
- IV. Estabelecer a correlação das superfícies geomórficas com a pedogênese aplicando-se modelos clássicos de compartimentação de vertentes.
- V. Estabelecer relações entre os atributos físicos e químicos com sua constituição mineralógica.
- VI. Discutir a possível ocorrência de descontinuidade litológica entre os horizontes de superfície e subsuperfície, por meio da análise conjunta de atributos indicadores.
- VII. Descrever aplicando técnicas estatísticas multivariadas os fatores que explicam a variabilidade dos dados básicos dos perfis e a correlação entre as variáveis, e definir quais são os atributos

químicos e físicos do solo determinantes na diferenciação dos horizontes entre os perfis.

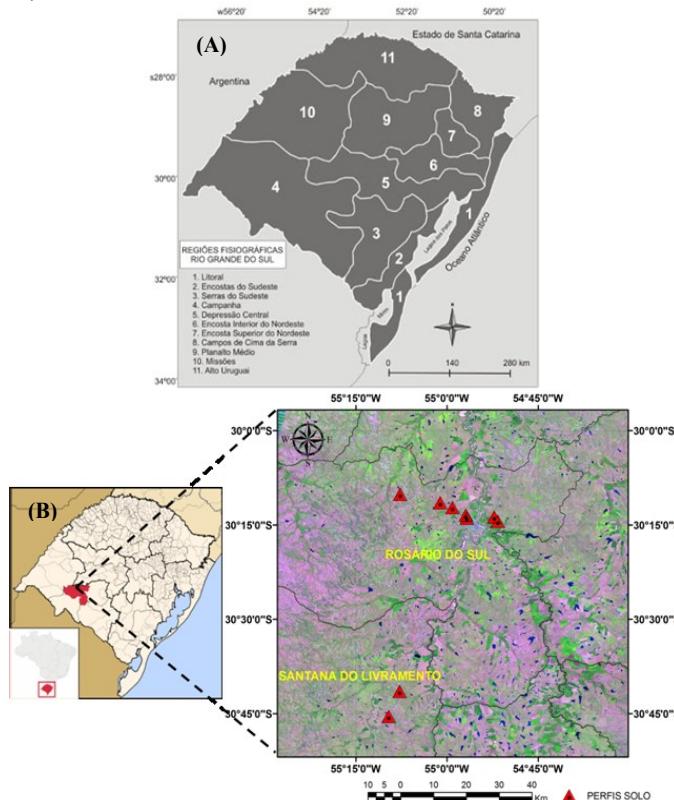
VIII. Compreender e descrever os principais processos morfopedogenéticos atuantes na evolução dos solos.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do projeto está inserida na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, na cidade de Rosário do Sul, situada na Mesorregião Sudoeste Rio-Grandense, Microrregião da Campanha Central do Estado do Rio Grande do Sul-Brasil, com altitude média de 132 m e extensão territorial com área total de 4.369,66 km<sup>2</sup> (Figura 10).

Figura 10 – (a) Regiões Fisiográficas do RS e (b) localização geográfica da área do estudo – Município de Rosário do Sul e Santana do Livramento/RS (Imagen Landsat 5-TM / Datum SAD69 - escala indicada).



Fonte: (a) SEMA/RS; (b) produção do próprio autor.

O município de Rosário do Sul está localizado a  $30^{\circ} 15' 28''$  de latitude sul e  $54^{\circ} 54' 50''$  de longitude oeste, a 386 km de distância da capital do RS (Porto Alegre), fazendo fronteira com os municípios de São Gabriel, Cacequi, Alegrete, Quaraí, Santana do Livramento e Dom Pedrito. O clima segundo o sistema de classificação de Köppen (KÖPPEN & GEIGER, 1928) é temperado do tipo subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios (Cfa). A temperatura média anual está na faixa de 16 a 20°C, com média no mês de janeiro superior a 32°C, e temperatura mínima registrada em julho em torno de 3°C. Apresenta índice pluviométrico médio anual entre 1300 a 1600 mm, com ventos predominantes no sentido leste-oeste (massa Sul-Atlântica), frequência anual de geadas de 10 a 15 dias, e taxa de insolação de 2.200 a 2.800 horas por ano. Apresenta relevo regional suave ondulado e ondulado formado por coxilhas, e vegetação predominante de gramíneas na composição florística dos campos, além de capões e matas como elementos da paisagem (Fontes: PNUD; PMRS, 2005).

## 5.2 BASE CARTOGRÁFICA

A base cartográfica consistiu de mapas/cartas planialtimétricas e hidrográficas da escala 1:100.000 e 1:50.000 do IBGE; mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000 da CPRM; imagens dos satélites LANDSAT 5-TM e RAPIDEYE; MDE; e, apoio de receptores GPS de navegação. Uma base de dados complementar também foi adquirida através do Projeto TOPODATA.

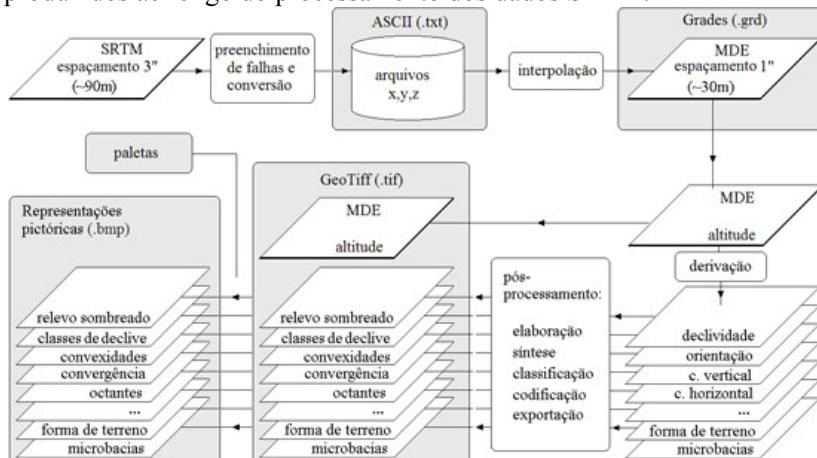
O software SIG utilizado foi o SPRING Versão 5.1.8 do DPI/INPE e o ARCVIEW 9.3 da ESRI. Os mapas finais foram gerados com os programas de cartografia SCARTA e ARCMAP.

## 5.3 GEOMORFOLOGIA

O download dos arquivos de dados das variáveis altimétricas para entrada em ambiente SIG foi feito por meio do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil do projeto TOPODATA, através da DSR/INPE (Divisão de Sensoriamento Remoto) que oferece livre acesso ao Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações para todo o território nacional, elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), disponibilizados pelo USGS (United States Geological Survey).

Os dados SRTM foram alvo de uma sequência de operações (processamento), que podem ser resumidas a preenchimento de falhas, refinamento, derivações geomorfométricas e pós-processamento (Figura 11).

Figura 11 – Fluxograma e conjuntos de arquivos do TOPODATA produzidos ao longo do processamento dos dados SRTM.



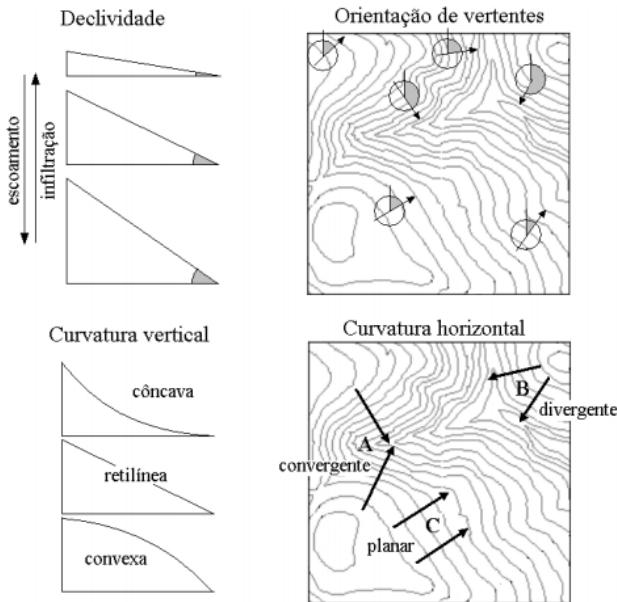
Fonte: DSR/INPE.

Desde a primeira etapa, foram separados em folhas compatíveis com a articulação 1:250.000 (folhas de  $1^{\circ}$  de latitude por  $1,5^{\circ}$  de longitude). Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos ( $\sim 90$  m) para 1 arco-segundo ( $\sim 30$  m) a partir da interpolação obtida por krigagem. Em seguida, foram aplicados algoritmos de análise geomorfométrica sobre os dados refinados para o cálculo das variáveis declividades, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical (Figura 12). Além dessas variáveis, uma derivação de segundo grau foi aplicada para evidenciação de talvegues e divisores de água, cujos resultados foram combinados à orientação de vertentes para favorecer a interpretação das feições de drenagem e caracterização de sua estrutura. As variáveis geomorfométricas foram ainda classificadas para a geração de mapas não numéricos tais como de formas de terreno.

Através de recursos de cartografia digital a partir do MDE também foram criados mapa de perfis de altitude, além de mapas tridimensionais (3D). Para a correlação das superfícies geomórficas com

a pedogênese aplicou-se como modelo clássico de compartimentação de vertentes a metodologia proposta por Troeh (1965).

Figura 12 – Variáveis geomorfométricas locais derivadas da altimetria.



Fonte: VALERIANO, 2008.

#### 5.4 TRABALHO DE CAMPO

Para a definição das topotitossequências, a escolha dos locais de amostragem (perfis de solo) levou em consideração diversos elementos da pedopaisagem, os diferentes tipos de materiais de origem das pressupostas Formações Pirambóia, Sanga-do-Cabral e Guará conforme informações do mapa geológico do RS (CPRM, 2006), variações no relevo e na altitude, afloramentos de rochas, cor dos solos, acessibilidade (estradas) e cortes (barrancos). Portanto não se caracterizou uma topossequência clássica, mas sim diferentes tipos de solos formados a partir de litologias distintas em diversos segmentos da paisagem (relevo). Para isso contou-se com apoio de geotecnologias através de posicionamento em tempo real em ambiente SIG com GPS navegando sobre o mapa geológico, o MDE e a imagem TM, auxiliando no processo de tomada de decisão de pontos que sejam representativos

das classes de solo predominantes na área de estudo. Os perfis P1T1 (Figura 13), P2T1 (Figura 14), P3T1 (Figura 15), P1T4 (Figura 20) e P2T4 (Figura 21) pertencem à Formação Pirambóia, os perfis P1T2 (Figura 16), P2T2 (Figura 17) e P3T2 (Figura 18) à Formação Sanga-dó-Cabral, e o P1T3 (Figura 19) à Formação Guará (Figura 4). O traçado das topolitossequências e a posição de cada perfil no relevo podem ser visualizados no mapa de perfil topográfico (Figura 28).

Após a escolha dos perfis de solo, procedeu-se à descrição geral registrando a unidade de mapeamento, a classificação preliminar do solo, a localização e as coordenadas, situação, declive e cobertura vegetal no local do perfil, altitude, litologia, formação geológica, cronologia, material originário, pedregosidade, rochosidade, relevo local, relevo regional, erosão, drenagem, vegetação primária, uso atual e clima. A seguir foi feita a descrição morfológica dos perfis do solo, separando os horizontes genéticos (símbologia, profundidade e espessura dos horizontes), identificando a transição entre os horizontes quanto à topografia e nitidez ou contraste. Na sequência, determinou-se a cor úmida e seca (matiz, valor e croma) de acordo com a carta de Munsell; o grau, tamanho e tipo da estrutura do solo; a cerosidade do solo (quantidade e grau); a consistência do solo seco (dureza ou tenacidade); a consistência úmida (friabilidade); e a consistência molhada (plasticidade e pegajosidade); de acordo com a metodologia descrita no manual de descrição e coleta de solo a campo (SANTOS et al., 2005) e no livro morfologia do solo, subsídios para caracterização e interpretação de solos a campo (SCHNEIDER et al., 2007).

Depois, em cada um dos subhorizontes dos perfis coletou-se uma amostra de solo deformada para caracterização química, física e mineralógica, por meio de análises posteriores em ambiente de laboratório.

## 5.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

As análises das amostras de solo coletadas em campo foram feitas no laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo do DSRN no CAV/UDESC.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorreadas e peneiradas em malha de 2 mm, separando-se as frações grosseiras e a terra fina (TFSA). As análises químicas e físicas básicas foram realizadas de acordo com metodologias descritas em Tedesco et al.

(1995) e Embrapa (1997). As análises complementares foram feitas conforme metodologias específicas.

### 5.5.1 Caracterização física

#### 5.5.1.1 Textura do solo

A análise granulométrica (distribuição do tamanho de partículas) ou textura do solo foi determinada pelo método do densímetro simplificado (BOUYOUCUS, 1962), onde a fração TFSA sofreu dispersão química com uma solução de NaOH ou Calgon e em água destilada para determinação da argila natural. Foram pesados 50 g de TFSA em frasco snap-cap de 150 ml e adicionados 10 ml de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e aproximadamente 75 ml de água destilada. As amostras foram homogeneizadas manualmente, colocadas duas bolinhas de acrílico e deixadas em repouso por uma noite (16 horas), após as amostras foram agitadas por 4 horas a 220 rpm. O material agitado foi passado em peneira de 0,053 mm para uma proveta de 1000 ml. A fração retida na peneira foi transferida para um recipiente e seca a 110°C por 4 a 12 horas determinando-se a areia gravimetricamente (pesagem). Para determinação da fração argila utilizou-se a leitura do densímetro, e obteve-se o silte por diferença.

A relação silte/argila foi calculada pela simples razão entre os valores obtidos na análise tendo como agente dispersante a solução de NaOH. O grau de floculação da argila (GF) foi calculado pela seguinte equação:

$$GF = 100 * (A_T - A_n) / A_T$$

Onde:

$A_T$  = argila total determinada com o uso de dispersante químico;  
 $A_n$  = argila natural, obtida por dispersão em água destilada.

A fração argila foi posteriormente separada do silte por sedimentação de acordo com a lei de Stokes, e armazenada na forma seca e em suspensão, para tratamentos químicos diferenciais e térmicos destinados às análises mineralógicas.

### 5.5.1.2 Sedimentologia da fração areia

A fração areia total foi separada por tamisação (agitação mecânica a seco) em um agitador de peneiras (rot-up) durante 5 minutos. O fracionamento da areia foi obtido após a separação e classificação em nove classes de tamanhos de partículas: 0,052 a 0,065; 0,064 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 e 0,851 a 1,7 (mm); o que correspondente respectivamente na escala Phi ( $\phi$ ) a: 3,73; 2,73; 2,23; 1,73; 1,23; 0,73; 0,23; -0,76 e -1. O diâmetro (d), em milímetro (mm), correspondente a cada peneira, foi transformado para a escala Phi de Krumbein (1934), em que  $\phi = -\log_2 d$ ; sendo que nesta escala quanto maior o valor em  $\phi$ , menor será o diâmetro da partícula. Foram calculados parâmetros estatísticos como diâmetro médio (DM), curtose (K), assimetria (A) e grau de seleção (GS) com os dados granulométricos na escala de Phi de Krumbein de acordo com a classificação de Folk & Ward (*In* SUGUIO, 1973), usando o programa de análise de sedimentos SYSGRAN 3.0 (CAMARGO, 2006) por meio das seguintes equações:

$$DM = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/ 3$$

$$GS = [(\phi_{84} - \phi_{16})/ 4] + [(\phi_{95} - \phi_{5})/ 6,6]$$

$$A = [(\phi_{16} + \phi_{84} - 2*\phi_{50})/ 2*(\phi_{84} - \phi_{16})] + [(\phi_{5} + \phi_{95} - 2*\phi_{50})/ 2*(\phi_{95} - \phi_{5})]$$

$$K = (\phi_{95} - \phi_{5})/ 2,44 * (\phi_{75} - \phi_{25})$$

Por meio da interpretação dos parâmetros, espera-se que ela permita classificar os sedimentos para correlacioná-los de modo a inferir aspectos sobre a sua gênese, transporte e modo de deposição, utilizando esta informação na caracterização e diferenciação de materiais de origem e evidenciação de descontinuidade litológica.

### 5.5.1.3 Fracionamento do silte e da argila

A determinação das subfrações das partículas de silte e argila foram feitas utilizando um granulômetro a laser modelo Mastersizer 2000 equipado com o acessório Hydro 2000MU da Malvern

Instruments usando água como agente dispersante em becker de 1 litro. O princípio de funcionamento do instrumento baseia-se no espalhamento da luz na forma de radiação laser através de um sistema óptico com arranjo de lentes reversas Fourier com feixe convergente usando uma fonte de luz vermelha (Max. 4 mW Hélio-Neon, 632.8 nm) e outra azul (Max. 0.3 mW LED, 470 nm), com uma faixa de leitura do tamanho de partícula de 0,02 a 2000  $\mu\text{m}$ .

Para este propósito foi utilizada uma amostra de 50 g de TFSA em frasco snap-cap de 150 ml que foi dispersa com uma solução de hexametafosfato de sódio e carbonato de sódio anidro (Calgon), sendo deixadas em repouso por uma noite (16 horas) e depois agitadas por 4 horas a 220 rpm. Após, a fração areia foi separada e eliminada usando uma peneira com malha de 0,053 mm, e uma parte do material contida na proveta de 1000 ml foi transferida para ser armazenada em tubos de centífuga tipo falcon de 50 ml. Para a leitura foi usada uma pequena alíquota da suspensão de silte e argila que foi novamente agitada com auxílio de um vortéx e retirada com uma pipeta automática.

Após a análise as subfrações das partículas de silte e argila foram agrupadas nas seguintes classes: silte grosso (53 a 20  $\mu\text{m}$ ), silte médio (20 a 5  $\mu\text{m}$ ), silte fino (5 a 2  $\mu\text{m}$ ), argila + grossa (2 a 1  $\mu\text{m}$ ) e argila + fina (< 1  $\mu\text{m}$ ).

#### 5.5.1.4 Relações granulométricas e valor de uniformidade

Foram calculadas as seguintes relações com os dados granulométricos dos perfis:  $\text{AR}_F/\text{AR}_G$ ;  $\text{AR}_F/\text{AR}_T$ ;  $A_F/A_G$  e  $A_F/A_T$ . Também foi calculado o Valor de Uniformidade (VU) adaptado de Schaetzl & Anderson (2005) como indicativo de descontinuidade litológica no perfil, aplicando a seguinte expressão:

$$\text{VU} = \{[(S_T + \text{AR}_F) / (\text{AR}_T - \text{AR}_F)] \text{ horizonte superficial} / [(S_T + \text{AR}_F) / (\text{AR}_T - \text{AR}_F)] \text{ horizonte subjacente}\} - 1,0$$

Onde:  $\text{AR}_F$  = areia fina;  $\text{AR}_G$  = areia grossa;  $\text{AR}_T$  = areia total;  $A_F$  = argila fina;  $A_G$  = argila grossa;  $A_T$  = argila total;  $S_T$  = silte total.

#### 5.5.2 Caracterização química

##### 5.5.2.1 Análises básicas

Os atributos químicos determinados para caracterização inicial foram o pH do solo, o teor de carbono orgânico total, o alumínio trocável, a acidez potencial  $[H+Al]$  e as bases trocáveis (K, Na, Ca e Mg). Foram calculadas a soma de bases, a capacidade de troca de cátions (CTC efetiva e CTC a pH<sub>7</sub>), a saturação por bases e por alumínio, e as relações entre cátions.

#### **5.5.2.1.1 Acidez ativa (pH em água e sal)**

A acidez ativa (pH em H<sub>2</sub>O e KCl 1 mol L<sup>-1</sup> com relação de 1:1), foi realizada por potenciometria, utilizando um pHmetro para leitura. Para isso pesou-se 20 g de TFSA, com duas repetições em copos de cafezinho de 50 ml; adicionou-se 20 ml de água destilada; agitou-se com bastão de vidro até homogeneizar bem; deixou-se em repouso por 30 minutos e depois se agitou novamente; foi calibrado o pHmetro com padrões 4 e 7; e se fez a leitura do pH em água, com todo o eletrodo inserido na solução. Para o pH em sal, repetiu-se todo o procedimento descrito anteriormente, adicionando 20 ml de solução de KCl (cloreto de potássio) ao invés de água destilada.

#### **5.5.2.1.2 Carbono orgânico**

O carbono orgânico total foi determinado pelo método de Walkley-Black através da oxidação dos compostos orgânicos do solo por dicromato de potássio em meio ácido e titulometria de complexação com solução de sulfato ferroso. Pesou-se uma amostra que variou de 5 a 0,1 grama de solo (quanto mais carbono tiver o solo, menor a quantidade de solo a ser utilizada; se as amostras de solo são oriundas de horizontes mais superficiais, pressupõe-se que elas terão mais carbono) que foram acondicionadas em frascos erlenmeyers de 250 ml. Em seguida, acrescentou-se 5 ml de solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1,25 mol L<sup>-1</sup> e 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Os frascos foram agitados manualmente e colocados em chapa de aquecimento até atingirem 150°C por um minuto com auxílio de um termômetro de mercúrio e cronômetro. Após esfriarem, com ajuda de uma proveta adicionou-se 50 ml de água destilada em cada erlenmeyer. Após se adicionou 3 gotas do indicador ferroin (complexo ortofenantrolina), e titulou-se com solução de FeSO<sub>4</sub> 0,25 mol L<sup>-1</sup> com auxílio de uma bureta digital, observando-se o ponto de viragem, no momento em que a cor muda de verde a vermelho com luz transmitida, anotando-se o volume gasto e calculando o teor de C.

### 5.5.2.1.3 Potássio e sódio

Os teores de K e Na trocáveis do solo foram determinados através do método do extrator duplo ácido (Mehlich-1). Para isso, pesou-se 3 gramas de solo em frascos tipo snap-cap de 100 ml, e foi adicionado 30 ml de solução P-A ( $\text{HCl}$  0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol  $\text{L}^{-1}$ ). Agitou-se por 5 minutos, e se deixou repousar por uma noite (15-18 horas). Pipetou-se uma alíquota de 6 ml do sobrenadante e transferiu-se para um copo de cafezinho, onde adicionou-se 10 ml de água destilada. As leituras foram realizadas utilizando-se fotômetro de chama. Para cada determinação, foi feita a leitura prévia da respectiva curva padrão para calibração do aparelho.

### 5.5.2.1.4 Cálcio, magnésio e alumínio trocável

Foram pesados 5 gramas de solo em frascos snap-cap, e adicionados 50 ml de solução extratora  $\text{KCl}$  P.A 1 mol  $\text{L}^{-1}$ . As amostras foram agitadas por 30 minutos e deixadas uma noite em repouso para decantar.

Para a determinação do Al trocável, foi retirado uma alíquota de 25 ml do sobrenadante para frascos tipo erlenmeyers, adicionado 3-4 gotas de fenolftaleína 2 % e realizada titulação de neutralização (ácido-base) com solução de  $\text{NaOH}$  0,0125 mol  $\text{L}^{-1}$  padronizada até o ponto de viragem do incolor para rosa usando uma bureta digital. Foi anotado o volume gasto e feito duas provas em branco, usando somente 10 ml da solução de  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ .

A determinação do Ca e Mg foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica. Para isso, após extração com sal neutro foi retirada uma alíquota do sobrenadante e diluída com água destilada, destes foi retirado 5 ml para copo descartável de cafezinho e adicionado 5 ml de solução de  $\text{SrCl}_2$  (cloreto de estrôncio) 0,3 % em  $\text{HCl}$  (ácido clorídrico) 0,2 mol  $\text{L}^{-1}$  e feita a leitura do Ca. Para o Mg foi retirado 5 ml do extrato anterior, adicionado 10 ml de água destilada e feita a leitura.

### 5.5.2.1.5 Acidez potencial ( $\text{H+Al}$ )

Para a determinação dos teores de  $\text{H+Al}$ , foi pesado uma amostra de 2,5 g de TFSA em frascos tipo snap-cap de 100 ml e adicionado como extrator 50 ml de uma solução de acetato de cálcio 0,5

mol L<sup>-1</sup> tamponada a pH 7. Após se agitou durante 30 minutos a 180 rpm e deixou-se em repouso durante uma noite (12-14 horas). Com uma pipeta automática retirou-se uma alíquota 20 ml que foi transferida para erlenmeyers de 50 ou 100 ml. Em seguida foi adicionado 3-4 gotas de fenolftaleína a 2 % titulando-se o extrato com solução de NaOH 0,02 mol L<sup>-1</sup> que foi padronizada com solução de KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub> (biftalato ácido de potássio) 0,005 mol L<sup>-1</sup>. Anotou-se o volume gasto até o ponto de viragem do incolor para rosa, usando uma bureta digital. Após foi feito duas provas em branco usando somente 20 ml da solução de acetato de cálcio, e realizado os cálculos.

#### 5.5.2.1.6 Outros parâmetros químicos

A soma de bases (S), o ΔpH, a capacidade de troca de cátions (CTC efetiva e CTC a pH7), a saturação por bases (V%), por alumínio (m%) e por sódio (Na%) foram calculadas de acordo com as seguintes expressões:

$$S = Ca + Mg + K + Na$$

$$\Delta pH = pH\ KCl - pH\ H_2O$$

$$CTC\ ef = S + Al$$

$$CTC\ pH7\ (T) = S + [H+Al]$$

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

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

$$Na\% = (Na / T) * 100$$

#### 5.5.2.2 Análises complementares

##### 5.5.2.2.1 Alumínio e ferro (ASTF)

Foi feita de acordo com a metodologia do ataque sulfúrico da terra fina proposta por EMBRAPA (1979) para extração dos teores de Al e Fe. A determinação consiste de pré-tratamento da amostra para a extração de Fe e Al, após contato com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (v/v), aquecendo até a

fervura sob-refluxo, com posterior resfriamento, diluição e filtração. No filtrado determinou-se o Fe e o Al, sendo todos quantificados através da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica utilizando-se de mistura ar-acetileno na leitura do Fe e de óxido nitroso-acetileno para o Al. Todos foram expressos na forma de óxidos.

### **5.5.2.2 Alumínio e ferro (oxalato de amônio)**

Utilizou-se o procedimento descrito em Schwertmann (1964), onde a amostra é agitada com uma solução ácida complexante de oxalato de amônio dissolvendo o Fe, Al e Si “ativos”, “de baixa cristalinidade” (~ amorfos). Foram pesados 0,8 g de TFSA transferindo para frascos de polietileno (tubo centrífuga) de 100 ml (incluindo 2 provas em branco como controle). Foi adicionado 40 ml da solução ácida de oxalato de amônio 0,2 mol L<sup>-1</sup> (pH 3) e agitou-se durante 4 horas no escuro. Após foi centrifugado a 2000 rpm durante 10 minutos, da qual foi retirada uma alíquota com posterior diluição onde determinou-se o Fe por EAA com chama de ar/acetileno e o Al por EAA com chama óxido nitroso/acetileno.

### **5.5.2.3 Ferro DCB**

Aplicou-se o procedimento descrito em Mehra & Jackson (1960) adaptado por van Reeuwijk (2002). A amostra é aquecida numa solução complexante tamponada de Citrato/Bicarbonato na qual ditionito de sódio sólido é acrescido como agente redutor. Para isso foi moída em almofariz de ágata aproximadamente 5 g de TFSA até fração < 0,25 mm; após pesou-se 4 g deste material e transferiu-se para tubos de centrífuga de 100 ml. Foi adicionado 45 ml da solução tampão CB (citrato de sódio 0,27 mol L<sup>-1</sup> e bicarbonato de sódio 0,11 mol L<sup>-1</sup>) e colocado em banho-maria a 75°C. Adicionou-se 0,33 g de ditionito de sódio agitando constantemente por 1 minuto e ocasionalmente durante os próximos 5 minutos, repetindo esta operação por mais 2 vezes até completar a adição de 1 g de ditionito. Depois foi adicionado 10 ml de solução de KCl saturada para facilitar a flocação durante a centrifugação, mantendo em banho-maria por mais 5 minutos. Após, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 15 minutos, transferindo-se o sobrenadante para balão volumétrico de 200 ml. Sobre o resíduo da amostra do tubo, foi adicionado mais 45 ml da solução tampão CB, repetindo as operações anteriores mais duas vezes (total de três

extrações). Após transferir o sobrenadante para o balão correspondente da primeira extração, completou-se o volume dos balões com água destilada. A alíquota do extrato foi utilizada para a quantificação do teor de Fe determinado por EAA calibrando-se o aparelho com a curva padrão usando chama de ar/acetileno.

#### **5.5.2.2.4 Análises elementares por FRX**

Foram realizadas análises dos teores totais dos elementos expressos na forma de óxidos através da técnica de Fluorescência de raios-X (FRX) nas frações TFSA, areia e argila 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 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  $\mu\text{m}$  e dispostas em um carrossel removível com capacidade de 10 amostras.

A determinação foi feita utilizando 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  $\mu\text{A}$ , com tubo de raios-X de material anodo (Rh – ródio), janela de berílio com 50  $\mu\text{m}$  de espessura e detector diodo Si-PIN com processamento dos dados por meio de um analisador multi-canal (MCA). O sistema utiliza um sistema de alimentação com gás hélio pressurizado e refrigeração a ar termoelétrica (Peltier).

A quantificação dos elementos foi feita a partir 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.

### 5.5.2.2.5 Relações moleculares

Foram calculadas as seguintes relações com os dados químicos complementares dos perfis:  $Al_s/Fe_s$ ;  $Al_o/Fe_o$ ;  $Fe_o/Fe_s$ ;  $Fe_d/Fe_s$  e  $Fe_o/Fe_d$ .

Onde:

$Al_s$  = alumínio (ASTF);  $Fe_s$  = ferro (ASTF);  $Al_o$  = alumínio oxalato;  $Fe_o$  = ferro oxalato;  $Fe_d$  = ferro DCB.

A relação entre o zircônio e o titânio foi calculada a partir dos resultados de FRX da fração areia, como um indicativo de descontinuidade litológica no perfil, pela seguinte expressão:

$$\text{Relação Zr/Ti} = (\% \text{ ZrO}_2 / \% \text{ TiO}_2)$$

Também foram determinados os índices  $Ki$  e  $Kr$  usados na avaliação do grau de intemperismo do solo permitindo indicar quais tipos de minerais de argila e/ou óxi-hidróxidos de Fe e Al, predominam nos horizontes dos perfis nas litosequências, onde os valores obtidos foram calculados a partir dos resultados de FRX da fração argila pela seguinte razão molecular:

$$Ki_{FRX} = 1,7 * (\% \text{ SiO}_2 / \% \text{ Al}_2\text{O}_3)$$

$$Kr_{FRX} = 1,7 * \{ \% \text{ SiO}_2 / [\% \text{ Al}_2\text{O}_3 + (0,6325 * \% \text{ Fe}_2\text{O}_3)] \}$$

### 5.5.3 Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica da fração argila foi determinada pela técnica de DRX, que se baseia na posição e intensidades de certos máximos de difração que são específicos de cada tipo de mineral. Para isso as amostras foram analisadas tanto na forma de pó como na de lâminas de argila orientada, utilizando-se para este propósito um difratômetro de raios X Philips automatizado, modelo PW 3710, dotado de tubo de cobre, goniômetro vertical com ângulo de compensação de  $\theta/2\theta$ , e monocromador de grafite, com variação angular de 4 a  $40^\circ 2\theta$ . A velocidade angular foi de  $0,02^\circ 2\theta/\text{s}$ , em modo por passos (step), com tempo de 1 segundo de leitura por passo.

Por meio de ferramentas dos programas APD e X'PERT HIGHSCORE PLUS, foram obtidos diversos parâmetros que

permitiram identificar e semi-quantificar os argilominerais. Os resultados foram interpretados baseando-se no espaçamento interplanar (d) e no comportamento dos reflexos de difração conforme Brindley & Brown (1980), Whittig & Allardice (1986) e Resende et al. (2005).

### 5.5.3.1 Mineralogia básica (tratamentos químicos e térmicos)

As amostras da fração argila foram submetidas a tratamento químico com saturação de uma parte da amostra com solução de potássio ( $KCl$  1 mol  $L^{-1}$ ), outra com solução de magnésio ( $MgCl_2$  0,5 mol  $L^{-1}$ ). Para isso, foi pipetado um volume da suspensão de argila contendo aproximadamente 2 g de argila transferindo para tubos de centrífuga de 50 ml. Após adicionou-se 25-30 ml da respectiva solução agitando manualmente ou com auxílio de vortex, deixado em repouso por 2 horas e depois centrifugando a 2500 rpm por 10 minutos eliminando o sobrenadante, repetindo-se esta operação por mais duas vezes. A remoção do excesso de sais foi realizada empregando álcool etílico 50 % (v/v) e água destilada em repetidas lavagens e centrifugações (3x).

Da parte saturada com K foram montadas lâminas de argila orientada pelo método do esfregaço que após secarem ao ar foram submetidas a tratamento térmico, sendo aquecidas na mufla com temperaturas de 100, 350 e 550°C.

Também foi feita a impregnação das lâminas de argila orientada das amostras saturadas com magnésio por solvatação com solução de etileno glicol (vapor de etileno glicol puro em frasco dessecador acondicionado em estufa mantida a 60°C por 24 horas).

### 5.5.3.2 Mineralogia dos óxidos de ferro

Foi empregada a metodologia para a concentração de goethita e hematita com  $NaOH$  mol  $L^{-1}$  proposta por Kampf & Schwertmann (1982). Para isso foi pesado 1 g de amostra da fração argila e colocada em becker de teflon. Após adicionou-se 100 ml de  $NaOH$  5 mol  $L^{-1}$  (proporção amostra/solução 1:100) agitando rotativamente até completa suspensão da amostra. O Becker foi tapado com vidro relógio e colocado em banho de areia (+/-150°C) deixando ferver por 60 minutos. Deixou-se esfriar, e decantar por sedimentação no becker por 1 dia / 12 horas, depois foi eliminado o sobrenadante límpido. Transferiu-se para tubo de centrífuga, lavando 1x com  $NaOH$  5 mol  $L^{-1}$  (+/- 50 ml) em

temperatura ambiente, centrifugado a +/- 1400 rpm/10 minutos e depois eliminado o sobrenadante. Na amostra foi adicionado aproximadamente 50 ml de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> para a dissolução da sodalita, agitando-se rotativamente com vortex, deixando algum tempo em repouso e agitando periodicamente (+/- 60 minutos) sendo centrifugada logo em seguida (repetiu-se este procedimento por mais uma vez). Depois a amostra foi suspensa, lavada com álcool 50 % (2-3x) e centrifugada. Após a amostra foi seca na estufa a 110°C por 12 horas, moída em almofariz de ágata e analisada por DRX na forma de pó.

### 5.5.3.3 Parâmetros cristalográficos

A dimensão média do cristalito (DMC) perpendicular a um determinado plano de difração (índice  $hkl = 001$ ) foi calculada aplicando a Equação de Scherrer:

$$DMC (hkl) = K \cdot \lambda \cdot 57,3 / (B - b) \cos \theta$$

Onde:

$\lambda$  = comprimento de onda da radiação (tubo) utilizada;

$K$  = constante de proporcionalidade (0,9 para sistemas cúbicos);

$(B - b)$  = LMH (largura a meia altura) corrigida para o efeito instrumental;

$B$  = LMH do mineral considerado (caulinita);

$b$  = LMH de um mineral padrão (quartzo);

57,3 = conversão de ângulo para radiano;

$\theta$  = ângulo de difração no plano considerado (obtido da divisão do ângulo  $2\theta$  naquela posição por 2).

Por meio do cálculo da DMC no plano (001) foi possível calcular o número médio de camadas do argilomineral (NC) pela seguinte expressão:

$$NMC = DMC (001) / d (001)$$

### 5.5.4 Testes para identificação de plintita

Amostras de alguns perfis de solos que apresentaram horizontes com mosqueados avermelhados foram selecionadas e submetidas a ciclos alternados de umedecimento e secagem em ambiente protegido para diagnosticar a presença de plintita segundo a metodologia proposta

por Jacomine et al. (2010). Foram analisadas as seguintes amostras: P2T1-2BC; P3T1-Btf<sub>1</sub>; P3T1-Btf<sub>2</sub>; P3T2-2Btf<sub>2</sub>; P3T2-Btf<sub>3</sub> e P1T4-BC (Figuras 71, 72 e 73). Para realização do teste as amostras foram acondicionadas dentro de recipientes plásticos para serem submetidas à secagem ao sol. Iniciou-se o primeiro ciclo com a saturação das amostras com água para logo em seguida proceder-se à secagem. Assim que as amostras se tornaram secas, estava concluído o primeiro ciclo. Este procedimento foi repetido até o final do quinto e último ciclo. Os cinco ciclos foram conduzidos num período aproximado de oito meses. Durante o teste as amostras foram fotografadas sempre no início e no final de cada ciclo para fins comparativos visando à identificação da plintita.

## 5.6 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Os perfis foram classificados taxonomicamente até o 4º nível categórico (subgrupos) de acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2013).

## 5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizada a análise estatística multivariada de atributos físicos e químicos dos perfis de solo, onde se utilizou as técnicas de análise de fatores (AF) e análise de agrupamentos (AG). Os dados foram padronizados (média zero e variância unitária) para evitar a influência das unidades de medida nas análises. Na análise de agrupamentos, para medir-se a similaridade utilizou-se a distância euclidiana e para a formação dos grupos adotou-se o método aglomerativo de Ward. As análises foram realizadas com o programa Statistica 8 (STATSOFT, 2007).



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA GERAL (QUÍMICA BÁSICA, GRANULOMETRIA E MORFOLOGIA DO SOLO)

As classes de solos identificadas na área de estudo estão discutidas a seguir. As descrições gerais e morfológicas dos perfis encontram-se listadas nos apêndices A ao I. Os laudos com os resultados das análises químicas e físicas básicas encontram-se nas tabelas 1 a 18.

#### 6.1.1 Perfil P1T1-PVd

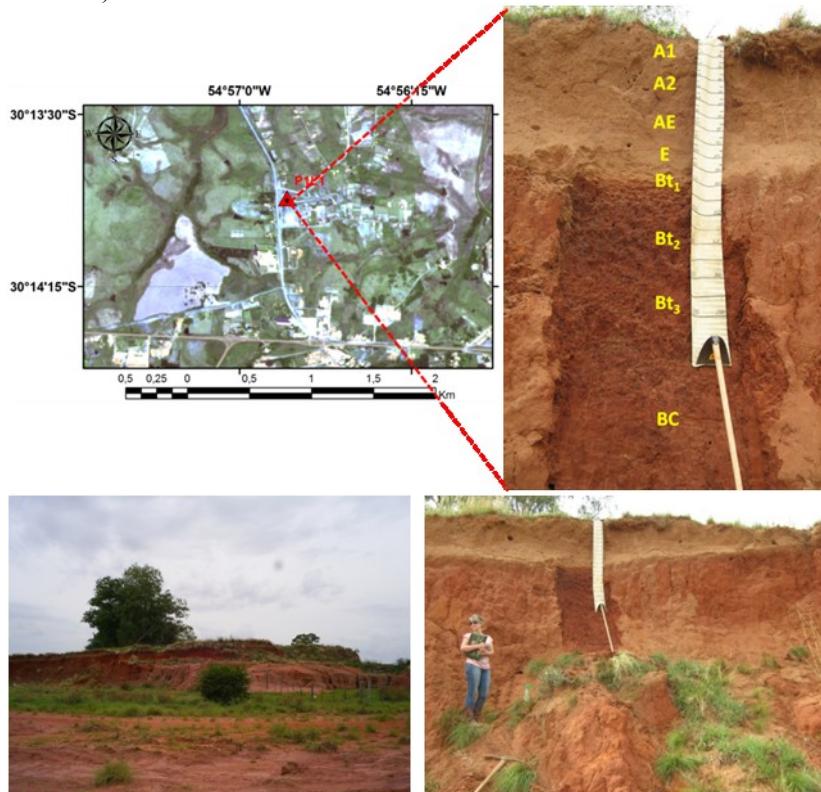
O perfil P1T1-PVd foi classificado como **ARGISSOLO VERMELHO Distrófico espessarênico, A moderado, Tb, textura arenosamédia/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado** (Figura 13).

O perfil situa-se a 140 m de altitude (GPS), em topo de elevação com 5 % de declividade e cobertura de gramíneas, sendo acentuadamente drenado, com relevo local e regional suave ondulado, desenvolvido a partir de arenitos da Formação Pirambóia com possível contribuição alóctone arenosa.

No horizonte superficial, este solo apresenta apenas 4,2 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico no A1 e 1,7 g kg<sup>-1</sup> no A2. A espessura do *solum* é de 288 cm, sendo a espessura do horizonte A > 25 cm (A1 de 0 a 23 cm, A2 de 23-70 e do AE de 70 a 90/95 cm). Apresenta cor úmida com matiz de 7,5YR com valor e croma de 3/4 no A1, 3/3 no A2 (bruno-escuro) e 4/4 no A3 (bruno). Em relação à estrutura, esta apresentou aspecto de maciça que se desfez em uma estrutura com grau de desenvolvimento fraco, sendo do tipo blocos angulares e subangulares de tamanho pequeno e médio. O teor de argila é de 80 g kg<sup>-1</sup> no A1 e A2 e de 70 e 50 g kg<sup>-1</sup> no AE e E respectivamente, com baixo grau de floculação (25-40 %) e saturação por bases < 65 %. Apresentou textura arenosa desde a superfície do solo até uma profundidade superior a 100 cm.

O horizonte diagnóstico de subsuperfície (B textural), apresentou fase de reação do solo com ΔpH negativo, indicando predomínio de cargas negativas, com pH em H<sub>2</sub>O variando de 4,7 a 5,1. A textura do solo nos horizontes Bt1, Bt3 e BC é média, e argilosa no Bt2, com elevado grau de floculação (100 %) no Bt3 e BC, indicando uma alta estabilidade de agregados.

Figura 13 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T1-PVd: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico espessarênico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

A relação textural é bastante alta ( $RT = 4,8$ ), havendo um forte incremento de argila do horizonte A para o B. Além disso, o solo apresentou mudança textural abrupta (MTA) na transição entre o E e o Bt1. Apresentou argila de atividade baixa ( $< 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e relação silte/argila  $< 0,6-0,7$ . A estrutura do horizonte B varia de moderada média e pequena blocos subangulares, e forte média blocos subangulares e angulares. Há presença de cerosidade em quantidade e grau de expressão pouca e fraca no Bt1 e abundante e forte no Bt2 e Bt3, representada por deposições similares a argilans+humans ou argilans+ferrans.

O horizonte subsuperficial apresentou saturação por bases inferior a 50 % (caráter distrófico), mas não apresentou caráter alumínico nem alítico. O teor de  $\text{Al}^{+3}$  foi baixo ( $< 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), mas a saturação por alumínio (m%) foi maior que 50 %. O teor de ferro do ataque sulfúrico foi de apenas 38,3 g  $\text{kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hipoférrico). A cor dominante no B foi vermelho-escuro (2,5YR 3/6 – úmida).

Houve a ocorrência de horizonte genético E, e ausência de superfícies de fricção (slickensides), contato lítico e carbonatos. O solo apresentou fendilhamentos verticais ao longo do B distanciados de 30/50 cm e presença de cascalhos representados por fragmentos de arenitos ferrificados (ou concreções ferro-arenosas) no contato E/Bt1. No A2 ocorrem lamelas de argila avermelhada disseminadas por todo o horizonte, às vezes como bolsões de argila. Há fragmentos de 0,5-2 até 5 cm do Cr com cor mais arroxeadas disseminadas no C/Cr e algumas concreções de ferro arredondadas ou nodulares disseminadas no Bt2 e Bt3.

Tabela 1 – Atributos físicos do perfil P1T1-PVd.

Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa H <sub>2</sub> O	GF	Relação silte argila
Símbolo	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila	.....(g kg <sup>-1</sup> ).....	(%)	
A1	0-23	852	68	80	60	25	0,85
A2	23-70	834	86	80	50	38	1,08
AE	70-90/95	857	73	70	50	29	1,05
E	90/95-110	837	113	50	30	40	2,26
Bt1	110-120	643	87	270	140	48	0,32
Bt2	120-177	500	70	430	80	81	0,16
Bt3	177-244	611	79	310	0	100	0,26
BC	244-288	743	47	210	0	100	0,22
C/Cr	288-320+	744	46	210	0	100	0,22
Cr	430-460	876	24	100	0	100	0,24
Bt2 (cerosidade)	-	480	60	460	-	-	0,13
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....				
A1	561,1	290,7	20,8	35,7	11,7	21,6	58,4
A2	517,2	316,6	27,2	44,0	15,0	27,0	53,0
AE	558,0	298,8	23,9	36,9	12,4	28,4	41,6
E	552,3	284,7	41,5	54,7	16,8	15,5	34,5
Bt1	451,1	192,3	35,2	42,3	9,1	122,0	148,0
Bt2	349,6	150,6	28,0	28,8	13,1	175,4	254,6
Bt3	367,6	243,0	33,3	32,8	13,3	141,1	169,0
BC	378,9	364,1	20,3	20,2	6,5	98,9	111,1
C/Cr	394,5	349,3	21,9	18,6	5,7	90,9	119,1
Cr	378,6	497,2	12,1	9,3	2,8	36,3	63,7
Bt2 (cerosid)	-	-	-	-	-	-	-

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 2 – Atributos químicos do perfil P1T1-PVd.

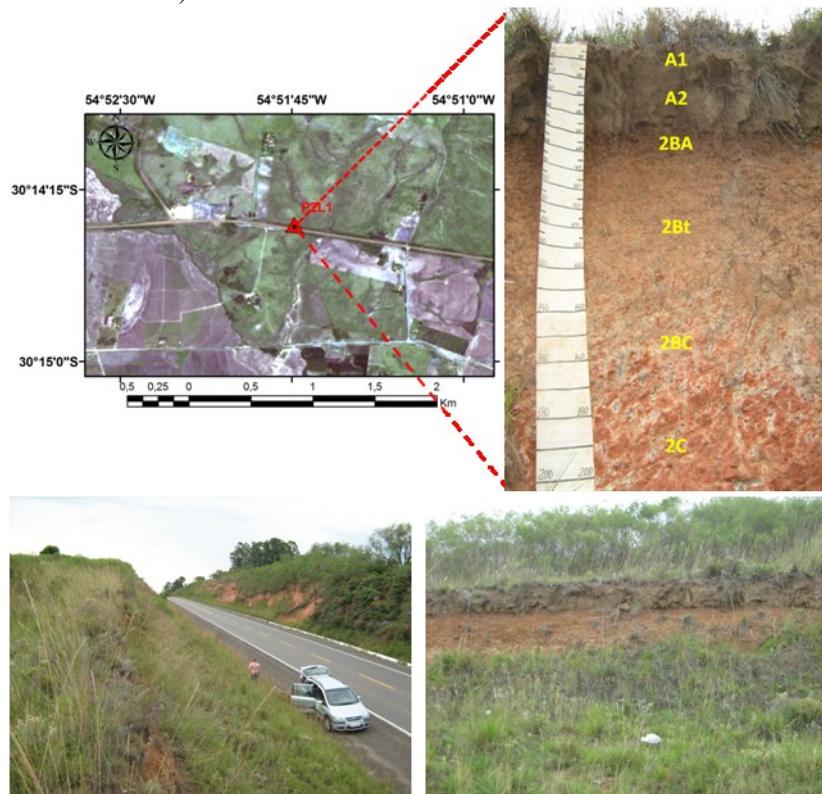
Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH						
A1	5,53	4,47	-1,07	4,2	0,75	0,58	0,06	0,03	1,42
A2	4,67	4,11	-0,56	1,7	0,37	0,40	0,03	0,05	0,85
AE	4,88	3,92	-0,96	1,6	0,17	0,21	0,02	0,03	0,42
E	5,07	3,93	-1,15	0,9	0,06	0,16	0,01	0,03	0,26
Bt1	4,71	3,75	-0,96	3,9	0,52	0,42	0,04	0,03	1,01
Bt2	4,95	3,75	-1,20	3,7	1,45	1,30	0,05	0,04	2,83
Bt3	5,11	3,82	-1,29	1,9	0,94	1,27	0,02	0,03	2,26
BC	4,93	3,92	-1,01	2,3	0,44	0,81	0,02	0,02	1,28
C/Cr	5,11	3,89	-1,22	2,2	0,24	0,75	0,01	0,02	1,02
Cr	4,87	4,03	-0,84	0,2	0,28	0,74	0,00	0,01	1,04
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na		
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				.....(%).....				
A1	0,16	1,21	1,57	2,63	54	10	2		
A2	0,58	1,53	1,43	2,38	36	41	3		
AE	0,60	0,92	1,02	1,34	31	59	3		
E	0,46	0,61	0,72	0,87	30	64	4		
Bt1	1,95	3,03	2,96	4,04	25	66	1		
Bt2	2,32	3,52	5,15	6,35	45	45	1		
Bt3	2,24	2,68	4,50	4,94	46	50	1		
BC	1,72	2,10	3,00	3,38	38	57	1		
C/Cr	1,59	1,96	2,61	2,98	34	61	1		
Cr	0,62	0,40	1,66	1,44	72	37	1		

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.2 Perfil P2T1-PBACal

O perfil P2T1-PBACal foi classificado como **ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico, A moderado, Ta, textura média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado** (Figura 14).

Figura 14 – Localização geográfica e vista geral do perfil P2T1-PBACal: ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O solo é desenvolvido a partir de uma litologia constituída de arenitos da Formação Pirambóia com contribuição de colúvio de material arenoso, e está situado em terço médio de encosta em fase de

relevo ondulado com declive de 10 %, altitude de 125 m (GPS), apresenta drenagem de moderadamente a imperfeitamente drenado, e erosão não aparente.

Conforme os dados do perfil constantes na Tabela 2, vemos que o horizonte superficial apresenta teor de carbono orgânico muito inferior a 80 g kg<sup>-1</sup> (aproximadamente 7 g kg<sup>-1</sup>), entretanto  $\geq 6$  g kg<sup>-1</sup>. Quanto à espessura do horizonte A, o perfil P2T1-PBACal possui 42 cm (A1+A2) e profundidade do solum (A+B) de 175 cm. A estrutura é fraca pequena granular e em grão simples no A1, e aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos subangulares e angulares no A2. O teor médio de argila no A foi de 140 g kg<sup>-1</sup> e a saturação por bases foi inferior a 65 %. Apresentou cor seca com valor  $\leq 5$ , e cor úmida com valor/croma  $\leq 3$  em todos os sub-horizontes do A, com cores variando desde bruno-acinzentado muito escuro no A1 e bruno muito escuro no A2.

O horizonte de subsuperfície apresentou  $\Delta$ pH negativo, com pH em água variando de 4,9 a 5,4. A textura é argilosa no 2BA e média no 2Bt e 2BC, com argila de atividade alta (Ta) em todos os sub-horizontes, mas com saturação por bases baixa (natureza distrófica) na maior parte do horizonte B (2BA+2Bt) e eutrófico no 2BC (V% = 68). A relação textural (RT) foi de 2,1, havendo incremento de argila para a distinção de horizonte B textural, além da ocorrência de mudança textural abrupta (MTA). A relação silte/argila foi  $< 0,7$  apresentando uma relação muito baixa, de 0,38 em média. Em relação ao tipo e grau de estrutura do horizonte B, o 2BA apresentou estrutura moderada de tamanho médio e pequena em blocos subangulares; no 2Bt é moderada grande e média blocos subangulares e angulares; e, fraca grande prismática no 2BC. A cor predominante foi bruno-escuro no topo do B (7,5YR 3/2) e bruno no 2Bt e 2BC, típico da subordens dos Argissolos Bruno-Acinzentados. Não foi constatado caráter alumínico, mas sim alítico por apresentar atividade da argila  $\geq 20$  cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de argila, m% alta ( $> 50$ ) e V%  $< 50$ , além de quantidade de Al<sup>+3</sup> superior a 4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Apresenta altos teores de Mg e médios de Ca apesar de ser distrófico. Já o teor total de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi em média de 21 g kg<sup>-1</sup> (hipoférrico). Foi registrada a presença de plintita, mas em quantidade não suficiente e em posição não diagnóstica para caracterizar horizonte B plíntico, mas sim para caráter plíntico. Não houve nenhum indicativo da presença de superfícies de fricção (slickensides), cerosidade, contato lítico, nem a presença de horizonte genético E, mas há evidência de descontinuidade litológica. Ocorre a presença de mosqueados no horizonte B com intensa presença de zonas de depleção de ferro no 2BC, representadas por

manchas cinzentas entremeadas a núcleos avermelhados (plintita) com tonalidades mais vivas do que a cor avermelhada do 2C, indicando possível concentração de ferro advindo das áreas cinzentas adjacentes. A plintita ou material remanescente tem uma auréola brunado-amarelada envolvendo-a. Ocorre intenso fendilhamento no 2Bt e 2BC, e presença de uma linha de cascalhos de dimensões centimétricas a milimétricas no topo do 2BA, constituídas de fragmentos de quartzito e calcedônia. O horizonte 2C preserva certo paralelismo das camadas do arenito. Foi caracterizado o horizonte A como moderado, e o horizonte subsuperficial foi classificado como B textural em função de suas propriedades intrínsecas atenderem aos critérios exigidos.

Tabela 3 – Atributos físicos do perfil P2T1-PBACal.

Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa H <sub>2</sub> O	GF	Relação silte argila
Símbolo	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila	.....(g kg <sup>-1</sup> ).....	(%)	
A1	0-20	797	83	120	20	83	0,69
A2	20-42	762	78	160	60	63	0,49
2BA	42-63	474	136	390	130	67	0,35
2Bt	63-125/140	598	132	270	100	63	0,49
2BC	125/140-170/180	713	67	220	60	73	0,31
2C	170/180-220+	717	173	110	0	100	1,57
R	-	780	110	110	0	100	1,00
2BC (M.aver)	-	710	105	185	-	-	0,58
2BC (M.acinz)	-	640	100	260	-	-	0,38
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....				
A1	642,1	155,1	25,2	41,0	16,6	38,9	81,1
A2	634,8	127,0	26,0	37,0	15,2	54,6	105,4
2BA	392,7	81,3	51,7	55,8	28,6	111,5	278,5
2Bt	499,8	98,0	43,9	55,3	33,1	69,4	200,6
2BC	581,8	130,8	17,4	31,5	18,5	54,1	165,9
2C	655,1	61,7	27,0	74,0	72,2	30,1	79,9
R	579,3	201,1	22,2	49,5	37,8	28,3	81,7
2BC (M.aver)	-	-	-	-	-	-	-
2BC (M.acin)	-	-	-	-	-	-	-

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser; M.aver = manchas avermelhadas; M.acinz = manchas acinzentadas.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 4 – Atributos químicos do perfil P2T1-PBACal.

Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> 0	KCl	ΔpH						
A1	4,76	3,95	-0,82	7,8	0,34	0,89	0,07	0,03	1,33
A2	4,86	4,01	-0,86	7,2	0,40	0,83	0,05	0,03	1,31
2BA	4,96	3,70	-1,26	10,0	1,79	2,39	0,06	0,03	4,27
2Bt	5,25	3,79	-1,47	3,9	2,70	3,77	0,06	0,03	6,55
2BC	5,44	3,88	-1,57	1,6	3,71	6,27	0,03	0,03	10,04
2C	5,75	3,89	-1,86	0,9	5,03	7,53	0,02	0,03	12,61
R	5,35	3,83	-1,53	0,3	4,42	6,60	0,05	0,03	11,11

Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....	.....(%).....
								.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....	.....(%).....
A1	1,70	3,04	3,04	4,37	30	56	1		
A2	2,61	4,05	3,93	5,36	24	67	1		
2BA	8,63	9,19	12,90	13,46	32	67	<1		
2Bt	9,62	8,91	16,18	15,47	42	59	<1		
2BC	5,71	4,71	15,75	14,75	68	36	<1		
2C	3,91	3,33	16,51	15,94	79	24	<1		
R	1,71	1,45	12,81	12,56	88	13	<1		

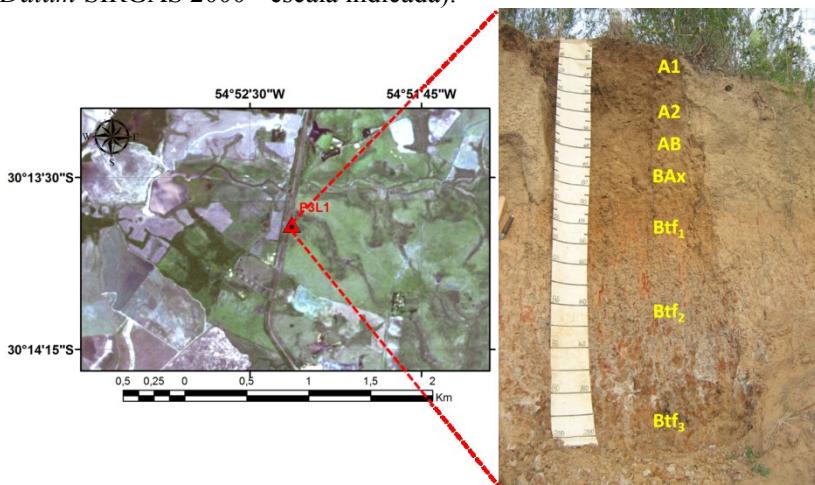
Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.3 Perfil P3T1-PAal

O perfil P3T1-PAal foi classificado como **ARGISSOLO AMARELO Alítico plintossólico, A moderado, Tb, textura média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado** (Figura 15).

O perfil situa-se em terço inferior em posição de surgência de água, em encostas direcionadas a várzea do Rio Santa Maria, a 132 m de altitude (GPS), em fase de relevo ondulado, apresentando profundidade do “solum” (A1+Btf<sub>3</sub>) de mais de 200 cm e drenagem imperfeita com erosão em sulcos moderada. O solo é produto da alteração do arenito da Formação Pirambóia com provável contribuição de colúvios superficiais.

Figura 15 – Localização geográfica e vista geral do perfil P3T1-PAal: ARGISSOLO AMARELO Alítico plintossólico (Imagen RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O horizonte superficial não atendeu aos critérios exigidos para hístico, húmico, chernozêmico, proeminente e fraco, sendo enquadrado como A moderado por apresentar dentre outras, as seguintes características: espessura > 25 cm (A1+A2+AB = 66 cm), cor úmida de 10YR 3/3 no A1, 10YR 3/4 no A2 e 10YR 4/4 no AB (valor e croma > 3), e cor seca com valor ≤ 5 (bruno no A1 e bruno-amarelado no A2 e

AB). Teor de carbono de 6 g kg<sup>-1</sup> no A1 e de 4 g kg<sup>-1</sup> no A2 e AB (< 6 g kg<sup>-1</sup> em média) e V < 65 %. Estrutura com aspecto de maciça em todo horizonte A, mas que se desfaz em fraca pequena e média blocos angulares e grão simples no A1; fraca média e pequena no A2; e, fraca média e grande no AB, sendo em ambos do tipo em blocos angulares; e teores de argila crescentes partindo de 110 g kg<sup>-1</sup> no A1 a 200 g kg<sup>-1</sup> no AB.

O horizonte subsuperficial foi caracterizado como B textural, com relação textural suficiente para caracterizar incremento de argila em profundidade (RT = 2,2). Entretanto, o teor de argila na transição do AB para o BAx não foi significativo a ponto de ocorrer mudança textural abrupta. Apresentou argila de atividade baixa (Tb), mas > 20 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, e relação silte/argila < 0,6. Em relação ao grupamento textural, os horizontes BAx e Btf<sub>2</sub> são de textura média, enquanto que a do Btf<sub>1</sub> é argilosa e a do Btf<sub>3</sub> é de média a argilosa, com grau de floculação maior que 50 % em todo o B. Apresenta fase de reação ácida, e caráter distrófico na maior parte do B com V = 66 % no Btf<sub>3</sub>. Devido ao valor médio de alumínio trocável, conjugado com a atividade da argila e a elevada m%, identificou-se o caráter alítico na maior parte do horizonte B. A cor/matiz dominante foi 7,5YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, com teor de ferro total expresso em óxido em torno de 30 g kg<sup>-1</sup> (hipoférrego). A estrutura no BA é de grau fraco a moderada de tamanho médio do tipo blocos subangulares e angulares, mas que apresentou aspecto de caráter dúrico devido à forte cimentação no campo. Nos horizontes subjacentes (Bt<sub>r</sub>) há o predomínio de estrutura do tipo prismática de tamanho grande e de grau forte.

Nota-se a ausência de horizonte E, slickensides, contato lítico, descontinuidade litológica, carbonatos e de cerosidade. Observa-se pequena quantidade de cascalhos com seixos arredondados de quartzo (ou quartzito) no AB e BA. Fragmentos de calcedônia e quartzitos milimétricos e centimétricos disseminados no B. No Btf<sub>3</sub> há presença de deposições de óxidos de Mn recobrindo as faces horizontais e verticais de alguns agregados prismáticos. Há intensa quantidade de mosqueados e/ou plintita proeminentes e distintos nos horizontes Btf<sub>2</sub> e Btf<sub>3</sub>, de cor avermelhada entremeada por manchas cinzentas gleizadas, caracterizando o caráter plíntico neste solo. No Btf<sub>3</sub> além de áreas gleizadas, ocorrem manchas de material mais alterado de cor esbranquiçada mais arenosa, indicativos de possível ferrólise. Na base do perfil, foram constatadas grandes quantidades de nódulos irregulares de petroplintita.

Tabela 5 – Atributos físicos do perfil P3T1-PAal.

Símbolo	Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa	GF	Relação silte argila
	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila	H <sub>2</sub> O	(%)		
A1	0-28	801	89	110	40	64	0,81	
A2	28-50	609	261	130	90	31	2,01	
AB	50-66	680	120	200	80	60	0,60	
BAx	66-82	602	148	250	120	52	0,59	
Btf <sub>1</sub>	82-115/125	477	163	360	140	61	0,45	
Btf <sub>2</sub>	115/125-170/185	505	175	320	140	56	0,55	
Btf <sub>3</sub>	170/185-200+	482	168	350	40	89	0,48	
R	-	818	12	170	130	24	0,07	
Btf <sub>3</sub> (M.aver)	-	465	150	385	-	-	0,4	
Btf <sub>3</sub> (M.acinz)	-	490	125	385	-	-	0,3	
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa	
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....					
A1	622,7	178,3	24,0	45,4	19,6	35,9	74,1	
A2	470,2	138,6	77,6	131,1	52,5	50,3	79,7	
AB	550,2	129,4	34,6	53,5	32,4	80,8	119,2	
BAx	476,4	125,4	41,5	62,5	44,2	93,8	156,3	
Btf <sub>1</sub>	379,6	97,8	57,9	67,6	37,1	121,7	238,3	
Btf <sub>2</sub>	399,2	105,8	69,0	74,2	31,9	114,2	205,8	
Btf <sub>3</sub>	372,6	109,0	66,3	71,4	30,6	117,6	232,4	
R	442,0	375,6	4,6	5,8	1,9	108,1	61,9	
Btf <sub>3</sub> (M.aver)	-	-	-	-	-	-	-	
Btf <sub>3</sub> (M.acin)	-	-	-	-	-	-	-	

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser; M.aver = manchas avermelhadas; M.acin = manchas acinzentadas.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 6 – Atributos químicos do perfil P3T1-PAal.

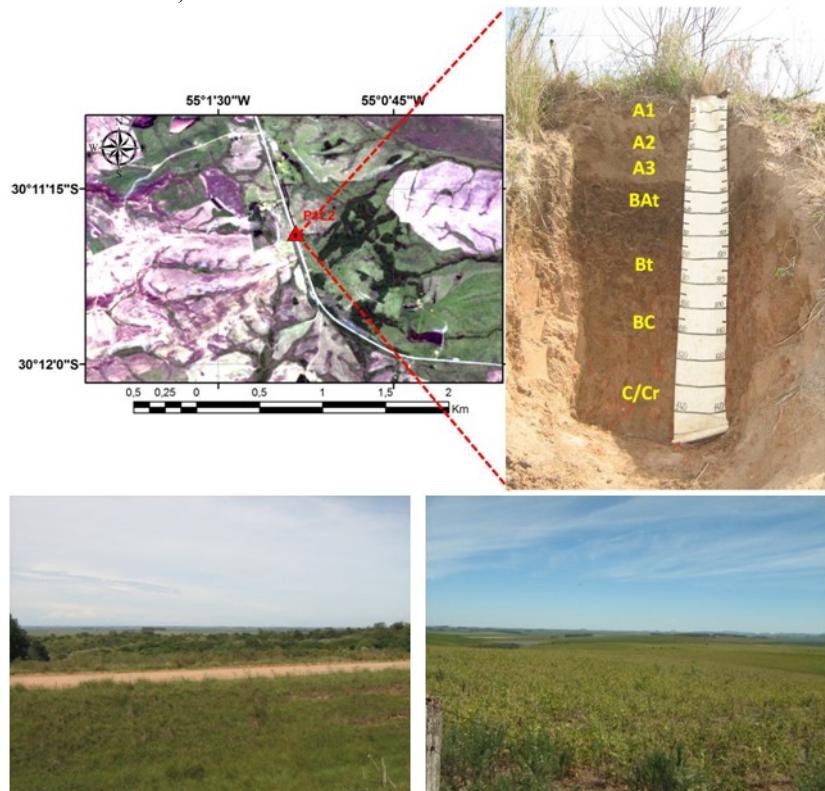
Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> 0	KCl	ΔpH		.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				
A1	4,96	3,99	-0,97	6,6	0,41	0,98	0,02	0,02	1,42
A2	4,89	3,95	-0,94	4,5	0,23	0,34	0,02	0,02	0,61
AB	4,88	3,77	-1,11	4,3	0,45	0,36	0,02	0,02	0,84
BAx	5,01	3,81	-1,20	5,6	0,79	0,48	0,01	0,02	1,30
Btf <sub>1</sub>	5,04	3,73	-1,31	4,7	1,04	0,80	0,07	0,04	1,94
Btf <sub>2</sub>	5,29	3,83	-1,46	2,6	1,63	1,41	0,06	0,04	3,14
Btf <sub>3</sub>	5,34	3,96	-1,38	3,1	3,13	2,46	0,06	0,05	5,70
R	5,96	4,35	-1,61	0,5	2,59	1,51	0,04	0,06	4,20
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na		
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				.....(%).....				
A1	0,66	1,48	2,09	2,91	49	32	1		
A2	1,62	2,45	2,22	3,06	20	73	1		
AB	2,46	3,06	3,30	3,90	21	75	1		
BAx	3,29	4,26	4,60	5,56	23	72	<1		
Btf <sub>1</sub>	5,55	5,98	7,50	7,92	25	74	1		
Btf <sub>2</sub>	4,56	4,85	7,70	8,00	39	59	1		
Btf <sub>3</sub>	2,33	2,92	8,04	8,62	66	29	1		
R	0,07	0,20	4,27	4,40	95	2	1		

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.4 Perfil P1T2-PBACal

O perfil P1T2-PBACal foi classificado como **ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico, arênicico, A proeminente, Ta, textura arenosa/média-argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado** (Figura 16).

Figura 16 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T2-PBACal: ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico e da paisagem de ocorrência (Imagem RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O perfil é produto da alteração de arenitos e siltitos da Formação Sanga-do-Cabral, e situa-se em topo de elevação a 172 m de

altitude (GPS), em relevo ondulado com grau de declive de 10 %, sendo moderadamente drenado.

A profundidade do solum (A1 ao BC) é de 115 cm, com espessura total de 51 cm no horizonte A e transição plana e gradual ou clara entre os horizontes. O teor médio de carbono orgânico no horizonte superficial é de 6 g kg<sup>-1</sup> e a saturação por bases é inferior a 65 %. O solo apresentou cor seca com valor menor ou igual a 5, e cor úmida com valor/croma menor ou igual a 3 em todos os sub-horizontes do A. No que se refere ao grupamento textural, em função dos teores médios de areia e argila, este solo apresenta textura arenosa desde a superfície até no mínimo 50 cm de profundidade (arênico). Em relação à estrutura, esta apresentou grau fraco de desenvolvimento, sendo do tipo blocos subangulares e grão simples. A consistência seca variou de solta a macia e a úmida de muito friável e friável. Ficou caracterizado o horizonte A do solo como proeminente devido as suas propriedades intrínsecas atenderem aos critérios exigidos para tal.

O solo no horizonte subsuperficial apresentou argila de atividade alta (Ta) no BAt e BC, e argila de atividade baixa (Tb) no Bt, mas apresentou saturação por bases baixa em todos os sub-horizontes evidenciando a natureza distrófica deste solo. A relação textural foi de 3,2 retratando um alto gradiente textural, atendendo o critério para B textural. Além disso, houve um considerável aumento no teor de argila do A3 para o BAt, indicando mudança textural abrupta. A classe textural é média no BAt e BC, e argilosa no Bt. Todos possuem baixo grau de flocação da argila e relação silte/argila  $\leq 0,3$ . Apresentou fase de reação ácida com elevadas quantidades de Al trocável e alta m%, baixos teores de Ca e Mg e baixa Na%. Foi constatado caráter alítico devido ao fato de ter apresentado atividade da argila  $> 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  conjugado com Al  $> 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

Há a presença de mosqueados no Bt e BC e de variegados no C/Cr e R. O teor de ferro total pelo ataque sulfúrico da terra fina foi menor que 8 % (hipoférrego), e não houve indicativo da presença e ocorrência de superfícies de fricção (“slickensides”), cerosidade, plintita, horizonte E, contato lítico, descontinuidade litológica, carbonatos e concreções. No Bt ocorre expressivo capeamento por superfícies foscas disseminadas em algumas faces dos agregados. No interior dos agregados, muitos canais são preenchidos com material escuro, contrastando com as cores brunas da matriz. Ocorrem manchas de alteração plano-estratificadas no R.

Tabela 7 – Atributos físicos do perfil P1T2-PBACal.

Símbolo	Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa H <sub>2</sub> O	GF (%)	Relação silte argila
	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila				
A1	0-18	845	75	80	40	50	0,93	
A2	18-34	833	77	90	60	33	0,85	
A3	34-51	764	96	140	80	43	0,68	
BAt	51-65	597	93	310	190	39	0,30	
Bt	65-96	565	65	370	260	30	0,17	
BC	96-115	681	59	260	200	23	0,23	
C/Cr	115-145+	732	38	230	190	17	0,16	
R	-	849	21	130	80	38	0,16	
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa	
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....					
A1	640,8	204,4	20,0	35,2	19,5	26,1	53,9	
A2	668,6	164,6	23,0	34,7	19,0	28,4	61,6	
A3	612,6	151,6	35,4	46,6	13,9	53,2	86,8	
BAt	479,2	118,2	32,8	39,5	20,3	109,7	200,3	
Bt	436,7	128,7	31,8	26,0	6,8	120,6	249,4	
BC	503,6	177,8	31,4	21,2	6,0	85,5	174,5	
C/Cr	416,7	315,5	19,2	14,6	4,0	84,0	146,1	
R	428,8	420,4	7,7	8,8	4,3	38,9	91,1	

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 8 – Atributos químicos do perfil P1T2-PBACal.

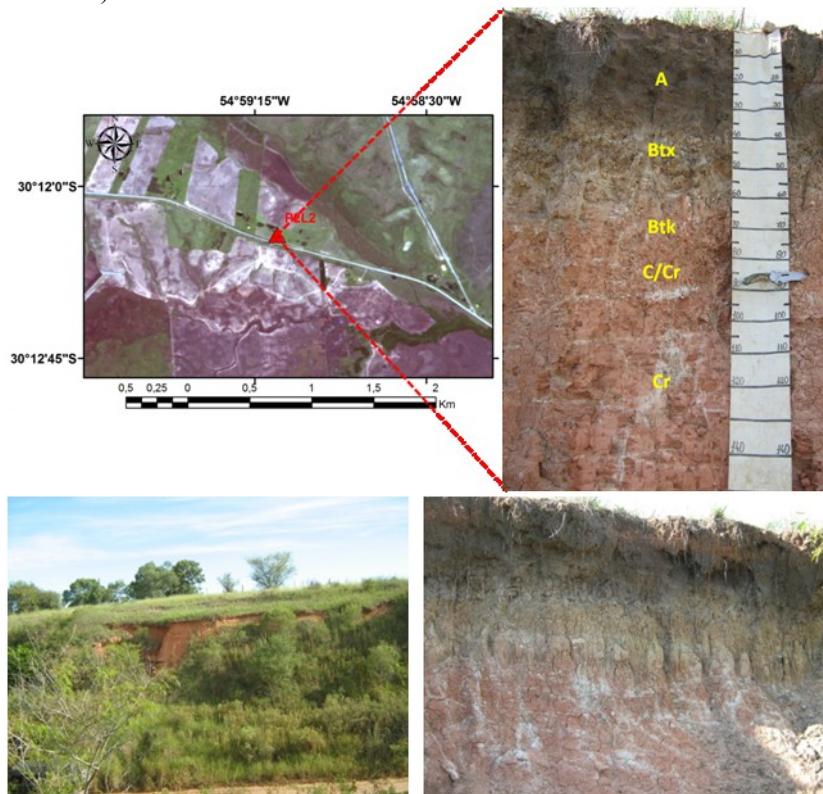
Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> 0	KCl	ΔpH						
A1	4,83	3,99	-0,85	6,4	0,83	0,67	0,19	0,03	1,72
A2	4,61	4,00	-0,61	5,9	0,75	0,42	0,08	0,03	1,28
A3	4,69	3,95	-0,74	5,7	0,98	0,42	0,07	0,04	1,50
BAt	4,87	3,74	-1,14	9,2	1,39	0,74	0,06	0,05	2,24
Bt	5,06	3,78	-1,29	7,1	0,97	0,73	0,06	0,04	1,80
BC	5,02	3,83	-1,19	4,2	0,78	0,56	0,05	0,04	1,43
C/Cr	5,10	3,67	-1,44	3,0	0,75	0,56	0,07	0,04	1,43
R	5,05	3,72	-1,34	1,2	0,91	1,05	0,04	0,03	2,04
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na		
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				.....(%).....				
A1	0,59	1,60	2,31	3,32	52	26	1		
A2	1,22	2,75	2,51	4,03	32	49	1		
A3	1,80	3,27	3,30	4,77	31	55	1		
BAt	4,98	6,66	7,22	8,90	25	69	1		
Bt	6,10	7,06	7,90	8,86	20	77	<1		
BC	6,28	5,77	7,71	7,19	20	81	<1		
C/Cr	5,00	5,28	6,43	6,71	21	78	1		
R	3,97	2,88	6,00	4,91	41	66	1		

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.5 Perfil P2T2-TCk

O perfil P2T2-TCk foi classificado como **LUVISSOLO CRÔMICO Carbonático típico, A moderado, textura média, solódico, dúrico, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado** (Figura 17).

Figura 17 – Localização geográfica e vista geral do perfil P2T2-TCk: LUVISSOLO CRÔMICO Carbonático típico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O solo é produto da alteração de uma litologia constituída de arenitos e siltitos da Formação Sanga-do-Cabral, com provável recobrimento por material arenoso. O perfil está situado em terço inferior de elevação com 15 % de declividade (fase relevo ondulado), a uma altitude de 124 m (GPS). Apresenta classe de drenagem imperfeitamente drenado e erosão não aparente.

A profundidade do *solum* é maior que 75 cm ( $A+Btx+Btk = 80$  cm), tendo o A 35 cm de espessura ( $> 25$  cm). O teor de carbono orgânico é de  $10,6 \text{ g kg}^{-1}$  ( $< 8\%$  mas  $>$  que  $0,6\%$ ) e saturação por bases de 80 % ( $> 65\%$ ). A cor úmida apresenta matiz, valor e croma de 10YR 3,5/2,5 (valor  $> 3$ ) e cor seca 10YR 5/2 (valor  $\leq 5$ ). O horizonte A apresenta ainda estrutura do tipo blocos subangulares de grau fraco e tamanho médio e grande, consistência macia e friável e textura média, com  $124 \text{ g kg}^{-1}$  de argila.

O sub-horizonte Btx apresentou fase de reação muito pouco ácido, com valor de pH em água de 6,4 enquanto que, nos horizontes subjacentes o valor de pH foi muito alto (alcalino), variando desde 8,8 no Btk até 9,3 no Cr, mas com  $\Delta\text{pH}$  negativo. O teor médio de argila no B é de  $244 \text{ g kg}^{-1}$ , com baixíssimo grau de floculação, possivelmente influenciado pelo elevado pH e teor/saturação por sódio na CTC, causando a dispersão das argilas. A relação textural (RT) foi de 1,9 havendo incremento de argila, entretanto neste perfil não houve MTA. O horizonte B textural apresentou argila de atividade alta (Ta) e saturação por bases também alta (eutrófico); característica típica de solos da ordem dos Luvissolos. A relação silte/argila no perfil, como um todo, foi alta, mostrando um baixo grau de intemperização. Isto pode ser visto pelos altíssimos valores, principalmente de Ca e Mg, decorrentes da baixa lixiviação de bases, não sendo observado logicamente caráter alumínico e nem alítico. Este solo apresenta caráter carbonático ( $+150 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ), caráter êutríco ( $\text{pH H}_2\text{O} \geq 5,7$  e  $\text{S} \geq 2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), caráter solódico (%Na de 6 a  $< 15\%$ ) e caráter dúrico no Btx. A cor úmida do horizonte Btx é bruno-amarelado (10YR 5/4), e no Btk é vermelho-amarelado (5YR 5/7), apresentando também caráter crômico.

Não houve presença de superfícies de fricção, cerosidade, plintita e horizonte E. Nota-se a presença de concreções de  $\text{CaCO}_3$  disseminadas no Btk, C/Cr e no próprio Cr, muitas são carcomidas de dimensões milimétricas a centimétricas, e estão bem disseminadas principalmente no C/Cr. Algumas tem aspecto mais arredondado/ovóide, onde há cristais de calcita precipitados. Alguns locais apresentam fragmentos de arenito esbranquiçado entre o A e o

Btx. O topo do B (Btx) apresenta cor esbranquiçada evidenciando destruição de argilas por ferrólise, com “pelotas” de argila de dimensões entre 3-8 cm, apresentando consistência ainda mais dura do que os blocos angulares, sendo somente quebráveis com martelo. Ocorre intenso fendilhamento no corte exposto e manchas de alteração plano-estratificadas no R.

A presença de concreções de carbonato de cálcio disseminadas no Btk e no C/Cr, assim como a presença de cimento carbonático na porção inferior da rocha, parece ser indicativa de uma fácie, ou pacote de sedimentos da Formação Sanga-do-Cabral, diferenciado daquele que deu origem ao perfil P1T2 situado em posição topográfica superior. Esta interpretação é amparada na grande diferença nos teores de Ca e Mg trocáveis, da camada R do P1T2, com o Cr deste solo (Tabelas 8 e 10).

Tabela 9 – Atributos físicos do perfil P2T2-TCk.

Símbolo	Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa H <sub>2</sub> O	GF	Relação silte argila
	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila				
A	0-35	620	256	124	70	44	2,06	
Btx	35-58	478	308	214	200	7	1,44	
Bt	58-80	162	564	274	274	0	2,06	
C/Cr	80-90	103	663	234	220	6	2,84	
Cr	90-180+	383	463	154	120	22	3,01	
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa	
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....					
A	523,9	96,1	59,6	107,3	89,1	40,1	83,9	
Btx	396,0	81,8	71,2	111,3	125,7	72,5	141,5	
Btk	140,0	21,8	107,2	195,2	261,8	76,4	197,6	
C/Cr	96,5	6,1	100,2	210,3	352,9	65,8	168,2	
Cr	382,1	1,1	64,8	183,7	214,3	39,4	114,6	

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 10 – Atributos químicos do perfil P2T2-TCk.

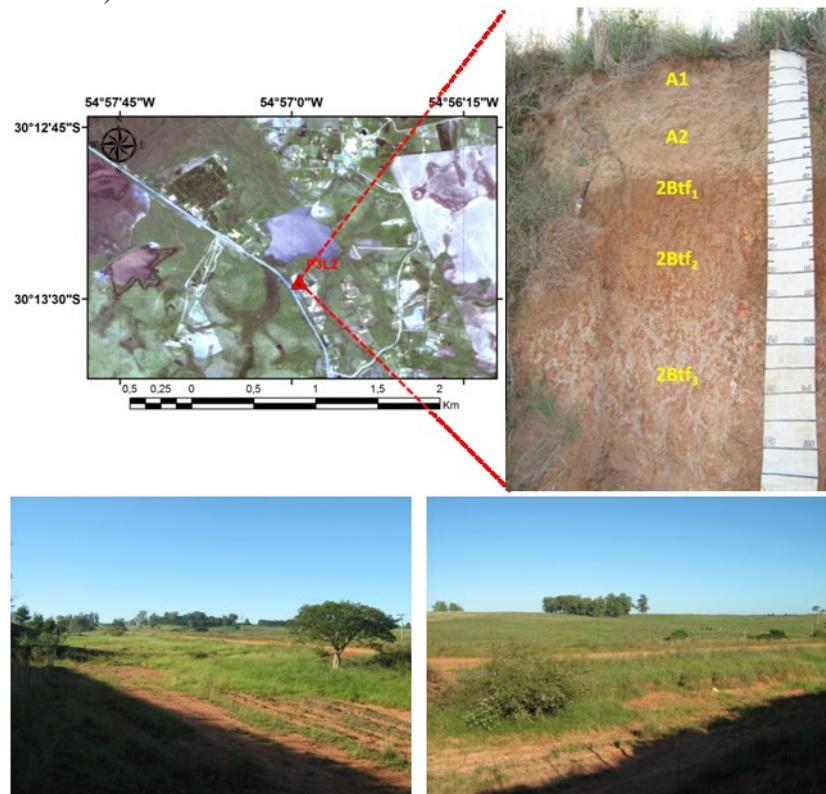
Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> 0	KCl	ΔpH						
A	5,97	4,25	-1,72	10,6	6,08	1,97	0,04	0,17	8,26
Btx	6,43	3,97	-2,46	5,1	6,00	3,03	0,05	1,08	10,16
Btk	8,81	6,72	-2,09	1,9	14,4	7,03	0,06	3,37	24,94
C/Cr	8,92	6,90	-2,03	1,9	15,6	8,85	0,05	3,97	28,54
Cr	9,28	6,89	-2,39	1,4	14,4	9,01	0,03	3,90	27,34
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na		
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....			.....(%).....					
A	0,34	2,08	8,60	10,34	80	4	2		
Btx	1,25	2,24	11,41	12,41	82	11	9		
Btk	0,00	0,00	24,94	24,94	100	0	14		
C/Cr	0,00	0,00	28,54	28,54	100	0	14		
Cr	0,00	0,00	27,34	27,34	100	0	14		

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.6 Perfil P3T2-FTd

O perfil P3T2-FTd foi classificado como **PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrúptico, A fraco, Tb, textura média-arenosa/média-argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado** (Figura 18).

Figura 18 – Localização geográfica e vista geral do perfil P3T2-FTd: PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrúptico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O perfil está localizado a 115 m de altitude (GPS), em terço inferior de encosta com 10 % de declividade e relevo local e regional ondulado, desenvolvido a partir da alteração de siltitos da Formação Sanga-do-Cabral, com provável recobrimento de material arenoso em superfície. Apresenta profundidade do *solum* de 200+ cm, sendo um perfil moderadamente drenado.

Na identificação do horizonte superior, este solo apresentou em média apenas 4 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico (< 6 g kg<sup>-1</sup>). A espessura do horizonte A foi > 25 cm (A1+A2 = 60 cm), com teor de argila de 90 g kg<sup>-1</sup>, tendo um baixo grau de floculação. A estrutura no A1 é em grão simples e fraca pequena granular; e, fraca média blocos subangulares e angulares e grãos simples no A2. Com relação à cor úmida do solo, o horizonte A apresentou valor/croma de 4/4 e cor seca de 5/4 no A1, e 6/4 no A2.

A relação textural foi de 3,8 indicando um expressivo gradiente textural. Também ficou caracterizado mudança textural abrupta, onde o teor de argila na transição entre os horizontes aumentou de 90 g kg<sup>-1</sup> no A2 para 330 g kg<sup>-1</sup> (mais de três vezes). Quanto ao grupamento textural, o sub-horizonte 2Btf<sub>1</sub> é de textura média e o 2Btf<sub>2</sub> e 2Btf<sub>3</sub> são de textura média-argilosa; todos com relação silte/argila ≤ 0,5, indicando um material com um grau avançado de intemperização. O horizonte subsuperficial apresentou argila de atividade baixa (Tb), com saturação por bases inferior a 50 % (distrófico) exceto no 2Btf<sub>3</sub> (V = 54 %) e no Cr (94 %). Apesar do pH baixo (ácido), o teor de alumínio trocável é relativamente baixo neste solo, não apresentando caráter alumínico e nem alítico. Destacam-se os altos teores de Ca e Mg, a alta saturação por bases, pH mais alto (5,5) e alta atividade da fração argila no horizonte Cr, indicando relações com os materiais da Formação Sanga-do-Cabral do perfil anterior.

Não foi identificada a ocorrência de slickensides, cerosidade, nem de horizonte E; entretanto apresentou plintita em quantidade suficiente e em posição diagnóstica para horizonte plíntico, além de descontinuidade litológica no perfil. A plintita ocorre disseminada por todo o Btf<sub>2</sub> e Btf<sub>3</sub> na forma de agregados vermelhos, entremeadas por manchas cinzentas e esbranquiçadas, sendo estas mais expressivas no Btf<sub>3</sub>, onde a plintita ocorre em agregados maiores e mais distintos. No Btf<sub>1</sub>, os supostos nódulos de plintita são de tamanhos pequenos com dimensões milimétricas. Ocorre a presença de linhas de cascalhos milimétricos a centimétricos, representados por concreções irregulares de ferro e nódulos arredondados (petroplintita) entre a base do A2 e o

2Btf<sub>1</sub>. A presença dos nódulos arredondados de petroplintita ocorre disseminada no 2Btf, em pequena quantidade.

Tabela 11 – Atributos físicos do perfil P3T2-FTd.

Símbolo	Horizontes	Composição granulométrica			Argila dispersa H <sub>2</sub> O	GF (%)	Relação silte argila
		Prof (cm)	Areia	Silte	Argila		
A1	0-22	728	182	90	60	33	2,02
A2	22-60	728	182	90	70	22	2,02
2Btf <sub>1</sub>	60-78	502	168	330	200	39	0,51
2Btf <sub>2</sub>	78-120	510	140	350	120	66	0,40
2Btf <sub>3</sub>	120-200+	500	150	350	150	57	0,43
Cr	-	542	408	50	0	100	8,16
2Btf <sub>3</sub> (M.acinz)	-	530	185	285	-	-	0,7
2Btf <sub>3</sub> (M.aver)	-	465	150	385	-	-	0,4
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....				
A1	538,1	189,9	45,3	81,5	55,1	33,7	56,3
A2	556,5	171,7	37,6	68,9	75,3	36,8	53,2
2Btf <sub>1</sub>	385,6	116,6	55,2	75,0	37,6	127,4	202,6
2Btf <sub>2</sub>	390,2	120,0	41,7	55,2	42,9	127,1	223,0
2Btf <sub>3</sub>	378,6	121,4	56,0	71,6	22,5	137,2	212,8
Cr	539,1	3,1	62,4	167,6	177,8	16,6	33,4
2Btf <sub>3</sub> (M.acin)	-	-	-	-	-	-	-
2Btf <sub>3</sub> (M.aver)	-	-	-	-	-	-	-

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser; M.aver = manchas avermelhadas; M.acinz = manchas acinzentadas.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 12 – Atributos químicos do perfil P3T2-FTd.

Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH						
A1	4,93	4,04	-0,89	5,0	0,68	0,55	0,04	0,02	1,30
A2	4,68	4,03	-0,65	3,3	0,54	0,40	0,03	0,03	0,99
2Btf <sub>1</sub>	4,94	3,72	-1,23	4,9	1,27	0,93	0,03	0,03	2,26
2Btf <sub>2</sub>	4,95	3,86	-1,10	4,0	1,32	1,23	0,03	0,03	2,62
2Btf <sub>3</sub>	5,17	3,80	-1,37	2,3	1,54	1,73	0,03	0,04	3,34
Cr	5,50	3,90	-1,60	1,7	9,94	6,23	0,08	0,04	16,29

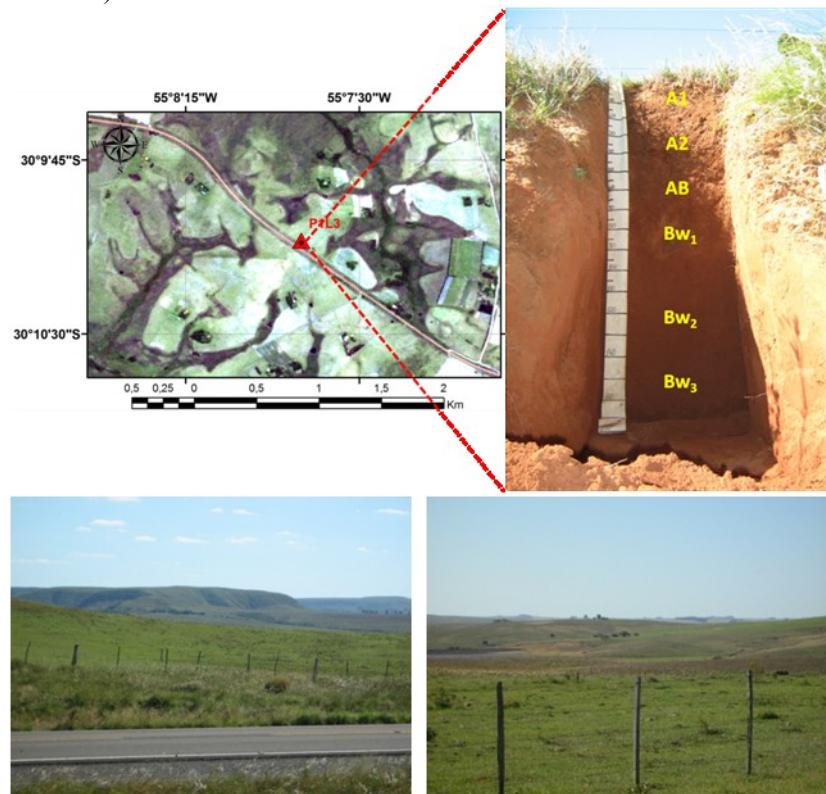
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na
A1	0,74	1,54	2,04	2,84	46	36	1
A2	0,79	1,36	1,78	2,35	42	44	1
2Btf <sub>1</sub>	2,77	4,08	5,04	6,34	36	55	1
2Btf <sub>2</sub>	3,02	3,95	5,63	6,57	40	54	1
2Btf <sub>3</sub>	2,46	2,86	5,80	6,20	54	42	1
Cr	1,12	1,08	17,41	17,37	94	6	<1

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.7 Perfil P1T3-LVe

O perfil P1T3-LVe foi classificado como **LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, A moderado, textura média-arenosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado** (Figura 19).

Figura 19 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T3-LVe: LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O solo é formado a partir da alteração de litologia constituída de arenito da Formação Guará, do período Triássico. Encontra-se a 177 m de altitude (GPS), estando situado em topo de elevação com 6 % de declividade (fase relevo suave ondulado), classe de drenagem fortemente drenado e erosão não aparente.

É um perfil muito profundo, apresentando espessura do *solum* de 170 cm+ (A1-Bw3) sendo a amostra do Bwn coletada com trado a 2,3 m. O horizonte superficial é do tipo A moderado, não sendo classificado como A fraco somente por não atender ao critério diagnóstico referente à cor (valor  $\geq 4$  úmido e  $\geq 6$  seco). Apresenta em média um teor de carbono orgânico de apenas 3,6 g kg<sup>-1</sup>, sendo relativamente espesso (A1+A2+AB = 71 cm) e de textura arenosa com baixa saturação por bases. A estrutura apresenta aspecto de maciça se desfazendo em grãos simples, fraca granular de tamanho pequeno e em blocos subangulares de tamanho médio e pequeno, também com grau fraco de desenvolvimento, havendo o predomínio de uma consistência solta e muito friável, não plástica e não pegajosa.

A relação silte/argila foi muito baixa ao longo de todo o perfil ( $< 0,5$ ), mostrando um alto grau de evolução deste material, compatível com solos da ordem dos Latossolos. A relação textural foi de 1,48 havendo um incremento de argila uniforme, com aumento gradativo em profundidade, e ausência de cerosidade. O valor de pH em KCl foi inferior ao pH em água (predomínio de cargas negativas) evidenciando um horizonte B latossólico com grau de intemperização não muito avançado. A transição entre os horizontes foi difusa na maior parte do perfil, e gradual do AB para o Bw1. Com relação à cor, a matiz dominante no B foi 2,5YR (vermelho).

Em relação ao subgrupamento textural é de textura média-arenosa com valores de silte muito baixos e com argila de baixo grau de flocação neste caso. Apesar da atividade da argila ter sido ligeiramente superior a 18 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, nos dois primeiros subhorizontes do B, foi inferior a 17 nos subjacentes. Os teores de bases trocáveis, principalmente de Ca e Mg, foram baixos, possivelmente decorrentes da pobreza química do material de origem e da intensa lixiviação, com baixa quantidade de alumínio em todos os sub-horizontes. Também apresentou baixa saturação por sódio e baixo teor de ferro (hipoférrico). Apesar disso, observa-se ligeiro incremento das bases nos horizontes subsuperficiais, indicando caráter eutrófico.

Tabela 13 – Atributos físicos do perfil P1T3-LVe.

Símbolo	Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa	GF	Relação silte argila
	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila	H <sub>2</sub> O	(%)		
A1	0-15	892	28	80	70	13	0,35	
A2	15-50	862	38	100	80	20	0,38	
AB	50-71	888	2	110	100	9	0,02	
Bw <sub>1</sub>	71-95	845	45	110	100	9	0,41	
Bw <sub>2</sub>	95-145	825	45	130	130	0	0,35	
Bw <sub>3</sub>	145-170+	778	32	190	150	21	0,17	
Bw <sub>n</sub>	-	707	33	260	180	31	0,13	
R	-	753	77	170	0	100	0,45	
Horiz	Areia fina	Areia grossa	Silte fino	Silte médio	Silte grosso	Argila fina	Argila grossa	
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....					
A1	769,3	123,1	-	-	-	-	-	
A2	733,9	128,5	-	-	-	-	-	
AB	751,1	136,5	-	-	-	-	-	
Bw <sub>1</sub>	728,0	116,8	-	-	-	-	-	
Bw <sub>2</sub>	729,7	94,9	-	-	-	-	-	
Bw <sub>3</sub>	661,4	117,0	-	-	-	-	-	
Bw <sub>n</sub>	617,8	88,8	-	-	-	-	-	
R	719,5	33,9	-	-	-	-	-	

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 14 – Atributos químicos do perfil P1T3-LVe.

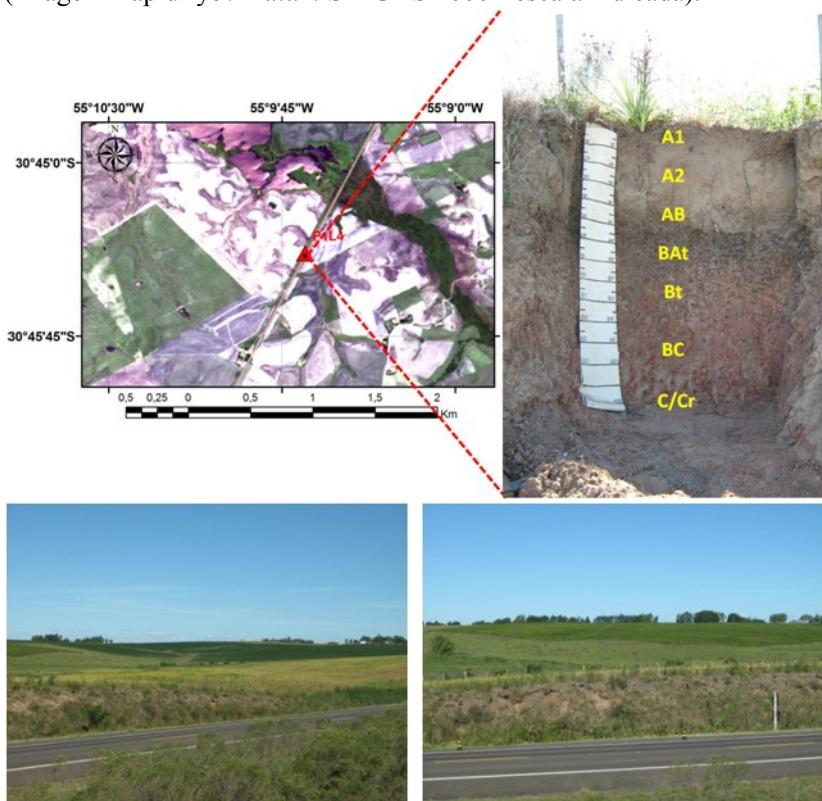
Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> 0	KCl	ΔpH		.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				
A1	5,32	4,05	-1,27	4,4	0,40	0,49	0,07	0,02	0,98
A2	5,12	4,06	-1,06	2,8	0,41	0,36	0,03	0,02	0,82
AB	5,16	3,98	-1,18	3,8	0,56	0,38	0,02	0,02	0,99
Bw <sub>1</sub>	5,44	4,05	-1,39	2,0	0,82	0,39	0,02	0,02	1,25
Bw <sub>2</sub>	5,39	4,11	-1,28	2,6	1,10	0,59	0,02	0,02	1,73
Bw <sub>3</sub>	5,33	4,10	-1,23	1,7	1,33	0,79	0,02	0,02	2,17
Bw <sub>n</sub>	5,28	3,95	-1,34	2,8	1,38	1,53	0,03	0,03	2,97
R	4,78	3,66	-1,12	0,7	0,36	0,50	0,04	0,03	0,94
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva		T	V	m	Na	
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				.....(%).....				
A1	0,32	0,98	1,30		1,96	50	25	2	
A2	0,56	1,29	1,38		2,11	39	41	1	
AB	0,57	1,18	1,56		2,17	46	36	1	
Bw <sub>1</sub>	0,41	0,82	1,67		2,07	61	25	1	
Bw <sub>2</sub>	0,34	0,83	2,07		2,56	68	17	1	
Bw <sub>3</sub>	0,38	0,89	2,55		3,07	71	15	1	
Bw <sub>n</sub>	0,60	1,28	3,56		4,25	70	17	1	
R	2,93	2,32	3,87		3,25	29	76	1	

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.8 Perfil P1T4-TXp

O perfil P1T4-TXp foi classificado como **LUVISSOLO HÁPLICO** Pálico redóxico, A moderado, textura média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado (Figura 20).

Figura 20 – Localização geográfica e vista geral do perfil P1T4-TXp: LUVISSOLO HÁPLICO Pálico redóxico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O perfil está situado em topo de pequena elevação, com 7 % de declividade (relevo suave ondulado), situado a 146 m de altitude (GPS), sendo desenvolvido de siltitos da Formação Pirambóia, com aparente

desenvolvimento “*in situ*”, tendo 125 cm de profundidade do *solum*, sendo moderadamente a imperfeitamente drenado.

O horizonte A apresentou um teor de carbono orgânico médio de apenas 9 g kg<sup>-1</sup> ( $\geq 0,6\%$ ). A espessura do horizonte A foi de 48 cm (A1+A2+AB). A estrutura é em grão simples e fraca pequena granular no A1, aspecto de maciça que se desfaz em fraca grande e média blocos angulares no A2 e AB. A saturação por bases foi muito alta, em torno de 70 % no A1 e no A2, e 52 % no AB. O teor de argila no A1 e A2 foi em torno de 130 g kg<sup>-1</sup>, aumentando para 274 g kg<sup>-1</sup> no AB. Apresentou cor seca com valores maiores que 5 (10YR 6/3 no A2), e cor úmida com valor/croma maior que 3 no A2 (10YR 4/3,5) e no AB (10YR 3/4); cores variando desde bruno-acinzentado muito escuro no A1 e bruno a bruno-amarelado-escuro no A2 e AB. Apesar da alta saturação por bases no A, as cores úmida e seca muito claras, indicaram horizonte diagnóstico superficial A moderado.

O horizonte subsuperficial apresentou pH em água variando de 5,2 a 5,7 com  $\Delta\text{pH}$  negativo. A textura é argilosa no BAt e Bt e média no BC, com argila de atividade muito alta (Ta) em todos os sub-horizontes. A relação textural (RT) foi de 2,4 havendo incremento de argila para caracterização de horizonte B textural, mas não há ocorrência de mudança textural abrupta. A relação silte/argila foi de 0,87 no BC, e de 0,38 e 0,58 no BAt e Bt respectivamente, com um teor de argila dispersa em H<sub>2</sub>O muito alto. No que diz respeito ao tipo e grau de estrutura, apesar de apresentar um baixo grau de flocação da argila, o horizonte BAt apresentou estrutura moderada de tamanho pequena e média em blocos angulares e subangulares; no Bt é de moderada a forte grande e média blocos angulares e moderada média prismática; e no BC é de grau fraco.

A cor predominante no topo do B foi bruno-muito-escuro (10YR 2/2) e bruno-acinzentado no Bt (10YR 5/2-matriz) feição típica da subordem dos Argissolos Bruno-Acinzentados. Ocorre a presença de mosqueados no horizonte Bt e BC. O perfil apresentou caráter eutrófico (saturação por bases alta), com elevados teores de cálcio e magnésio, mas com concentrações altíssimas de alumínio “trocável” (7,29 a 8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> no BAt e Bt respectivamente), porém sem apresentar caráter alumínico nem alítico ( $\text{m}\% < 50$  e  $\text{V}\% > 50$ ). O teor total de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do ataque sulfúrico é 37,8 g kg<sup>-1</sup> (hipoferríco). Foi registrada a presença de plintita, mas em quantidade não suficiente para diagnóstico de horizonte B plíntico, mas sim para caráter plíntico. Além disso, apresentou propriedades distintivas de caráter plânico ou redoximórfico. Não existe

nenhuma evidência da ocorrência ou presença de descontinuidade litológica, slickensides, cerosidade, contato lítico, horizonte E, carbonatos e concreções. O horizonte A foi classificado como moderado, e o horizonte subsuperficial como B textural devido suas propriedades intrínsecas atenderem aos critérios exigidos.

Tabela 15 – Atributos físicos do perfil P1T4-TXp.

Símbolo	Horizontes		Composição granulométrica			Argila dispersa	GF	Relação silte argila
	Prof (cm)	Areia	Silte	Argila	H <sub>2</sub> O	(%)		
A1	0-11	749	121	130	70	46	0,93	
A2	11-38	733	143	124	110	11	1,15	
AB	38-48	607	119	274	220	20	0,44	
BAt	48-70	374	172	454	380	16	0,38	
Bt	70-85/98	345	241	414	320	23	0,58	
BC	85/98-125	580	196	224	200	11	0,87	
C/Cr	125-140+	716	160	124	80	35	1,29	
R	-	841	105	54	30	44	1,94	
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa	
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....					
A1	565,3	183,5	29,2	59,4	32,6	39,9	90,1	
A2	570,2	163,0	45,1	72,1	25,6	44,0	80,0	
AB	481,6	125,0	41,9	55,3	22,2	100,0	174,0	
BAt	295,3	78,3	66,9	75,3	30,2	128,9	325,1	
Bt	261,2	83,8	86,0	111,1	43,9	122,1	291,9	
BC	445,5	134,9	58,5	95,6	41,5	67,6	156,4	
C/Cr	578,5	137,5	40,8	80,6	38,6	38,3	85,7	
R	580,6	260,4	18,6	55,0	31,4	15,8	38,2	

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 16 – Atributos químicos do perfil P1T4-TXp.

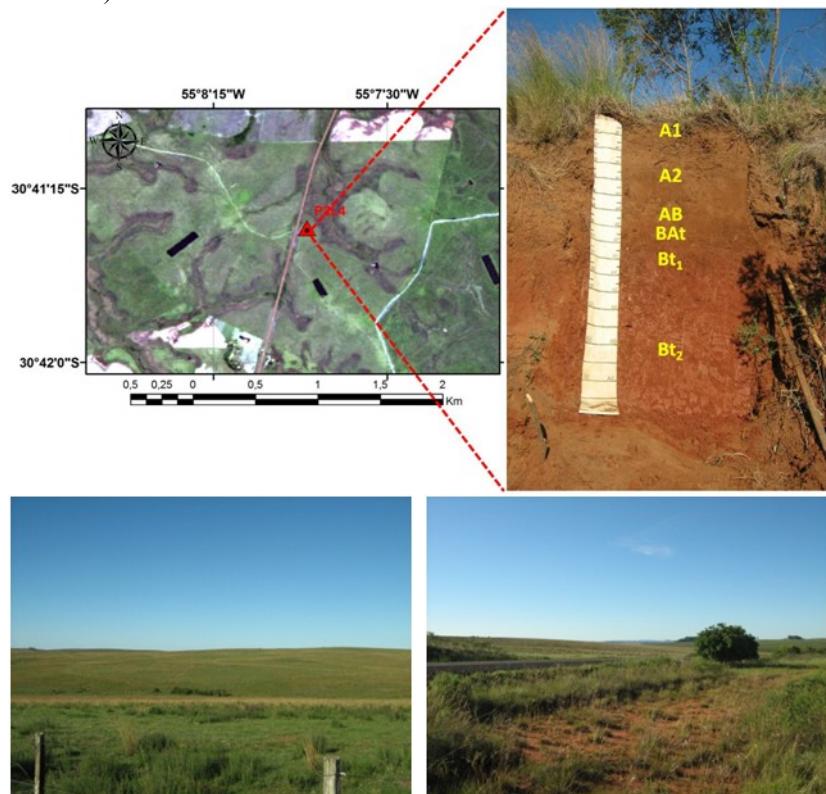
Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH						
A1	5,35	4,48	-0,88	12,8	2,29	1,97	0,22	0,02	4,50
A2	5,27	4,10	-1,18	6,4	1,62	1,67	0,16	0,03	3,49
AB	4,97	3,70	-1,27	7,7	2,65	2,38	0,15	0,05	5,24
BAt	5,26	3,56	-1,70	10,6	5,88	3,90	0,13	0,06	9,98
Bt	5,60	3,54	-2,06	5,7	12,8	8,03	0,09	0,07	21,06
BC	5,78	3,68	-2,11	3,5	12,3	7,49	0,05	0,06	19,98
C/Cr	5,79	3,75	-2,04	1,4	13,6	7,94	0,04	0,06	21,64
R	5,48	4,00	-1,48	1,1	17,8	8,93	0,04	0,06	26,85
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na		
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				.....(%).....				
A1	0,07	1,71	4,57	6,21	72	2	1		
A2	0,35	1,53	3,84	5,02	70	9	1		
AB	2,99	4,83	8,23	10,06	52	36	1		
BAt	7,29	8,91	17,27	18,89	53	42	<1		
Bt	8,00	8,15	29,06	29,21	72	28	<1		
BC	3,72	3,52	23,70	23,51	85	16	<1		
C/Cr	1,89	1,83	23,53	23,48	92	8	<1		
R	0,32	0,10	27,17	26,95	100	1	<1		

Fonte: produção do próprio autor

### 6.1.9 Perfil P2T4-PVd

O perfil P2T4-PVd foi classificado como **ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico, A moderado, Tb, textura arenosa/média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado** (Figura 21).

Figura 21 – Localização geográfica e vista geral do perfil P2T4-PVd: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico e da paisagem de ocorrência (Imagen RapidEye / *Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

O solo é originado a partir da intemperização de uma litologia formada de arenitos da Formação Pirambóia. Encontra-se a 165 m de altitude (GPS), situando-se em topo de elevação, com 8 % de declividade (suave onulado com partes onduladas), coberto com gramíneas. Perfil bem drenado com mais de 175 cm de profundidade (espessura do *solum*), apresentando erosão laminar ligeira.

O horizonte superficial deste solo apresentou em média, apenas 5 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico. A espessura do horizonte A é de 67 cm (A1+A2+AB). Apresenta cor úmida com matiz de 7,5YR com valor e croma de 3/3 no A1 (bruno-escuro), 5YR 3/4 no A2 (bruno-avermelhado-escuro) e 5YR 4/6 no AB (vermelho-amarelado). O conteúdo de argila possui baixo grau de floculação (8-30 %), e a saturação por bases do solo é baixa. Apresentou textura arenosa nos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo (A1 e A2), e textura média no AB. No que tange à estrutura, esta apresentou no A2 e AB aspecto de maciça que se desfez em uma estrutura com grau de desenvolvimento fraco, sendo do tipo blocos subangulares de tamanho médio e pequeno. Já no A1 ela é em grão simples e fraca média e pequena granular.

No horizonte diagnóstico de subsuperfície a relação textural é alta (RT = 2,9), ocorrendo um incremento de argila significativo, caracterizado pelo expressivo gradiente textural. Apesar disso o solo não apresentou MTA na transição entre o AB e o BAt, onde os teores de argila são de 174 e 334 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A textura do solo nos horizontes Bt1 e Bt2 é argilosa e média no BAt, todos com argila de baixo grau de floculação. Apresentou atividade da argila inferior a 20 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, e relação silte/argila extremamente baixa (0,2-0,3). A estrutura predominante no B é de grau de desenvolvimento moderado, de tamanho médio e pequeno, e do tipo blocos subangulares. Ocorreu a presença de cerosidade em quantidade e grau de expressão abundante e moderada no Bt1, e comum e moderada no Bt2. O horizonte B apresentou ΔpH negativo com pH em H<sub>2</sub>O próximo de 5 e saturação por bases inferior a 50 % (caráter distrófico). Apesar disso, houve pequeno incremento no conteúdo de bases (S) em profundidade, cuja saturação (V%) situou-se em valores ligeiramente inferiores a 50 %. Não apresentou caráter alumínico, pois o teor de alumínio trocável foi inferior a 4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (baixo) em todos os sub-horizontes, com m% alto (> 50 %) apenas no Bt2. O teor de ferro do ataque sulfúrico foi de apenas 33 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hipoférrego). O matiz dominante no B foi 2,5YR, com cores vermelho-escuro e vermelho. Não houve a

ocorrência, presença ou evidência de MTA, descontinuidade litológica, contato lítico, horizonte E, slickensides, carbonatos, plintita, mosqueados, nódulos e concreções.

Tabela 17 – Atributos físicos do perfil P2T4-PVd.

Símbolo	Horizontes	Composição granulométrica			Argila dispersa H <sub>2</sub> O	GF (%)	Relação silte argila
		Prof (cm)	Areia	Silte	Argila		
A1	0-20	823	63	114	80	30	0,55
A2	20-55	812	74	114	100	12	0,65
AB	55-67	737	89	174	160	8	0,51
BAt	67-77	584	82	334	260	22	0,24
Bt1	77-98	454	102	444	300	32	0,23
Bt2	98-175+	481	125	394	240	39	0,32
R	-	675	191	134	0	100	1,42
Horiz	Areia fina	Areia grossa	*Silte fino	*Silte médio	*Silte grosso	*Argila fina	*Argila grossa
			.....(g kg <sup>-1</sup> ).....				
A1	697,4	125,8	18,5	31,7	12,6	37,8	76,2
A2	701,3	110,7	24,2	36,9	12,9	42,4	71,6
AB	627,6	109,2	29,1	42,6	17,5	67,7	106,3
BAt	496,6	87,8	29,4	38,9	13,3	125,6	208,4
Bt1	386,5	67,5	41,0	43,1	17,9	155,8	288,2
Bt2	464,3	16,9	50,7	50,5	23,6	152,1	241,9
R	670,7	4,5	39,5	78,6	72,7	46,4	87,6

**Observação:** \*Dados estimados por granulometria a laser.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 18 – Atributos químicos do perfil P2T4-PVd.

Horiz	pH (1:1)			C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	Valor S
	H <sub>2</sub> 0	KCl	ΔpH						
A1	5,01	3,95	-1,06	6,5	0,62	0,62	0,04	0,02	1,30
A2	5,14	3,96	-1,19	3,8	0,64	0,55	0,01	0,02	1,21
AB	5,10	3,93	-1,17	4,9	1,09	0,89	0,02	0,02	2,01
BAt	5,06	3,88	-1,19	8,2	1,72	1,44	0,02	0,03	3,21
Bt1	5,00	3,88	-1,12	7,3	1,96	1,51	0,01	0,02	3,51
Bt2	4,96	3,87	-1,09	4,4	1,27	1,35	0,00	0,02	2,64
R	5,42	3,82	-1,61	0,7	2,78	3,50	0,00	0,01	6,30
Horiz	Al <sup>+3</sup>	H+Al	CTC efetiva	T	V	m	Na		
	.....(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ).....				.....(%).....				
A1	0,61	1,64	1,91	2,94	44	32	1		
A2	0,64	1,46	1,85	2,68	45	34	1		
AB	0,91	2,10	2,92	4,11	49	31	1		
BAt	1,62	3,21	4,82	6,42	50	33	1		
Bt1	2,23	3,87	5,73	7,37	48	39	<1		
Bt2	2,85	3,36	5,49	6,00	44	52	<1		
R	3,70	2,75	10,00	9,05	70	37	<1		

Fonte: produção do próprio autor

## 6.2 RELAÇÕES PEDO-GEOMÓRFICAS

Nas figuras 23 a 28 observam-se os mapas temáticos das derivações altimétricas na região de estudo. Nos quadros 2, 3, 4 e 5 e na figura 22 constam as divisões das variáveis geomorfométricas em classes e a identificação das classes na legenda dos mapas. A elevação apresenta a distribuição das classes de altitudes, ou dos patamares hipsométricos, em intervalos verticais equidistantes. A declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal, ou seja, é a relação da diferença de nível ou mudança de elevação (distância vertical) com a distância horizontal entre dois pontos de um alinhamento na mesma orientação da vertente local. O plano de curvatura (curvatura horizontal) e o perfil de curvatura (curvatura vertical) representam as formas do relevo, sendo importantes atributos na distinção de unidades geomorfológicas. A curvatura horizontal se refere à forma da vertente, em plano, podendo ser convergente, divergente ou planar, e a curvatura vertical se refere à forma da vertente, analisada em perfil, podendo ser convexa, côncava ou retilínea. A orientação de vertentes é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno no sentido descendente, caracterizando a direção de exposição do terreno.

Quadro 2 – Representação da declividade em classes segundo fases de relevo da Embrapa (2013), limites rígidos e identificador da classe.

Relevo	Identificador	Faixa (%)
Plano	1	0-3
Suave ondulado	2	3-8
Ondulado	3	8-20
Forte ondulado	4	20-45
Montanhoso	5	45-75
Escarpado	6	75+

Quadro 3 – Curvaturas horizontal e vertical e identificador da classe.

Curvatura vertical Classe	Curvatura horizontal Classe	Identificador
Muito côncava	Muito convergente	1
Côncava	Convergente	2
Retilíneo	Planar	3
Convexa	Divergente	4
Muito convexa	Muito divergente	5

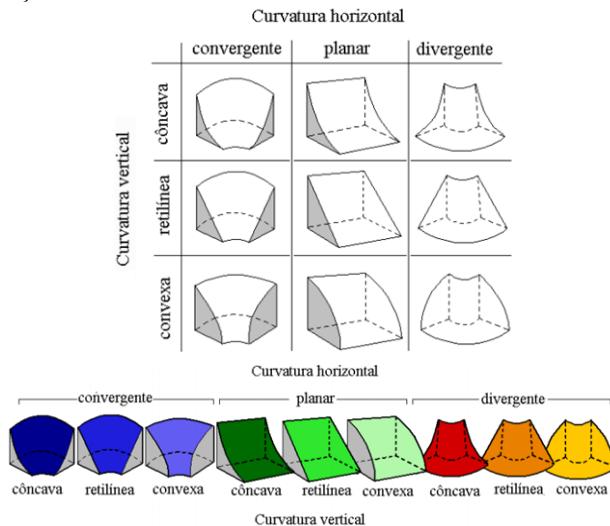
Fonte: adaptado de VALERIANO (2008).

Quadro 4 – Representação da orientação de vertentes classificada em octantes, e o número identificador de cada classe.

Octantes	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Identificador	1	2	3	4	5	6	7	8

Fonte: adaptado de VALERIANO (2008).

Figura 22 – Combinação das curvaturas verticais e horizontais para caracterização das formas de terreno e legenda de cores para sua representação.



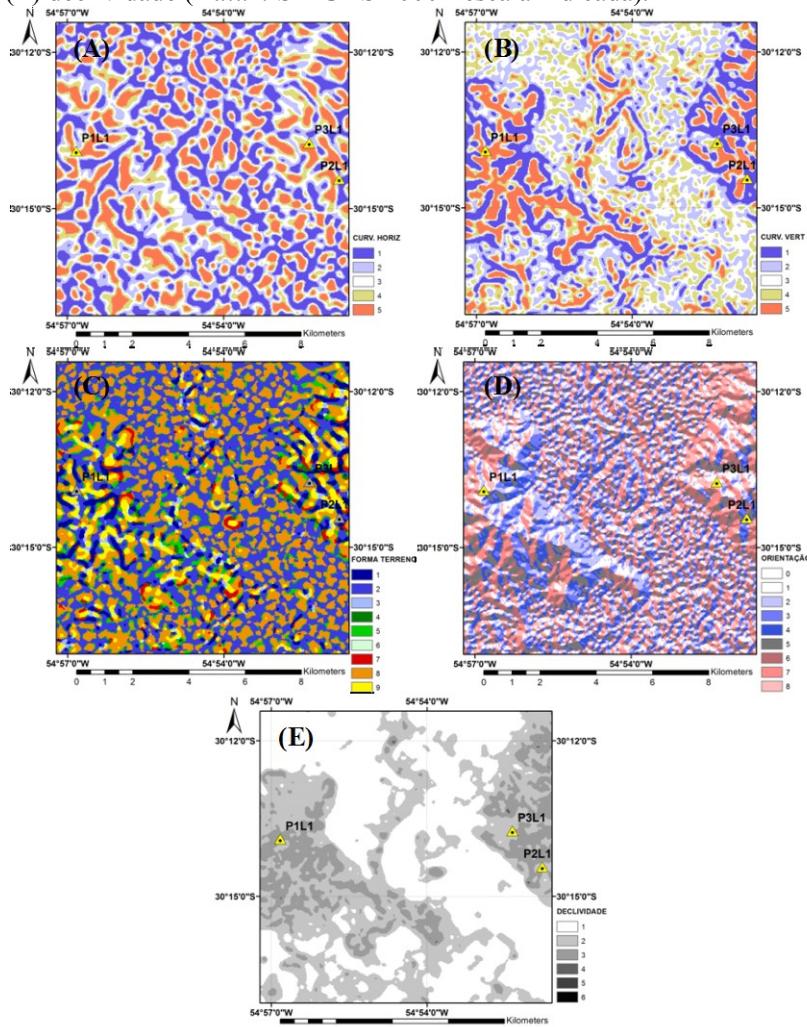
Fonte: adaptado de VALERIANO (2008).

Quadro 5 – Formato de terreno e identificador da classe.

Curvatura horizontal	Curvatura vertical	Identificador
Convergente	côncavo	1
	retilíneo	2
	convexo	3
Planar	côncavo	4
	retilíneo	5
	convexo	6
Divergente	côncavo	7
	retilíneo	8
	convexo	9

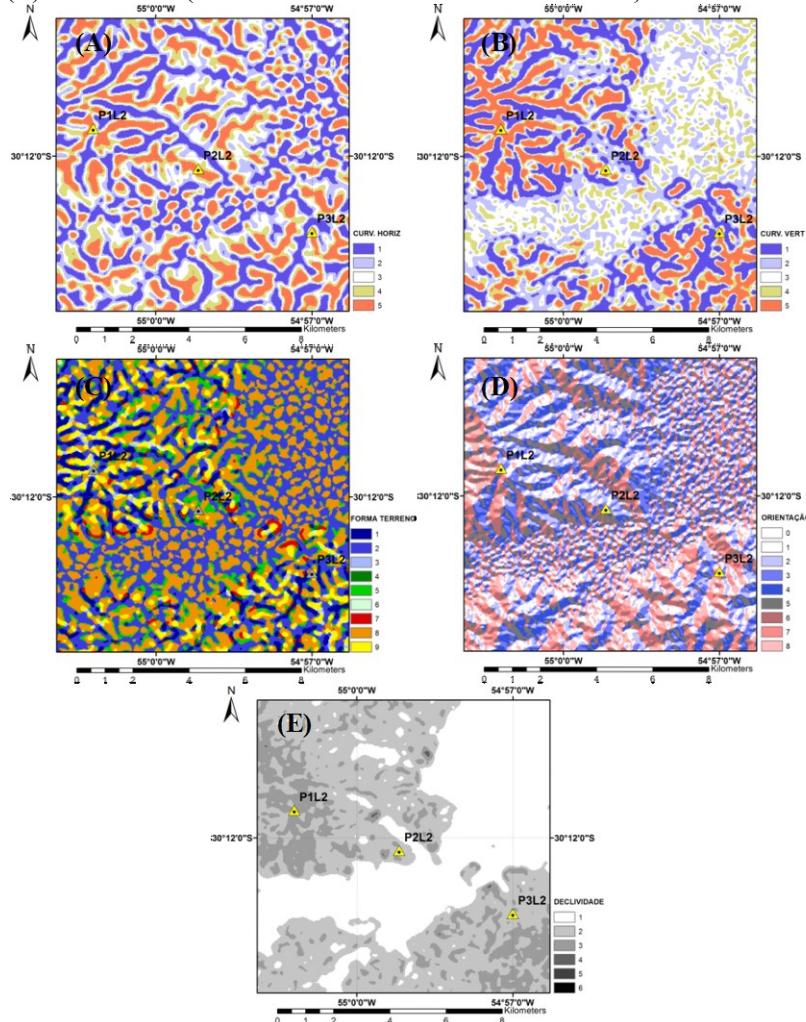
Fonte: adaptado de VALERIANO (2008).

Figura 23 – Mapas de derivações geomorfométricas na região dos perfis P1T1-PVd, P2T1-PBACal e P3T1-PAal: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade (*Datum* SIRGAS 2000 - escala indicada).



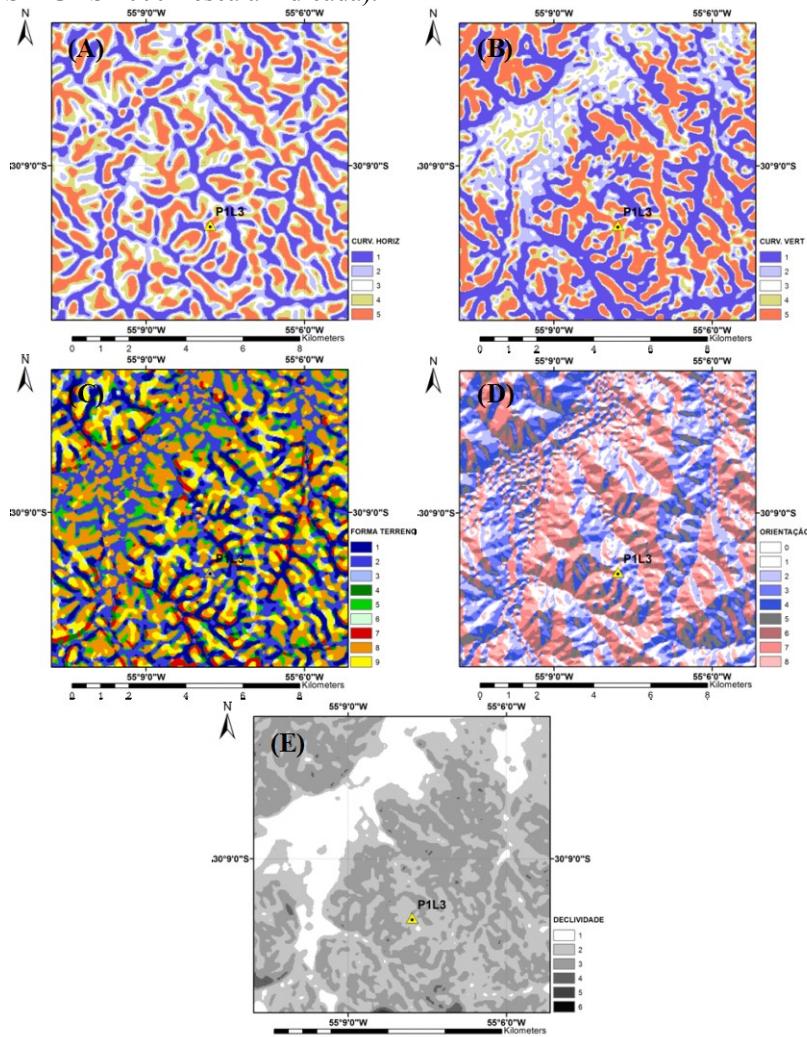
Fonte: produção do próprio autor

Figura 24 – Mapas de derivações geomorfométricas na região dos perfis P1T2-PBACal, P2T2-TCk e P3T2-FTd: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade (Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



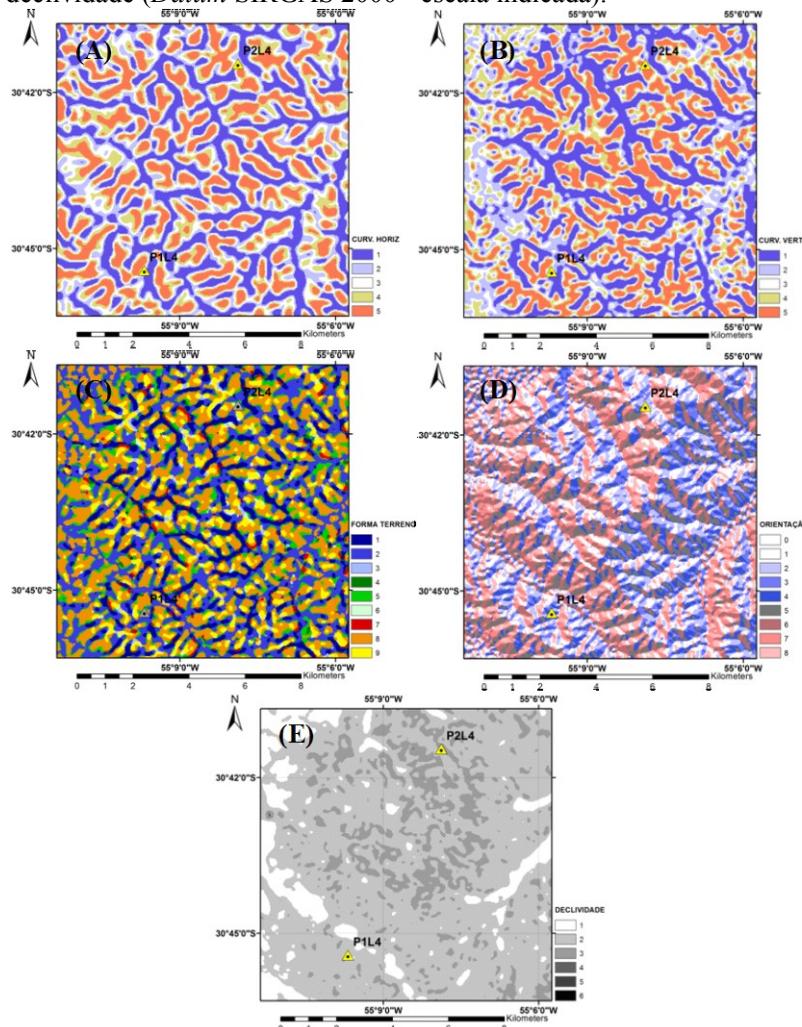
Fonte: produção do próprio autor

Figura 25 – Mapas de derivações geomorfométricas na região do perfil P1T3-LVe: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade (Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



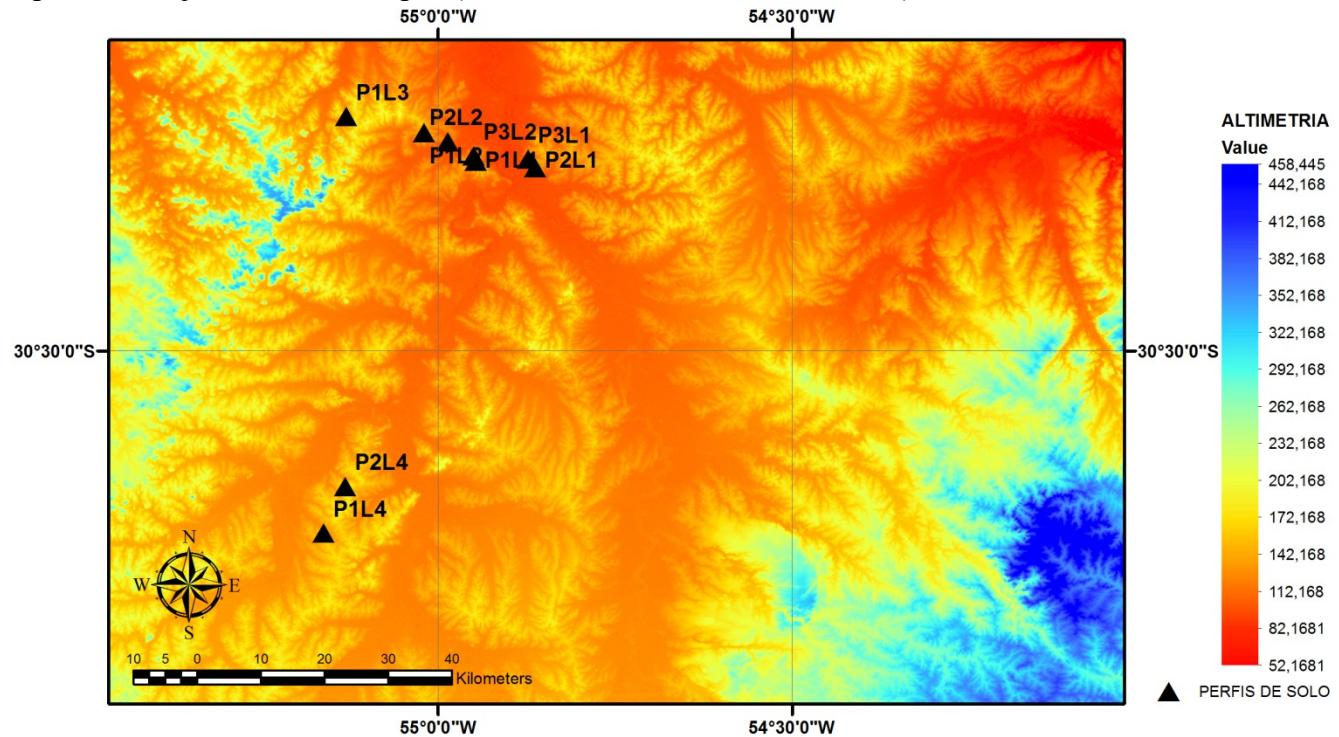
Fonte: produção do próprio autor

Figura 26 – Mapas de derivações geomorfométricas na região dos perfis P1T4-TXp e P2T4-PVd: (A) curvatura horizontal; (B) curvatura vertical; (C) forma do terreno; (D) orientação das vertentes; (E) declividade (*Datum SIRGAS 2000* - escala indicada).



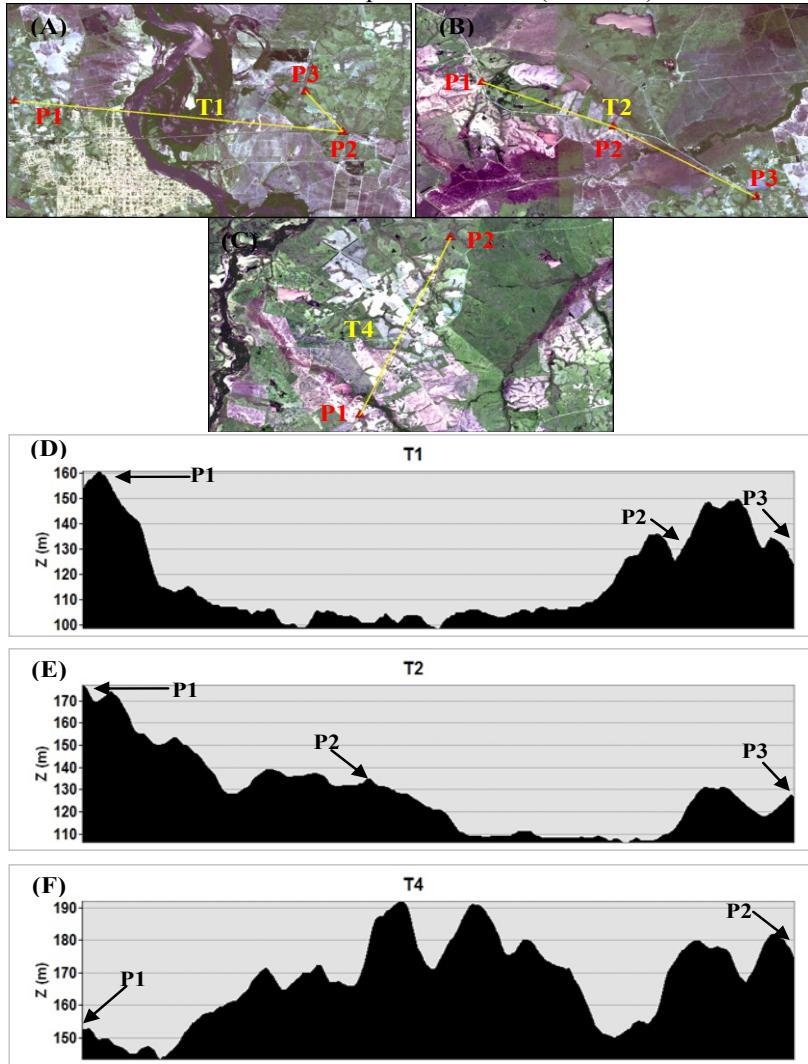
Fonte: produção do próprio autor

Figura 27 – Mapa altimétrico da região (Datum SIRGAS 2000 - escala indicada).



Fonte: produção do próprio autor

Figura 28 – (A), (B) e (C): Traçado das topolitossequências T1 (perfis P1-PVd, P2-PBACal e P3-PAal), T2 (perfis P1-PBACal, P2-TCk e P3-FTd) e T4 (perfis P1-TXp e P2-PVd) (Imagen RapidEye - s/ escala); (D), (E) e (F): Mapa de perfil topográfico das topolitossequências T1, T2 e T4 construído no ArcGis a partir do MDE (s/ Escala).



Fonte: produção do próprio autor

O perfil P1T1-PVd (Figura 23) está posicionado em topo de elevação a 142 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal divergente (classe 4) e curvatura vertical muito convexa (classe 5) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato convergente-retilíneo (classe 2) orientada para o norte (classe 1).

O perfil P2T1-PBACal (Figura 23) está situado em terço médio de encosta a 117 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal convergente (classe 2) e curvatura vertical retilínea (classe 3) em relevo ondulado (classe 3), com vertente no formato planar-retilíneo (classe 5) orientada para o leste (classe 3).

O perfil P3T1-PAal (Figura 23) situa-se em terço inferior a 116 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal divergente (classe 4) e curvatura vertical convexa (classe 4) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato planar-retilíneo (classe 5) orientada para o norte (classe 1).

O perfil P1T2-PBACal (Figura 24) está posicionado em topo de elevação a 167 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal muito divergente (classe 5) e curvatura vertical muito convexa (classe 5) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato divergente-convexo (classe 9) orientada para o sul (classe 5).

O perfil P2T2-TCK (Figura 24) situa-se em terço inferior de elevação a uma altitude de 116 m (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal muito divergente (classe 5) e curvatura vertical convexa (classe 4) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato planar-retilíneo (classe 5) orientada para o norte (classe 1).

O perfil P3T2-FTd (Figura 24) está localizado em terço inferior de encosta a 114 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal muito divergente (classe 5) e curvatura vertical muito convexa (classe 5) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato divergente-convexo (classe 9) orientada para o oeste (classe 7).

O perfil P1T3-LVe (Figura 25) encontra-se em topo de elevação a 177 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal muito divergente (classe 5) e curvatura vertical muito convexa (classe 5) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato divergente-convexo (classe 9) orientada para o sul (classe 5).

O perfil P1T4-TXp (Figura 26) está localizado em topo de declive com 142 m de altitude (MDE) apresentando superfície com

curvatura horizontal planar (classe 3) e curvatura vertical retilíneo (classe 3) em relevo suave ondulado (classe 2), com vertente no formato planar-retilíneo (classe 5) orientada para o sudeste (classe 4).

O perfil P2T4-PVd (Figura 26) encontra-se em topo de elevação a 165 m de altitude (MDE) apresentando superfície com curvatura horizontal convergente (classe 2) e curvatura vertical muito convexa (classe 5) em relevo ondulado (classe 3), com vertente no formato planar-convexo (classe 6) orientada para o nordeste (classe 2).

Conforme o mapa altimétrico (Figura 27) gerado a partir do MDE a elevação na região varia de 50 a 460 m aproximadamente. A região da Campanha apresenta altitude média em torno de 100 metros. Nesta região onde predomina o basalto (porção oeste) o relevo é plano a suave ondulado. Nas áreas de ocorrência do arenito da Formação Botucatu, o relevo atinge altitudes de 200 a 300 metros (Santana do Livramento e proximidades de Rosário do Sul) e comporta-se de forma ondulada. Na parte sudoeste, nas áreas de ocorrência dos sedimentos Gondwânicos, o relevo é suavemente ondulado (BRASIL, 1973).

Em relação à declividade (Figuras 23e, 24e, 25e e 26e), de um modo geral a fase de relevo predominante nos perfis de solo é suave ondulado (classe 2), sendo ondulado (classe 3) apenas na área dos perfis P2T1-PBACal e P2T4-PVd, mas ocorrendo declives que variam de 8 a 20 % em grande parte da extensão territorial da região de estudo. De acordo com Gallant & Wilson (2000) a declividade é considerada um dos mais importantes atributos topográficos que controlam os processos pedogenéticos, afetando diretamente a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água e consequentemente, o teor de água no solo, o potencial de erosão/deposição dentre outros processos importantes na formação dos solos.

A curvatura horizontal (Figuras 23a, 24a, 25a e 26a) expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal, podendo ser descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância traduzindo-se no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo. A curvatura horizontal está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo, através da concentração do escoamento superficial. Os perfis P1T2-PBACal, P2T2-TCk, P3T2-FTd e P1T3-LVe apresentaram curvatura horizontal muito divergente (classe 5); e divergente (classe 4) nos perfis P1T1-PVd e P3T1-PAal. Enquanto que, os perfis P2T1-PBACal e P2T4-PVd apresentam curvatura convergente e o perfil P1T4-TXp planar. As áreas convergentes

representam os vales e as divergentes os interflúvios, onde de acordo com Sirtoli (2008) em seu trabalho de um modo geral, os solos mais profundos e evoluídos tendem a ocupar encostas divergentes e planares, e os solos menos desenvolvidos e mais rasos tendem a ocorrer distribuídos nas convergências e divergências. Já Chagas (2006) afirma que os solos menos desenvolvidos ocorrem apenas em condições de plano convergente, onde a ocorrência está relacionada com a declividade e com o maior fluxo convergente de água nestas áreas, motivo que favorece a morfogênese, levando estes solos a um constante rejuvenescimento por erosão.

A curvatura vertical (Figuras 23b, 24b, 25b e 26b) expressa o formato da vertente quando observada em perfil referindo-se ao caráter convexo/côncavo sendo expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal. Devido à forte relação com o tipo de substrato e com processos de formação do relevo, os estudos de compartimentação da topografia apontam a curvatura vertical como uma variável de alto poder de identificação de unidades homogêneas principalmente para mapeamentos pedológicos e geológicos. Esta variável está relacionada aos processos de migração e acúmulo de matéria através da superfície, atuando indiretamente no equilíbrio entre os processos de pedogênese/morfogênese, além de influenciar a distribuição local do regime hídrico e, consequentemente, o regime térmico (VALERIANO, 2008).

Os perfis P1T1-PVd, P1T2-PBACal, P3T2-FTd, P1T3-LVe e P2T4-PVd apresentaram curvatura vertical muito convexa (classe 5), enquanto que os perfis P3T1-PAal e P2T2-TCk a curvatura foi convexa (classe 4). Já os perfis P2T1-PBACal e P1T4-TXp apresentaram perfil de curvatura na forma retilínea (classe 3), não sendo observada na vertente dos perfis de solo amostrados, formato côncavo e muito côncavo (classes 1 e 2), mas sim, como podem ser visualizado nos mapas, somente nas áreas adjacentes.

De acordo com Troeh (1965), o fluxo de água convergente é condicionado pela pedoforma côncava, enquanto que a pedoforma linear é caracterizada por processos de escoamento superficial. Segundo Resende et al. (1997), a pedoforma côncava possui uma instabilidade maior nas partes mais altas (de remoção) e maior estabilidade nas áreas mais baixas (de acúmulo) ou seja, a erosão dos solos aumenta das pedoformas côncavas para as convexas, passando pela linear que possui maior estabilidade. Deste modo, a forma côncava favorece a concentração de água no sistema enquanto que a forma convexa

favorece a dispersão e perda de água do sistema (RESENDE et al., 2007) Conforme ZebARTH et al. (2002) e MONTANARI et al. (2005) a maior variabilidade espacial dos atributos químicos é favorecida devido as condições pedogeomórficas na pedoforma côncava, onde de acordo com SOUZA et al. (2003) as diferenças na distribuição espacial dos atributos do solo nas diferentes pedoformas estão associadas às variações no relevo (fluxo de água), sendo constatada também uma maior variabilidade da erosão na pedoforma côncava que em áreas lineares. Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento).

A orientação das vertentes (Figuras 23d, 24d, 25d e 26d) pode auxiliar na descrição da estrutura hidrológica superficial, por meio da determinação das linhas de fluxo (canais de drenagem e divisores de água) subsidiando a modelagem de todo o processo de transporte ao longo das vertentes (VALERIANO, 2008). Além disso, a orientação das vertentes está relacionada diretamente com aspectos importantes como evapotranspiração, insolação, teor de água no solo e consequentemente com os atributos do solo (MOORE et al., 1993).

O atributo orientação das vertentes foi organizado em oito classes: norte-N (337,5°-22,5°); nordeste-NE (22,5°-67,5°); leste-E (67,5°-112,5°); sudeste-SE (112,5°-157,5°); sul-S (157,5°-202,5°); sudoeste-SW (202,5°-247,5°); oeste-W (247,5°-292,5°) e noroeste-NW (292,5°-337,5°). Os resultados mostram que na região os perfis que apresentam vertentes orientadas para o N são o P1T1-PVd (352,48°), P3T1-PAal (16,86°) e P2T2-TCk (4,67°); e o P2T4-PVd para NE (52,95°). Para o S foram o P1T2-PBACal (199,34°) e P1T3-LVe (176,4°), e o P1T4-TXp para SE (115,05°). Já o perfil P2T1-PBACal apresentou vertente orientada para o E (96,21°) e o P3T2-FTd para o W (290,34°). Segundo Sirtoli (2008) geralmente os valores mais elevados de radiação solar são encontrados nas porções mais aplinadas e voltadas para o N/NE e onde não existe um sombreamento maior do relevo, e as regiões de menor radiação global são encontradas nas encostas com declividades elevadas e com suas faces voltadas para o S e SW. A radiação solar é fonte primária de energia para processos físicos e biológicos havendo principalmente de acordo com a exposição (norte ou sul) uma grande variação na energia recebida, influenciando no pedoclima e por consequência nas características do solo (RESENDE, 1986).

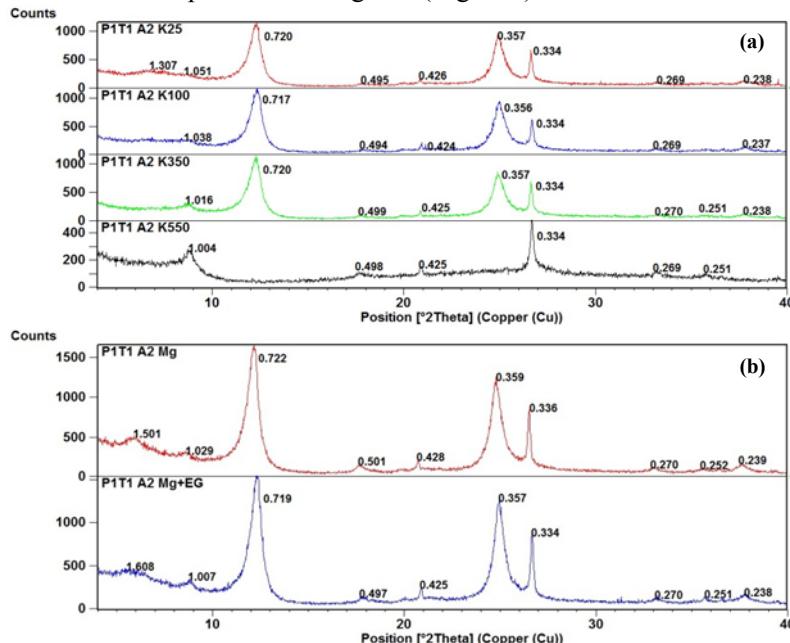
## 6.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA

### 6.3.1 Mineralogia do Perfil P1T1-PVd

No horizonte A2 do perfil P1T1-PVd, o pico 001 da caulinita (Figura 29a) foi o mais intenso na amostra com Mg e K, sendo assimétrico em direção a angulos  $2\theta$  mais baixos, indicando possível contribuição de caulinita com interestratificação de camadas 2:1. O interestratificado pode ser tanto uma caulinita-esmectita (C-E) como caulinita-vermiculita (C-V), menos provável. Há melhor expressão dos picos em torno de 1,0 e 1,5 nm no tratamento com Mg do que no K (Figura 29b), indicativos de micas (1,029 e 0,499 nm) e possivelmente esmectitas (1,501 nm), porém suas quantidades são baixas. Na amostra saturada com K à temperatura ambiente, observa-se ligeira contração das camadas, com expressão de uma banda com elevação maior em torno de 1,3 nm. Por ser um cátion monovalente pouco hidratado, o K já promoveu a 25°C, portanto, certa contração das camadas. Essa banda se dilui com o aquecimento a 100°C, formando um pico em torno de 1,0 nm pelo aquecimento à 350 e 550°C, indicando possivelmente baixa quantidade de material entrecamadas. Pequenas quantidades de quartzo também são identificadas pelos picos de 0,424-0,426 e 0,334 nm, neste último também com possível contribuição do pico secundário da mica. Reflexo entre 0,269-0,271 nm são indicativos de hematita e/ou goethita sendo a hematita confirmada pelo pico de 0,251 nm.

O pico de 1,5 nm no Mg parece ser da vermiculita, que seria produto do intemperismo das micas por perda de K e ganho de Mg. Na amostra com Mg+EG pico de 1,5 nm se dilui mais para ângulos  $2\theta$  mais baixos, formando um patamar, indicando expansão das camadas 2:1, o que pode indicar tratar-se de esmectitas, mas também de vermiculitas dioctaédrais de baixa carga (DOUGLAS, 1989). No difratograma do K350 os picos da caulinita ainda estão bem definidos, mas desaparecem a 550°C, confirmando serem da caulinita. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A2 são de aproximadamente 10 % de 2:1 tipo esmectitas, 2 % de micas tipo ilitas e 88 % de mistura de caulinita com C-E (Tabela 19).

Figura 29 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T1-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

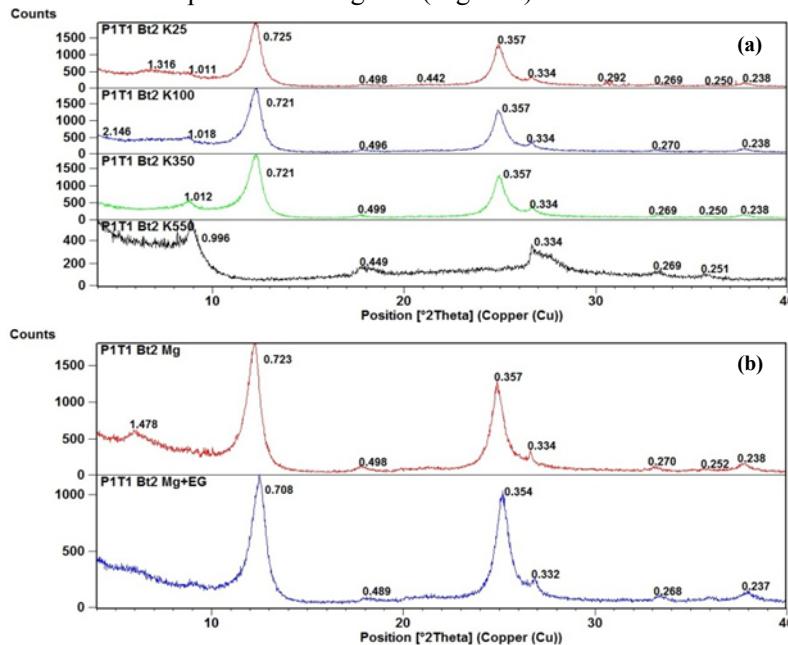


Fonte: produção do próprio autor

No horizonte Bt2 do perfil P1T1-PVd (Figura 30) observa-se um padrão mineralógico muito similar (qualitativa e quantitativamente) ao do horizonte A2, apenas com menores quantidades de quartzo na fração argila. Na amostra saturada com Mg o pico dos minerais de camada 2:1 ocorreu em 1,478 nm enquanto que no K, ambos na temperatura ambiente, ocorreu em 1,316 nm, evidenciando já o caráter expansivo do mineral. Os picos na posição em torno de 0,72 e 0,36 nm foram igualmente largos e assimétricos, sugerindo participação conjunta de caulinita e interestratificados C-E. A grande similaridade mineralógica da fração argila dos horizontes A2 e Bt2, cujas características texturais são altamente contrastantes, reforça a tese de que o alto gradiente textural do solo seja resultante de um processo

pedogenético. Contudo, considerando o resultado da sedimentologia da fração areia ter revelado indicações de descontinuidade litológica, o material mais arenoso que eventualmente recobriu este horizonte mais argiloso, deve ser da mesma natureza mineralógica do Bt2. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte Bt2 são de aproximadamente 10 % de argilominerais de camada 2:1 do tipo esmectitas e de 90 % de misturas de caulinita e C-E (Tabela 19).

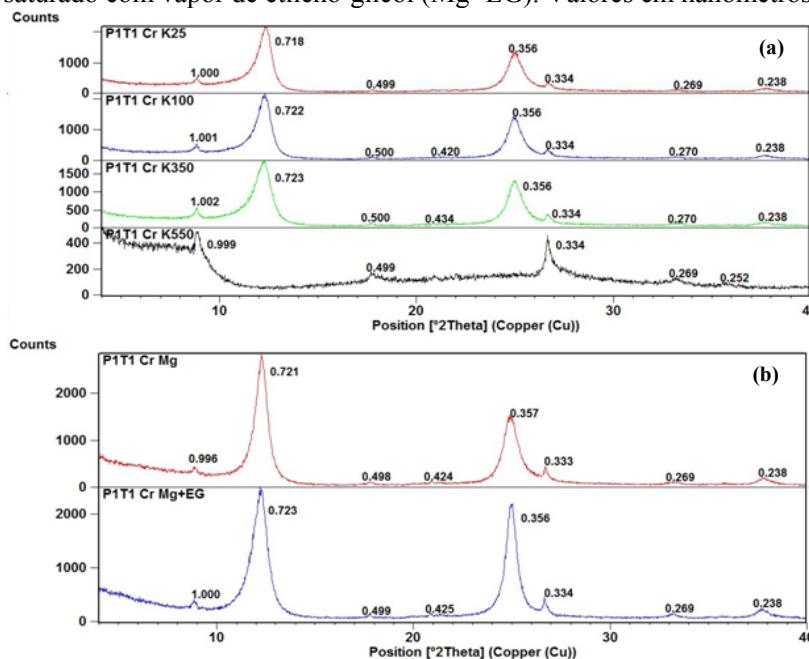
Figura 30 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt2 do perfil P1T1-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

Na camada Cr do perfil P1T1-PVd (Figura 31) o difratograma é muito similar com os horizontes A2 e Bt2, com predomínio de caulinita (picos intensos em 0,721; 0,355 e 0,238 nm), e um pouco de mica tipo ilita (picos em 1,0, 0,499 nm e 0,336 nm). Os picos nas posições em torno de 0,72 e 0,36 nm, no entanto, são igualmente largos e assimétricos, sugerindo que junto com a caulinita, pode haver interestratificados 1:1-2:1, possivelmente decorrentes da destruição das micas com formação de C-E. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra da camada Cr são de aproximadamente apenas 1 % de micas tipo ilitas e 99 % de 1:1 tipo caulinita (Tabela 19).

Figura 31 – Difratogramas da fração argila da camada Cr do perfil P1T1-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.2 Mineralogia do Perfil P2T1-PBACal

No perfil P2T1-PBACal o difratograma do horizonte 2Bt (Figura 33) revelou quantidades muito altas de esmectitas (picos a 1,570 nm nas amostras com Mg), seguidas de caulinitas com picos largos e assimétricos em 0,720 e 0,356 nm, e pequenas quantidades de ilitas (1,009 nm). A confirmação de esmectitas pode ser observada no difratograma da amostra saturada com Mg e glicolada, onde o pico se desloca totalmente para a posição de 1,7 nm. Nas amostras saturadas com K, observa-se mudança paulatina do espaçamento de 1,26 nm (K 25°C) para 0,998 nm (K 550°C). Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte 2Bt são de aproximadamente 85 % de argilominerais 2:1 do grupo das esmectitas e 15 % de 1:1 tipo caulinita, ou caulinita + CE, não tendo sido possível quantificar a área do pico da ilita (Tabela 19).

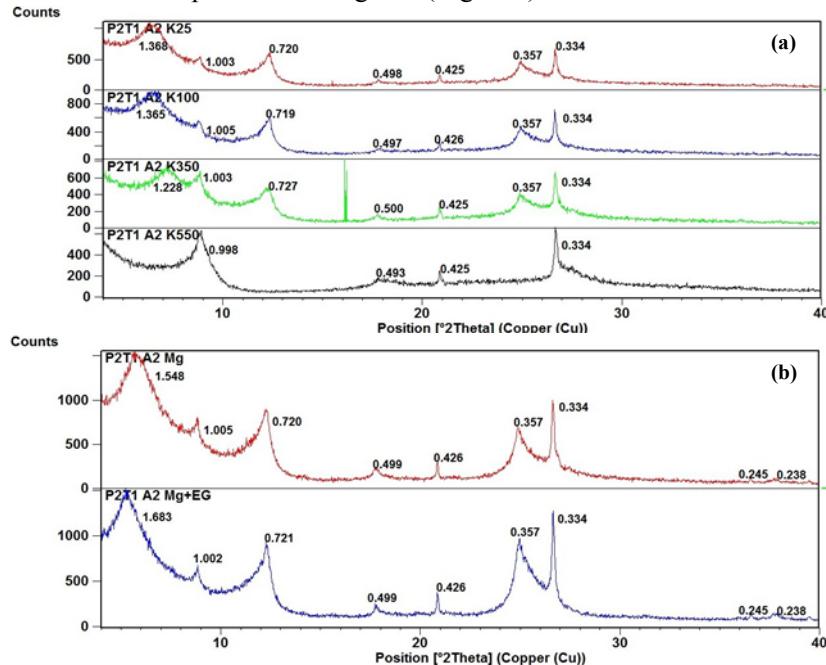
Na camada R do perfil P2T1-PBACal (Figura 34) comparando a amostra do tratamento com Mg com a do K25 observa-se melhor definição do pico na amostra com Mg (1,598 nm), o que já seria indicativo de forte expansão das camadas em condições naturais, sugerindo esmectitas. Na amostra saturada com K a 25°C, como o mineral é muito expansivo, a menor hidratação do K promoveu contração das camadas a 1,212 nm e intensificou bastante o pico em 1,0 nm, mostrando que uma parte destas esmectitas já contraiu completamente as camadas. Na amostra com Mg+EG há uma expansão de 1,598 para valores em torno de 1,710 nm, confirmando assim a presença de esmectita. Na amostra Mg+EG, parte do pico da caulinita, que é pouco intenso, largo e assimétrico para ângulos mais baixos, sofre expansão, formando um pico a 0,845 nm, que parece ter contribuição do pico de segunda ordem das esmectitas e dos interestratificados C-E.

No caso do tratamento com K, o aquecimento da amostra a 100 e 350°C não modificou substancialmente posição dos picos em torno de 1,2 nm, o que poderia ser indicativo de interestratificado mica-vermiculita ou mica-esmectita. Porém, na amostra K550 ele sofre uma contração para valores em torno de 1,0 nm, concluindo-se pela presença de interestratificado mica-esmectita em associação com esmectita pura. Os picos da caulinita (0,722 e 0,357 nm) foram pouco intensos, largos e assimétricos, sugerindo caulinita em mistura com C-E, tal como no Bt2. A presença de mica na amostra Mg é confirmada pelo pico em 1,0 nm, 0,5 nm e 0,334 nm. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra da camada R são de 89 % de 2:1 do

grupo das esmectitas, 2 % de micas tipo ilitas e 9 % de caulinita + C-E (Tabela 19).

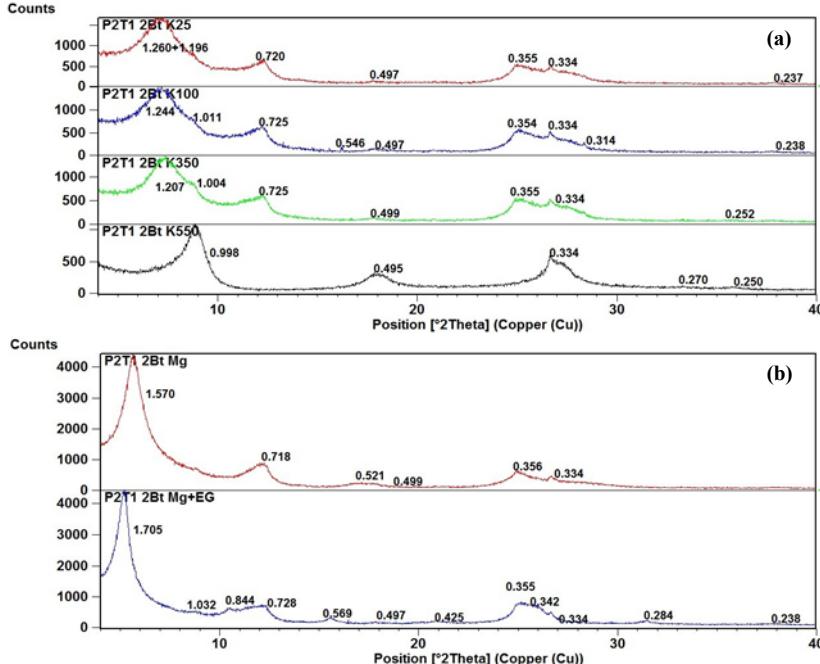
No horizonte A2 (Figura 32), acima da linha de cascalhos, a composição mineralógica foi similar, mas houve diferenças no padrão da esmectita, cujos picos são mais assimétricos do que nos horizontes subjacentes. Além disso, as quantidades de caulinitas + C-E (picos assimétricos em torno de 0,72 e 0,36 nm) foram mais altas. Tais diferenças dão sustentação à hipótese da ocorrência de descontinuidade litológica no perfil. Porém, o material alóctone que contribuiu para a formação dos horizontes A1 e A2, provavelmente seja de natureza similar ao da litologia subjacente. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A2 são de 57 % de esmectitas, 5 % de micas (ilitas) e 38 % de caulinitas + C-E (Tabela 19).

Figura 32 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P2T1-PBACal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



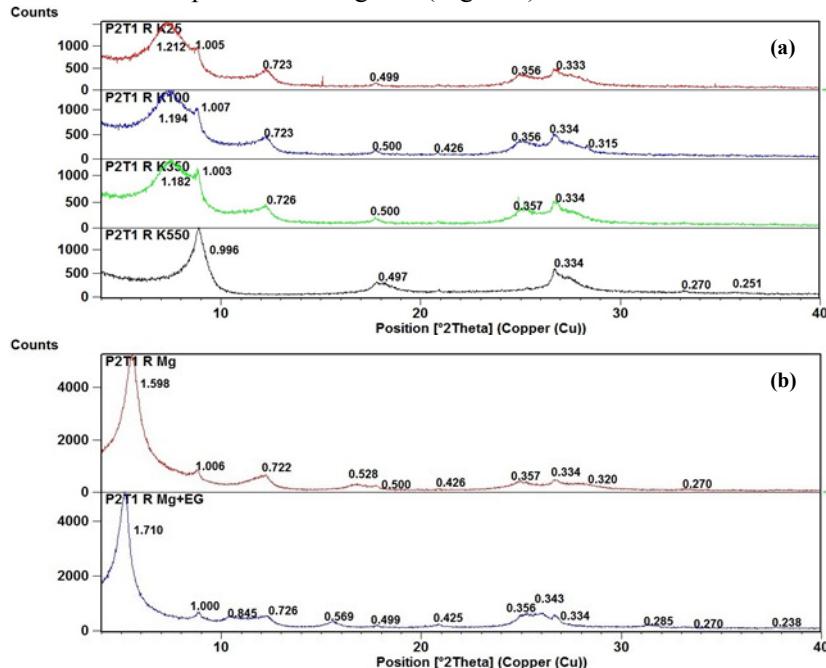
Fonte: produção do próprio autor

Figura 33 – Difratogramas da fração argila do horizonte 2Bt do perfil P2T1-PBACal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 34 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P2T1-PBACal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

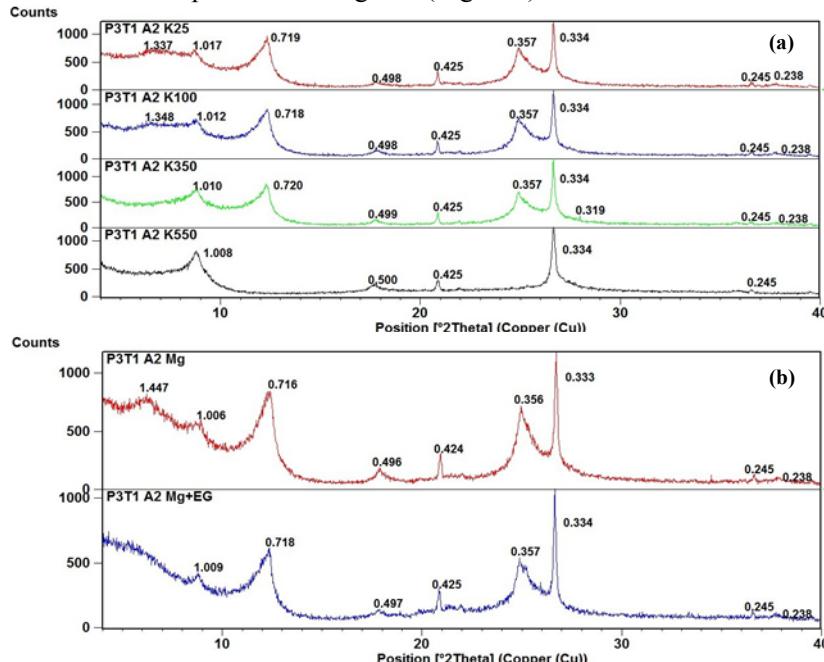
### 6.3.3 Mineralogia do Perfil P3T1-PAal

No perfil P3T1-PAal o difratograma do horizonte A2 (Figura 35) indica picos mais intensos na posição da caulinita (0,718-0,719 nm), tanto nas amostras do Mg como do K a 25°C nas duas figuras, porém com assimetria muito forte para ângulos 2θ mais baixos. Essa é uma feição indicativa de interestratificados 1:1-2:1, possivelmente caulinita-esmectita. No tratamento com Mg, se observa também pico de baixa intensidade em torno de 1,0 nm e outro mais intenso a 1,447 nm, que indicam respectivamente micas (ou ilitas) e filossilicatos 2:1 ou clorita, neste caso em quantidades maiores que a mica. Na amostra Mg+EG o espaçamento d se desloca de 1,45 em direção a 1,8 nm, indicativo de esmectitas (BORCHARDT, 1989), porém a expansão não chega a formar um pico e sim um patamar ascendente, que normalmente está relacionado à presença de interestratificados não regulares, que podem ser de mica-esmectita (SAWHNEY, 1989), possivelmente com mais camadas esmectíticas.

No tratamento K 25°C, o pico em 1,45 nm se dilui formando um patamar em torno de 1,337 nm, indicando uma ocupação irregular do potássio nas entrecamadas, e a presença de mineral 2:1 expansivo. O pico em 1,017 nm também se acentua nesse tratamento, indicando que parte das camadas já sofreu colapso mais completo. Nas amostras aquecidas a 100°C e 350°C observa-se paulatinamente aumento da intensidade do pico em torno de 1,0 nm, e formação de um pico assimétrico em direção a ângulos mais baixos, indicando possivelmente esmectitas com alguma intercalação com polímeros de Al. No tratamento K 550°C o pico fica mais simétrico, podendo ser decorrente da destruição de parte desses polímeros. Os picos em 0,425 e 0,334 nm são indicativos do quartzo.

Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A2 são de aproximadamente 18 % filossilicatos de camada 2:1 (esmectitas e interestratificados mica-esmectita), 9 % de micas (ilitas) e 73 % de caulinita + C-E (Tabela 19), compatíveis com os valores relativamente altos da atividade da fração argila nesse horizonte.

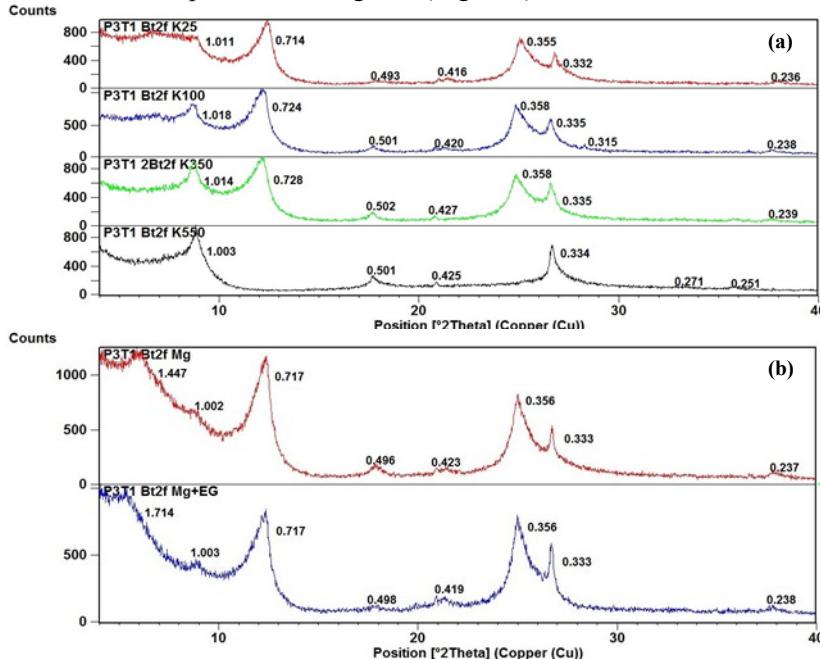
Figura 35 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P3T1-PAal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

No horizonte  $Btf_2$  do perfil P3T1-PAal (Figura 36) a composição mineral é muito similar à do horizonte A2, diferindo deste principalmente pelas menores quantidades de quartzo, de ilita e quantidades de filossilicatos de camada 2:1 ligeiramente mais altos. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte  $Btf_2$  são de aproximadamente 29 % de esmectitas, 2 % de micas (ilitas) e 69 % de caulinita (Tabela 19).

Figura 36 – Difratogramas da fração argila do horizonte Btf<sub>2</sub> do perfil P3T1-PAal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

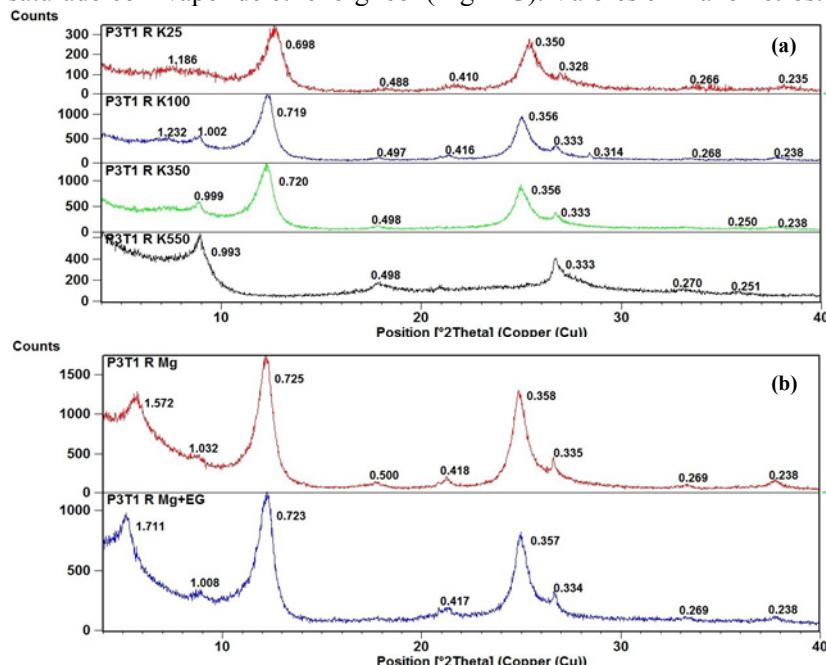


Fonte: produção do próprio autor

Na camada R do perfil P3T1-PAal (Figura 37) a composição dos minerais parece a mesma dos horizontes sobrejacentes indicando certa uniformidade do material, mas que pode não ser confirmada por outros parâmetros como a sedimentologia e a relação Zr/Ti, que foram utilizados para se detectar a presença de descontinuidade litológica. Mas há diferenças importantes: nos tratamentos com Mg e Mg+EG, embora os picos em torno de 0,72 e 0,36 nm continuem sendo os mais intensos, apresentam menor assimetria para ângulos mais baixos, indicativos de caulinitas mais puras, ou seja com menor participação dos interestratificados C-E; além disso há menor expressão dos picos de micas e a amostra glicolada forma um pico mais simétrico em torno de 1,7 nm, indicativo de esmectitas mais puras. Aparentemente têm pouco

quartzo. No tratamento com Mg ocorre pico em 0,418 nm que se mantém nos tratamentos com K a 0,416 nm, bem como em 0,269 nm, indicativo da presença de goethita, compatíveis com a cor amarela do solo. A maior quantidade de esmectita nesta camada, explicaria eventualmente uma CTC e uma atividade mais alta da argila, mas como o teor de argila é muito baixo na rocha (arenito) isso acaba contribuindo pouco para a CTC real do solo. Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte R são de aproximadamente 24 % de esmectitas, 2 % de micas tipo ilitas e 74 % de caulinitas (com pouca C-E) (Tabela 19).

Figura 37 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P3T1-PAal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



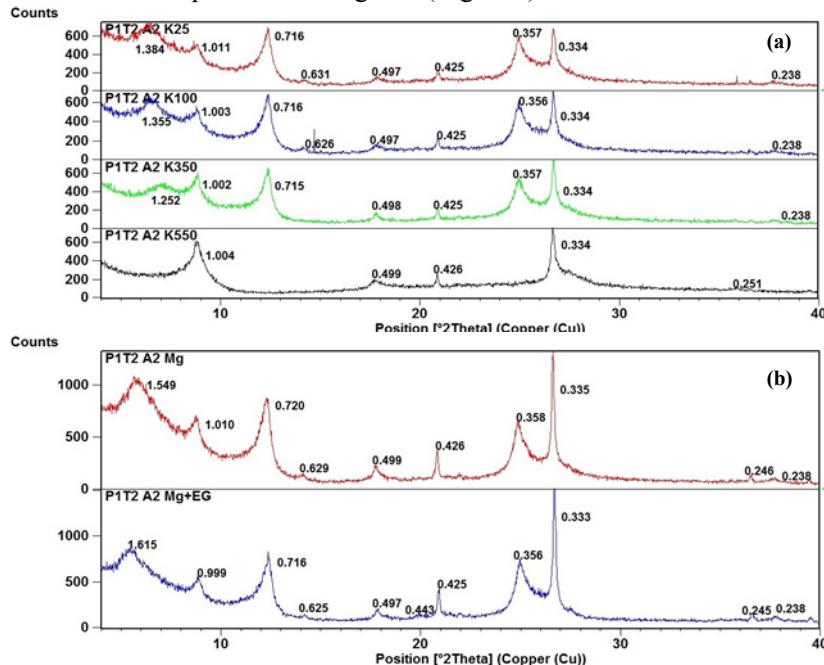
Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.4 Mineralogia do Perfil P1T2-PBACal

A amostra saturada com Mg do horizonte A2 do perfil P1T2-PBACal (Figura 38) indica, aparentemente, proporções mais altas de minerais com picos em torno de 0,72 e 0,36 nm, indicativos de caulinita, e, ou interestratificados 1:1-2:1, seguida de pico muito largo em torno de 1,55 nm, possivelmente indicadores de esmectitas, assim como quantidades menores de mica ou ilita (picos em torno de 1,0, 0,5 e 0,33 nm) e quartzo (picos em 0,42 e 0,33 nm). A confirmação de esmectitas ocorre pela expansão, provavelmente incompleta, do pico de 1,549 para 1,615 nm no tratamento Mg+EG, bem como pela contração, embora incompleta, das camadas nos tratamentos de aquecimento com K. O pequeno reflexo em 0,625 nm foi interpretado como decorrente da presença de pseudo-boehmita, possivelmente formada pela liberação de expressivas quantidades de alumínio provenientes da destruição de esmectitas. Na análise do conjunto dos difratogramas, percebe-se que esse pico desaparece nas amostras com K aquecidas a 350 e 550°C, indicando destruição desse mineral nas temperaturas mais altas.

Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A2 são de aproximadamente 44 % de esmectitas, 12 % de ilitas e 44 % de caulinitas (Tabela 19).

Figura 38 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T2-PBACal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



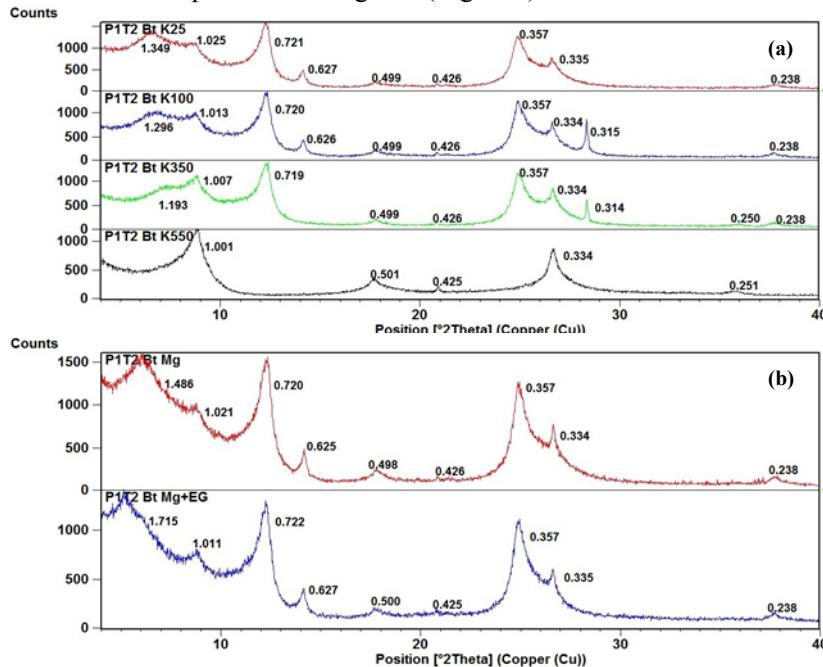
Fonte: produção do próprio autor

No horizonte Bt do perfil P1T2-PBACal (Figura 39) a composição mineralógica é similar a do horizonte anterior, mas a proporção entre a caulinita e as esmectitas são diferentes, predominando nesse horizonte a caulinita. As micas ou ilitas ocorrem como terceito componente em importância na fração argila, identificada pelos picos em torno de 1,0, 0,5 e 0,33 nm na amostra saturada com Mg. Quartzo (picos em 0,42 e 0,33 nm) ocorre em quantidades menores do que no A2, possivelmente pelo fato do horizonte ser mais argiloso. Picos mais bem expressos em 0,625 nm, interpretados como pseudo-boehmita, também foram identificados nesse horizonte. A identificação de esmectitas nesse horizonte é mais clara, pela expansão do pico em 1,486 nm no Mg para 1,715 nm no Mg+EG. O pico em 0,72 nm novamente é assimétrico, podendo indicar caulinita com associação com interestratificados C-E. A caulinita novamente apresentou uma saia/ombro do lado esquerdo podendo ter algum interestratificado junto.

Nas amostras saturadas com K, observa-se que o aquecimento até 350°C não promove um colapso completo das camadas em 1,0 nm; isto somente ocorre pelo aquecimento a 550°C, porém mesmo nessa temperatura, o pico a 1,00 nm mostra ligeira assimetria, indicando possível presença de polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, embora em pequenas quantidades.

Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte Bt são de aproximadamente 37 % de esmectitas, 7 % de micas tipo ilita e 56 % de caulinitas (Tabela 19).

Figura 39 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt do perfil P1T2-PBACal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



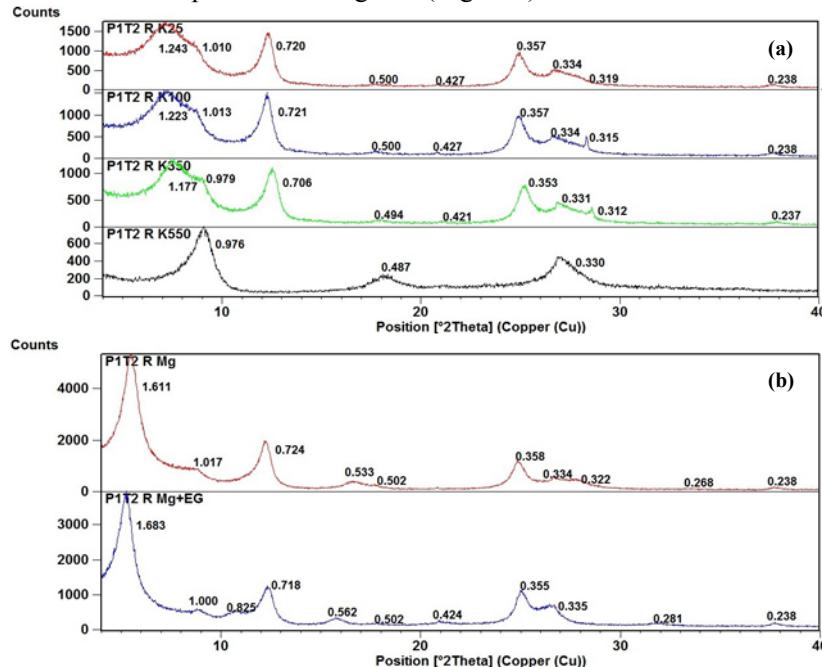
Fonte: produção do próprio autor

No difratograma do Mg da camada R do perfil P1T2-PBACal (Figura 40) observa-se que o pico em 1,611 nm é o mais intenso e de maior área, seguido pelos de valores em torno de 0,72 nm e 1,0 nm, que podem indicar respectivamente esmectitas, caulinita e ilita, nessa ordem de importância. Os tratamentos de glicolação (MG+EG) confirmam muito claramente a presença de esmectitas na rocha subjacente desse perfil, conforme considerações a seguir. Na amostra saturada com Mg somente, observa-se que os picos de primeira ordem da esmectita ocorrem em 1,61 nm, o de segunda ordem ocorre junto ao da caulinita (em torno de 0,8 nm – pouco intenso e pouco aparente), o de terceira ordem a 0,533, o de quarta ordem a 0,4 nm (pouco intenso e pouco aparente), o de quinta ordem a 0,33 nm e o de sexta ordem em torno de 0,27 nm (pouco intenso e pouco aparente). Porém, na amostra glicolada, esses picos sofrem expansão, respectivamente a 1,68, 0,82, 0,57, 0,42, 0,34 e 0,28 nm.

Nos tratamentos com K nota-se aparentemente que é uma esmectita mais pura, porque ela já contraiu bem mais as camadas com temperatura ambiente (K25), e intensificou bem mais o pico da mica que aparecia menos expressivo no Mg. Há um ligeiro deslocamento no aquecimento a 100°C, e no K350 houve um deslocamento a 1,177 nm levantando a hipótese de se tratar de uma EHE, porém com poucos polímeros de Al, já que a 550°C ocorre um pico relativamente simétrico em torno de 1,0 nm.

Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra da camada R são de aproximadamente 74 % de esmectitas, 1 % de micas tipo ilitas e 25 % de caulinitas, possivelmente em associação com pequenas quantidades de C-E (Tabela 19).

Figura 40 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P1T2-PBACal. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

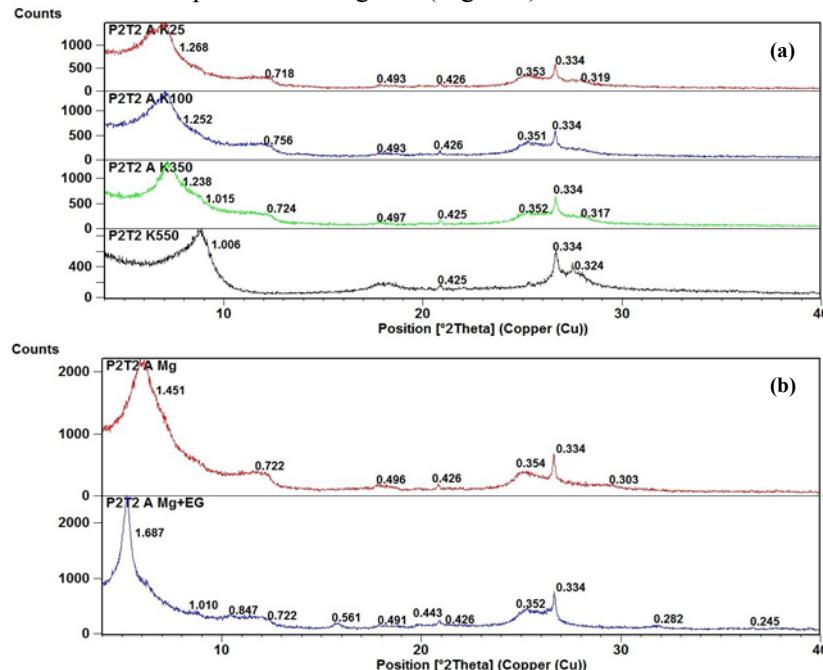
### 6.3.5 Mineralogia do Perfil P2T2-TCk

No horizonte A do perfil P2T2-TCk (Figura 41) nos difratogramas do Mg e Mg+EG há uma modificação substancial no padrão, na posição e na largura dos picos. Nos difratogramas dos horizontes menos alterados Btx (Figura 42) e Cr (Figura 43) aparecem picos bem agudos do interestratificado C-E na posição de 1,57 nm. Aqui a amostra com Mg revela um pico em 1,45 nm muito largo e bastante assimétrico, que se define melhor no Mg+EG expandindo para 1,68 nm, formando um reflexo secundário em 0,84 nm. Observa-se um patamar que vai de 0,72 até 0,84 nm, sendo um forte indicio de interestratificação C-E. No Mg+EG ocorre o 4º pico da esmectita junto com o 2º da caulinita em 0,35 nm. O reflexo do quartzo aparece em 0,42 nm e 0,33 nm.

No difratograma do K observa-se um deslocamento para região próximo a 1,26 nm no K25, mantendo um degrau para o lado esquerdo, indicando uma irregularidade na contração das camadas, definindo-se melhor no K100 em torno de 1,25 nm, 1,23 nm no K350, e desaparecendo completamente no K550. Isso pode indicar a presença de interestratificados clorita-esmectita e de esmectitas sendo formadas.

Concluindo, quantitativamente a princípio as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A são de aproximadamente 93 % de esmectita-clorita em maior quantidade junto com esmectita, e 7 % de interestratificado C-E (Tabela 19).

Figura 41 – Difratogramas da fração argila do horizonte A do perfil P2T2-TCk. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

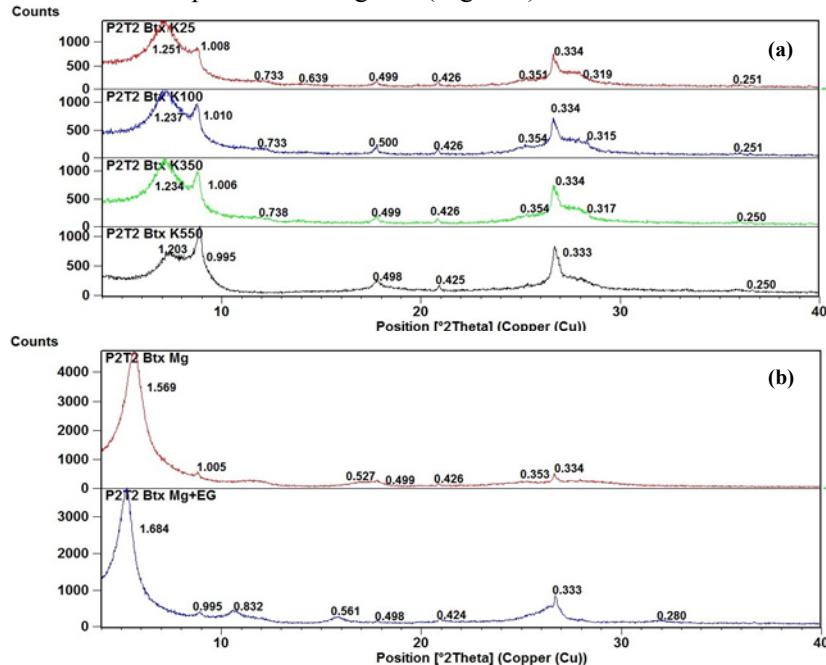
No horizonte Btx do perfil P2T2-TCk (Figura 42) os difratogramas são muito similares com o anterior, os picos ocorrem praticamente nas mesma posições. A diferença é que aparece um pico secundário do quartzo de 30 % de intensidade em 0,42 nm que não aparecia no difratograma anterior. Também aparece o pico principal do quartzo mais agudo se juntando com outro pico desses minerais 2:1 ou 2:2 em 0,33 nm. Aparece já um pouco mais bem definido o pico da ilita em 0,99 nm no Mg+EG e 1,00 nm no Mg.

Nas amostras do K se observa já no K25 uma intensificação bastante grande do pico em 1,00 nm evidenciando que parte das camadas dos minerais 2:1 sofreu contração quase completa, sendo um indicativo da maior presença relativa de minerais 2:1 expansíveis do grupo das esmectitas. No K350 se observa ainda a manutenção de um pico mais intenso em torno de 1,2 nm indicativo de interestratificados clorita-esmectita que foram comentados no difratograma anterior.

A maior presença de esmectita neste horizonte em relação ao Cr pode ser devido à destruição/dissolução de parte destas cloritas interestratificadas com esmectitas, e nesse ambiente então pouco lixiviante que mantém uma alta concentração de silício formou mais esmectitas às expensas da destruição de parte destes interestratificados clorita-esmectita. Então isto pode ser responsável por uma maior CTC deste horizonte em relação à rocha. Parece ter sido formado também um mineral interestratificado do tipo C-E em uma quantidade muito pequena, pois aparece um pico próximo de 0,73 nm.

Quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte Btx são de aproximadamente 99 % de esmectitas junto com interestratificado clorita-esmectita e de apenas 1 % de micas tipo ilitas. (Tabela 19).

Figura 42 – Difratogramas da fração argila do horizonte Btx do perfil P2T2-TCk. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



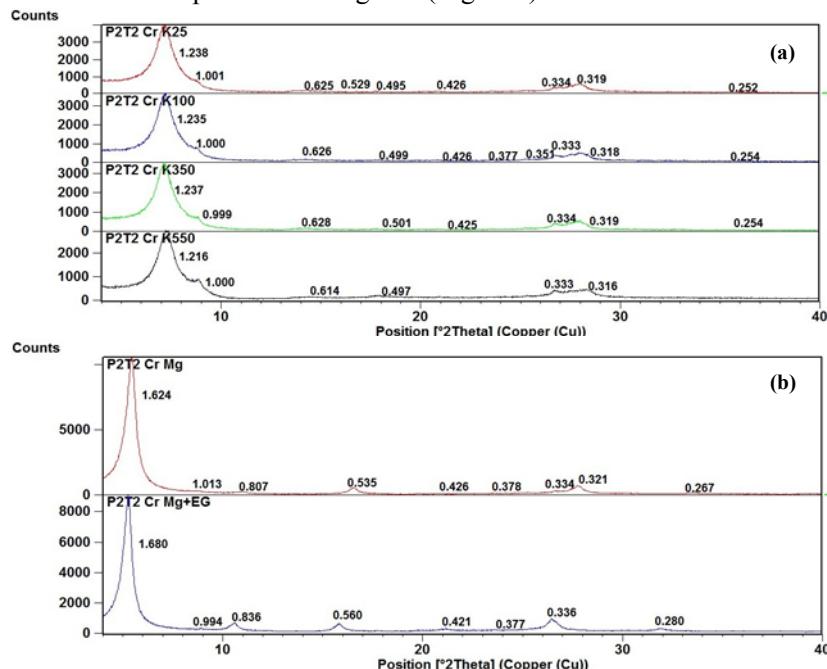
Fonte: produção do próprio autor

No difratograma com o tratamento Mg da camada Cr do perfil P2T2-TCK (Figura 43) observa-se praticamente um único pico muito intenso na posição de 1,62 nm, que se desloca para 1,68 nm na amostra tratada com Mg+EG. Na amostra do Mg aparece o 2º pico da esmectita de baixa intensidade pouco aparente em 0,80 nm e mais definido em 0,83 nm no Mg+EG. No Mg aparece outro reflexo da esmectita em 0,53 nm e 0,32 nm, que se expande no Mg+EG para 0,56 nm e 0,33 nm respectivamente, verificando na fração argila do saprolito a presença praticamente só de esmectita. Aparece um pico em 0,99-1,01 nm que pode ser da ilita, mas em quantidade praticamente inexistente na amostra.

Nos difratogramas do tratamento com K há algo fora do esperado, ao invés de promover a ocorrência de uma contração a 1,0 nm aparece em torno de 1,23 nm. Então não é uma esmectita pura como se imaginava, sendo possivelmente uma interestratificação do tipo clorita-esmectita, se não tiver nada de alumínio entre camada. Como há uma melhor resolução do pico em 0,99 nm, mas de baixa intensidade pode se ter um pouco de esmectita pura ou talvez também um pouco de mica tipo ilita.

Conclui-se que, quantitativamente as proporções dos argilominerais presentes na amostra da camada Cr são de aproximadamente 99 % de clorita interestratificada com esmectita ocorrendo como componente principal, com poucas quantidades de esmectita pura e menos de 1 % de ilita.

Figura 43 – Difratogramas da fração argila da camada Cr do perfil P2T2-TCk. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

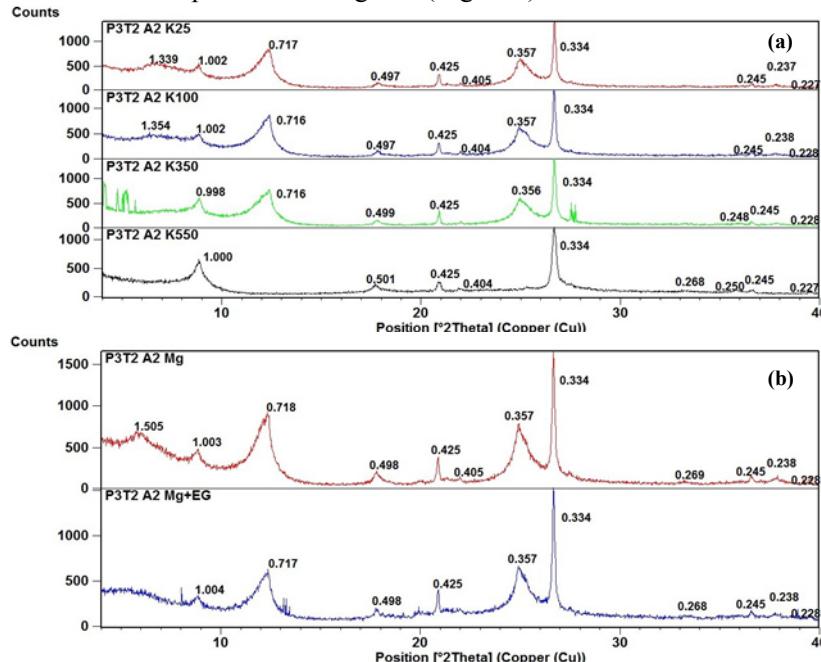


Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.6 Mineralogia do Perfil P3T2-FTd

O difratograma do Mg do horizonte A2 do perfil P3T2-FTd (Figura 44) evidencia pico mais intenso, porém muito assimétrico, em torno de 0,72 nm e 0,36 nm, indicando possivelmente caulinita em associação com caulinita-esmectita como componentes dominantes na amostra. Filossilicatos do tipo 2:1 ocorrem como segundo componente em importância, com pico a 1,5 nm que desloca-se irregularmente para valores de  $d$  acima de 1,6 nm na amostra glicolada, indicando provavelmente esmectitas. Sua presença é confirmada pelos tratamentos de aquecimento na amostra saturada com potássio, onde pelo aquecimento às temperaturas mais altas, forma-se um pico em torno de 1,0 nm, indicando contração das camadas. Porém a contração parece não ser completa, mantendo-se leve assimetria para ângulos mais baixos, assim como a manutenção do “background” alto à esquerda do pico, indicativos de polímeros de Al entrecamadas. Assim, o material foi identificado com EHE. Como terceiro e quarto componentes identificou-se ilita (picos a 1,0 e 0,5 nm) e quartzo (picos a 0,46 e 0,33 nm). Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A2 são de aproximadamente 20 % de EHE, 8 % de micas tipo ilitas e 72 % de caulinitas (Tabela 19).

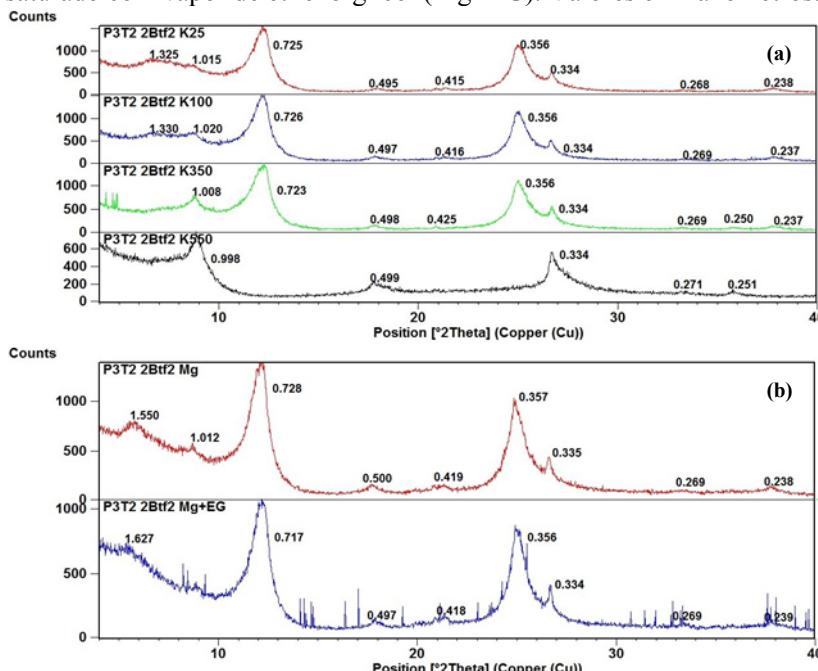
Figura 44 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P3T2-FTd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

No horizonte 2Bt<sub>2</sub> do perfil P3T2-FTd (Figura 45), o padrão dos difratogramas foi similar ao do horizonte A2, indicando os mesmos componentes mineralógicos, cuja semi-quantificação indicou aproximadamente 10 % de EHE, 3 % de micas tipo ilitas e 87 % de caulinitas em associação com caulinita-esmectita (Tabela 19).

Figura 45 – Difratogramas da fração argila do horizonte 2Bt2 do perfil P3T2-FTd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.

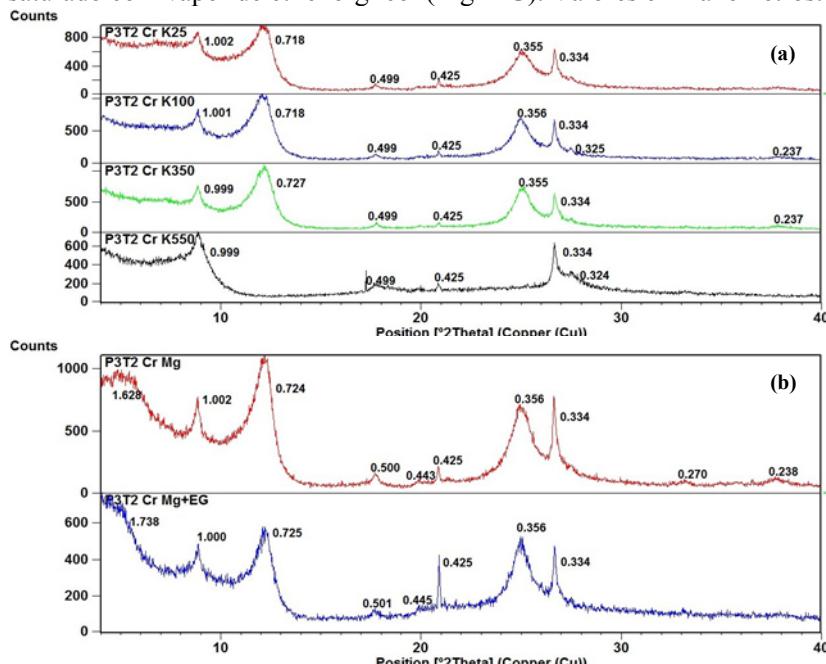


Fonte: produção do próprio autor

Na camada Cr do perfil P3T2-FTd (Figura 46) os componentes mineralógicos são os mesmos dos horizontes superiores, porém com picos de maior área e intensidade com valores em torno de 1,0 nm, indicativos de quantidades mais altas de micas (ou ilitas). Tratando-se de camada mais próxima da rocha, é provável que se trate de pequenos cristais de micas, que pelos processos de intemperismo, originaram as pequenas quantidades de esmectitas presentes nos horizontes superiores.

A estimativa das proporções dos argilominerais presentes na amostra da camada Cr são de aproximadamente 15 % de EHE, 8 % de ilitas e 77 % de caulinitas + intertratificados C-E (Tabela 19).

Figura 46 – Difratogramas da fração argila da camada Cr do perfil P3T2-FTd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.7 Mineralogia do Perfil P1T3-LVe

Comparando-se os difratogramas de Mg das amostras dos horizontes A2, Bw2 e da camada R do perfil P1T3-LVe (Figuras 47, 48 e 49, respectivamente) observa-se muita similaridade dos componentes e das proporções relativas dos minerais entre os horizontes A2 e Bw2. Entretanto, há expressiva variação no comportamento dos picos no intervalo entre 1,0 e 1,4 nm na amostra de argila da rocha. Nos horizontes superiores, os picos mais intensos ocorrem em torno de 0,72 e 0,36 nm, porém são relativamente assimétricos, indicativos de caulinitas provavelmente em associação com interestratificados 1:1-2:1. Picos em torno de 1,0, 0,5 e 0,33 nm são indicativos de mica ou ilita e pico em torno de 1,4 nm indicativos de filossilicatos de camada 2:1 (ou de cloritas). Observa-se que existe ligeiro deslocamento desse pico para espaçamentos maiores, porém diluídos, sem configurar uma posição característica.

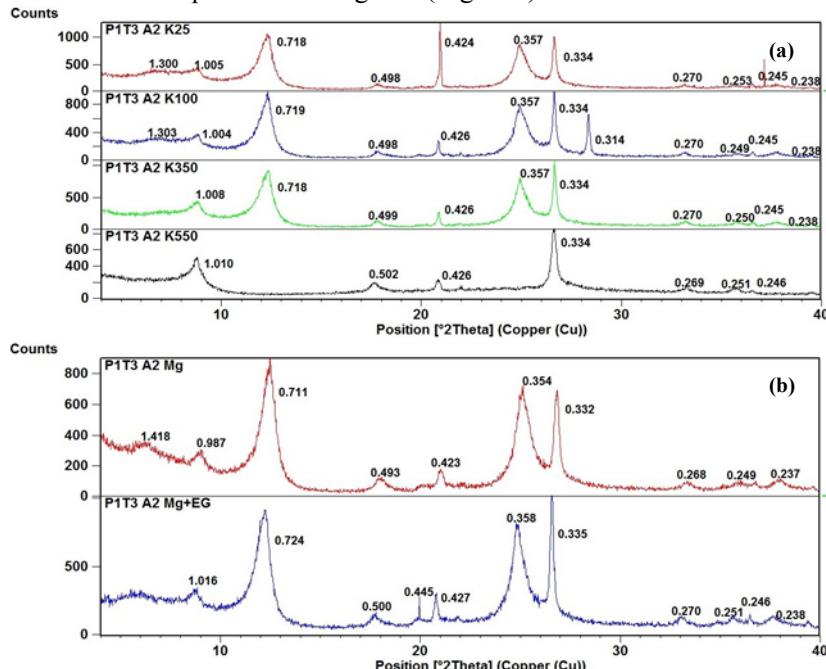
Nos tratamentos com K, o aquecimento promove contração paulatina das camadas, até formar um pico, ainda com assimetria para ângulos mais baixos, pelo aquecimento a 550°C. Esta feição é indicativa da presença, pouco expressiva, de minerais expansíveis, que podem tanto ser esmectitas como vermiculitas com polímeros de Al entrecamadas. Tais minerais, no primeiro caso, podem ter sido formados às expensas da destruição de micas, com formação de esmectitas. No segundo caso pela alteração das micas por perda gradual de K e incorporação de Mg. Isto é confirmado no difratograma da amostra da argila da rocha, em que, independente da saturação com Mg ou K, do aquecimento ou da glicolação, os picos de filossilicatos 2:1 ocorrem somente em valores em torno de 1,0 nm, indicando somente a presença de micas no material de origem.

Com base no exposto, pode considerar-se que nesse solo também há uniformidade no material mineral constitutivo dos horizontes, havendo um aumento das EHE, ou VHE da base para o topo do perfil em decorrência da destruição ou alteração das micas com a formação de EHE ou VHE, configurando, portanto um processo pedogênico e não de descontinuidade de litologias.

Semi-quantitativamente, as proporções dos argilominerais presentes na amostra do horizonte A2 são de aproximadamente 7 % de 2:1 EHE ou VHE, 7 % de micas tipo ilitas e 86 % de caulinitas + interestratificados C-E (Tabela 19). No horizonte Bw2 as proporções são de aproximadamente 8 % de EHE ou VHE, 6 % de ilitas e 86 % de

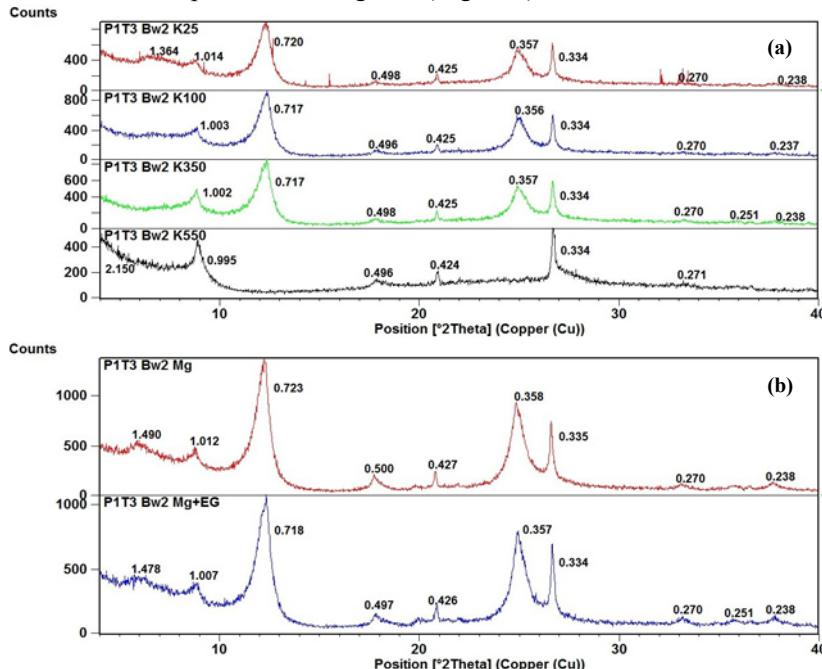
caulinita pura e parte interestratificada com 2:1 (Tabela 19). Já na rocha, aumenta a proporção de ilita, que passa a ser de 21 %, junto com 79% de caulinitas + C-E (Tabela 19).

Figura 47 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T3-LVe. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



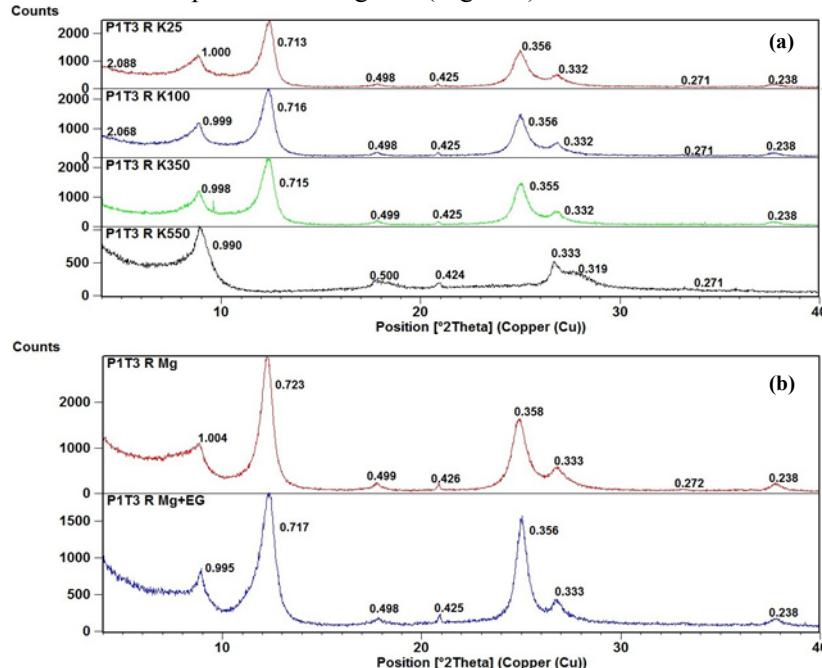
Fonte: produção do próprio autor

Figura 48 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bw2 do perfil P1T3-LVe. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 49 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P1T3-LVe. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.8 Mineralogia do Perfil P1T4-TXp

Para o perfil P1T4-TXp (Figuras 50, 51 e 52) as esmectitas também são dominantes nos horizontes e na camada R subjacente. No horizonte Bt (Figura 51) observa-se que nas amostras saturadas com Mg e K o padrão dos difratogramas é muito similar ao do perfil P2T1-PBACal, também desenvolvido de rochas sedimentares da Formação Sanga-do-Cabral. Picos simétricos, intensos e agudos nas amostras saturadas com Mg na argila do Bt e da rocha (em 1,57 e 1,58 nm, respectivamente) que se deslocam para valores em torno de 1,8 nm pela glicolação, indicam predomínio das esmectitas sobre a caulinita. Nas amostras saturadas com K e aquecidas, observa-se contração paulatina das camadas, mas mesmo após aquecimento a temperatura de 350°C, não se observa colapso completo, o que sugere presença de algum material entrecamadas impedindo o colapso completo. Somente quando aquecidas a 550°C isso ocorre, porém ainda mantendo ligeira assimetria para ângulos  $2\theta$  mais baixos. O aquecimento a 550°C conforme o esperado destrói as caulinitas (desaparecimento dos picos em 0,718 e 0,356 nm). Picos de pequena intensidade em torno de 1,0 e 0,5 nm também são constatados nesses horizontes, indicativos de micas e, ou ilitas. Os picos na posição da caulinita são de muito baixa intensidade, indicando muito baixas quantidades.

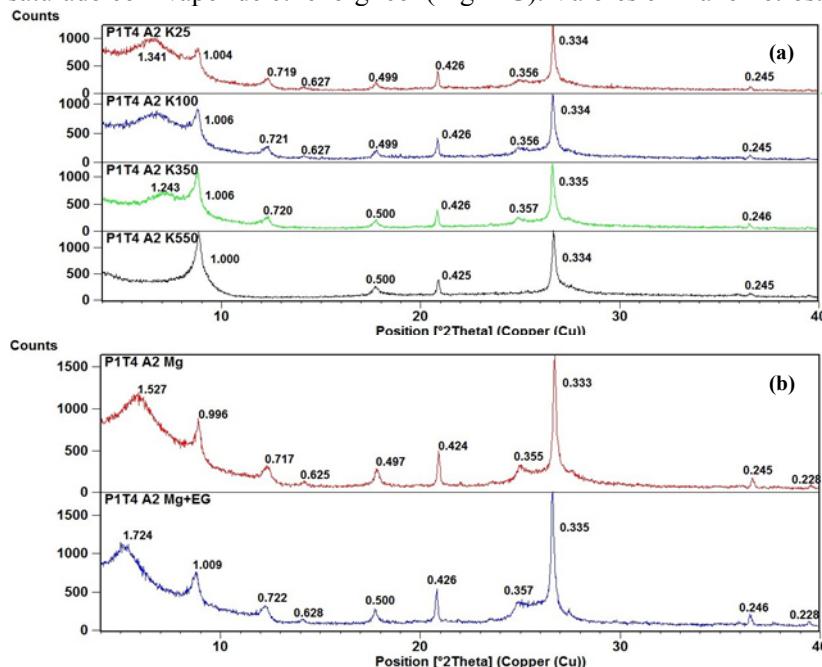
Já no horizonte A2 (Figura 50), embora ainda predominem sobre os demais, os picos de filossilicatos 2:1 expansíveis são mais largos, deslocando-se de valores em torno de 1,53 nm com Mg, para 1,7 nm pela glicolação, indicando esmectitas. Picos da mica e, ou ilita são menos intensos, seguidos por picos ainda menores na posição da caulinita.

De modo similar ao ocorrido nas amostras do perfil P1T2-PBACal, também ocorreram picos pouco intensos em torno de 0,625 nm, interpretados como indicativos de pseudo-boehmitas. Trata-se de um hidróxido de Al de baixa cristalinidade (HSU, 1989), cujo pico desaparece nas amostras saturadas com K e aquecidas a 350 e 550°C. Esse mineral é pouco frequente em solos, e sua presença parece estar relacionada às condições do ambiente com oscilação do nível do lençol freático acima da rocha, que leva a alternância de processos de oxidação e redução, favorecendo processos de ferrólise (BRINCKMANN, 1970). Ambos os perfis de PBAC sobre o Sanga-do-Cabral apresentam conteúdos altos de Ca e Mg, em conjugação com teores muito elevados de Al “trocável”, cujos valores superam 6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Nesses perfis,

postula-se a hipótese de estar ocorrendo destruição das esmectitas (possivelmente beidelitas) por ferrólise, com provável precipitação de compostos de Al de baixa cristalinidade, como a pseudo-boehmita.

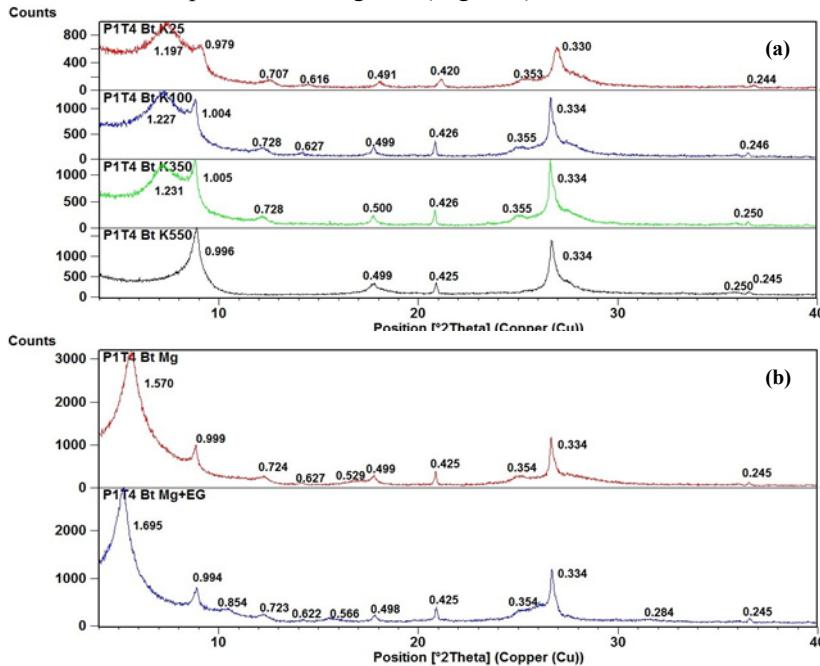
Semi-quantitativamente, as proporções relativas dos argilominerais presentes nos horizontes do perfil P1T4 são de aproximadamente 80 % de esmectitas no A2, 94 % no Bt e 97 no R. As micas e/ou ilitas perfazem 13 % no A2, 4 % no Bt e 1 % no R, enquanto de caulinitas, e/ou C-E representam 7 % no A2, 2 % no Bt e 2 % no R (Tabela 19).

Figura 50 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P1T4-TXp. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etíleno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



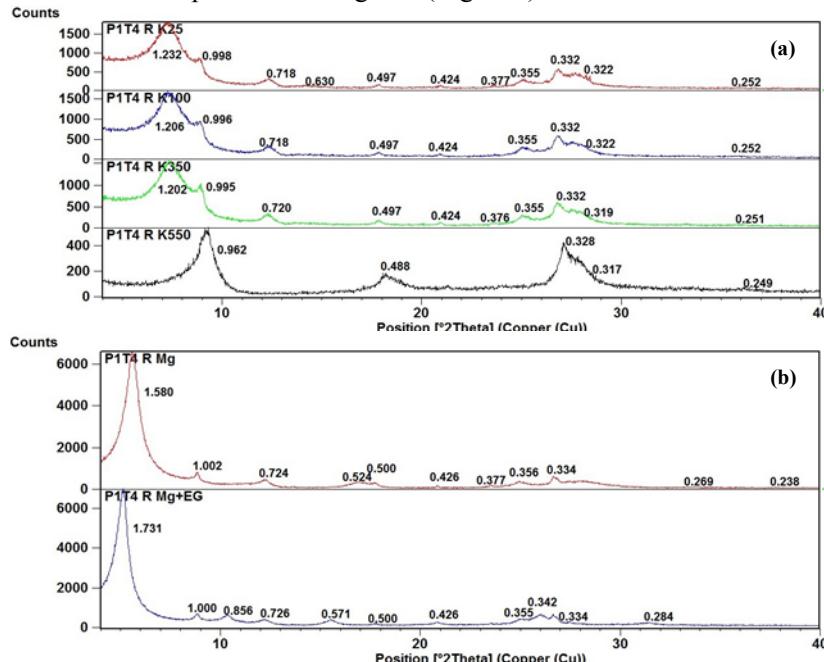
Fonte: produção do próprio autor

Figura 51 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt do perfil P1T4-TXp. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 52 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P1T4-TXp. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



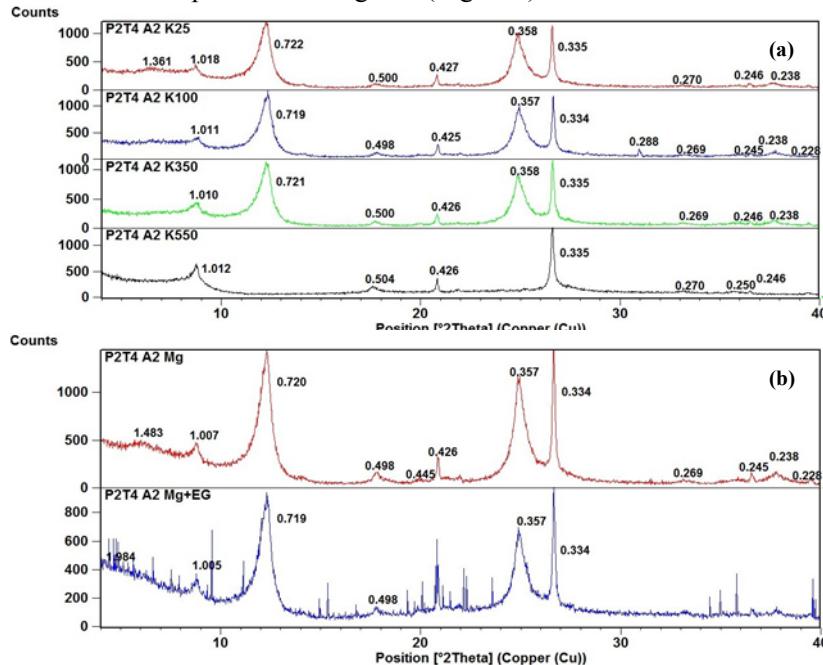
Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.9 Mineralogia do Perfil P2T4-PVd

Nos horizontes A2 e Bt1 do perfil P2T4-PVd (Figuras 53 e 54), os difratogramas entre si são muito semelhantes, com predomínio de caulinita de boa cristalinidade (picos intensos e simétricos em 0,72; 0,357 e 0,238 nm). Apresenta também mica/ilita (picos em torno de 1,007 e 0,498 nm), e um pouco de VHE ou EHE (vermiculita ou esmectita com polímeros de hidróxi-alumínio entre camadas). Já observando o difratograma da camada R (Figura 55) nota-se que a mineralogia predominante se inverte, ocorrendo como primeiro componente mineral tipo 2:1 expansivo (esmectitas), seguido de caulinita como segundo componente, e um pouco de ilita na sua composição. A possível explicação para este fato pode estar associada à destruição das esmectitas com um processo subsequente de neoformação de caulinitas, já que este perfil não apresenta indícios de descontinuidade litológica.

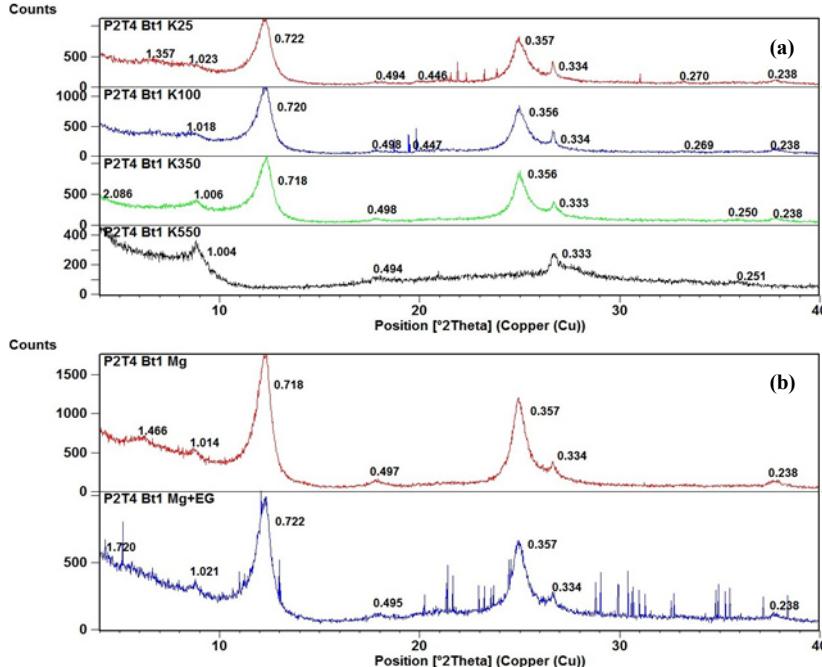
Quantitativamente, as proporções relativas dos argilominerais presentes nos horizontes A2 e Bt1, e na camada R do perfil P2T4 são de aproximadamente 4 % no A2, 5 % no Bt1 e 63 % no R de minerais 2:1 (VHE e/ou EHE); 7 % no A2, 2 % no Bt1 e 2 % no R de micas (ilitas) e de 89 % no A2, 93 % no Bt1 e 35 % no R de caulinitas (Tabela 19).

Figura 53 – Difratogramas da fração argila do horizonte A2 do perfil P2T4-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



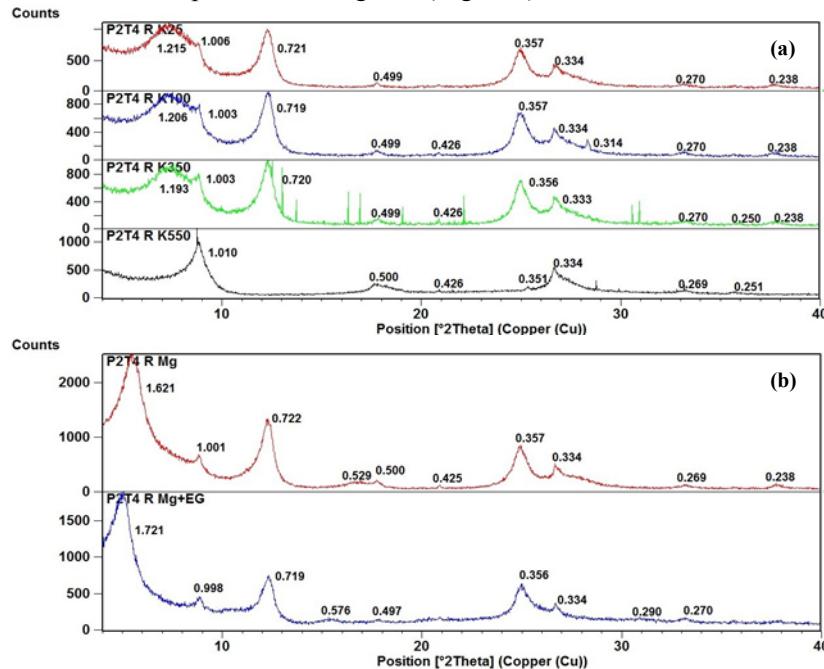
Fonte: produção do próprio autor

Figura 54 – Difratogramas da fração argila do horizonte Bt1 do perfil P2T4-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 55 – Difratogramas da fração argila da camada R do perfil P2T4-PVd. (a) amostras submetidas a tratamento de saturação com potássio em diferentes níveis de aquecimento: temperatura ambiente (K25), a 100°C (K100), 350°C (K350) e a 550°C (K550); (b) amostras submetidas a tratamento de saturação com magnésio (Mg) e magnésio saturado com vapor de etileno-glicol (Mg+EG). Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

### 6.3.10 Parâmetros cristalográficos de argilominerais

Considerando os dados da semi-quantificação dos argilominerais presentes na fração argila (Tabela 19) observa-se que a caulinita foi o mineral predominante na grande maioria dos solos estudados, com exceção dos perfis P2T1-PBACal, P2T2-TCk, P1T4-TXp e parte do perfil P1T2-PBACal, indicando que o comportamento físico-químico dos solos da região da Campanha no RS é fortemente influenciado pela presença desse mineral.

A caulinita geralmente é o principal mineral da fração argila em solos desenvolvidos sob condições tropicais e subtropicais úmidas, sendo a sua neogênese condicionada pelo intenso processo de intemperismo químico e lixiviação de cátions básicos, produtos da dissolução de minerais primários e reprecipitação do Si e Al por processo de dessilicatação parcial (monossialitização), podendo também ocorrer pela dissolução parcial de argilominerais 2:1 (MELO & WYPYCH, 2009).

Os principais parâmetros cristalográficos obtidos para as caulinitas a partir dos dados da DRX (Tabela 19) revelaram que os valores do espaçamento basal entre camadas (d) medidos no plano hkl 001 para as caulinitas variaram de 0,711 a 0,728 nm entre os perfis, demonstrando uma diferença relativamente significativa, o que de certa forma reflete a heterogeneidade dos materiais de origem entre os solos estudados. Há que se considerar, no entanto, que o valor médio desse espaçamento foi obtido através de cálculo matemático pelo software HighScore Plus, o qual simula o formato “médio” do pico na posição em torno de 0,72 nm. Portanto, eventuais assimetrias do pico nessa posição, que poderiam estar indicando a sobreposição dos picos de mais de um mineral, não são consideradas. Segundo Singh & Gilkes (1992), grande amplitude dos valores do espaçamento nessa posição podem significar presença de interestratificados ou mesmo presença de Fe estrutural (MELO et al., 2002). Hart et al. (2002), por outro lado, descreveram a possibilidade de o Fe estrutural promover ajuste diferenciado das camadas octaédricas e tetraédricas, promovendo igualmente alargamento desse espaço.

Tabela 19 – Dados quantitativos de argilominerais e parâmetros cristalográficos de caulinitas de solos.

Perfil/Horizonte	*Proporção relativa dos argilominerais			LMA <sub>Ct</sub>	d <sub>001</sub> Ct (nm)	DMC (hkl) 001	NMC
	A1	A2	A3				
P1T1-A2	10,40	2,00	87,60	0,6952	0,722	16,4	23
P1T1-Bt2	9,60	-	90,40	0,7874	0,723	13,8	19
P1T1-Cr	-	1,22	98,78	0,6919	0,721	16,5	23
P2T1-A2	57,18	4,65	38,17	0,9839	0,720	10,3	14
P2T1-2Bt	84,75	-	15,25	1,1434	0,718	8,5	12
P2T1-R	88,80	1,82	9,38	1,0133	0,722	9,9	14
P3T1-A2	17,55	9,15	73,30	1,1338	0,716	8,6	12
P3T1-Btf <sub>2</sub>	28,78	2,36	68,86	0,9729	0,717	10,5	15
P3T1-R	24,04	1,78	74,18	0,7993	0,725	13,5	19
P1T2-A2	44,37	11,42	44,21	0,6752	0,720	17,1	24
P1T2-Bt	37,54	6,88	55,58	0,8654	0,720	12,2	17
P1T2-R	74,20	1,20	24,60	0,6527	0,724	18,0	25
P2T2-A	93,12	-	6,88	1,2039	0,722	8,0	11
P2T2-Btx	99,67	0,33	-	-	-	-	-
P2T2-Cr	99,5	-	-	-	-	-	-
P3T2-A2	20,23	7,50	72,27	0,9397	0,718	10,9	15
P3T2-2Bt <sub>2</sub>	9,80	2,60	87,60	0,9426	0,728	10,9	15
P3T2-Cr	14,27	8,30	77,43	1,0611	0,724	9,4	13
P1T3-A2	6,60	6,50	86,90	0,8491	0,711	12,5	18
P1T3-Bw <sub>2</sub>	7,60	5,76	86,64	0,8107	0,723	13,3	18
P1T3-R	-	20,55	79,45	0,6535	0,723	18,0	25
P1T4-A2	79,92	13,44	6,64	0,4057	0,717	40,6	57
P1T4-Bt	93,87	4,46	1,67	0,3954	0,724	42,8	59
P1T4-R	96,72	1,44	1,84	0,3372	0,724	62,2	86
P2T4-A2	4,10	6,50	89,40	0,6719	0,720	17,3	24
P2T4-Bt1	5,40	2,10	92,50	0,7837	0,718	13,9	19
P2T4-R	63,10	2,24	34,66	0,7611	0,722	14,5	20

**Observação:** \*Percentual obtido a partir da relação entre as áreas dos picos dos argilominerais considerados: A1 = 2:1 (esmectita ou vermiculita) e/ou 2:1 interestratificado e/ou EHE e/ou VHE; A2 = mica (ilita); A3 = caulinita e/ou caulinita interestratificada. LMA<sub>Ct</sub> = largura a meia altura da caulinita; d<sub>Ct</sub> = valor do espaçamento da entre camada da caulinita em nanômetros; DMC = dimensão média do cristalito da caulinita medido no plano 001 (valor em nanômetros); NMC = número médio de camadas de um cristal de caulinita.

Fonte: produção do próprio autor

Neste estudo, ao menos, parece ter mais influência de interestratificados conforme foi discutido anteriormente na interpretação dos difratogramas, pois não houve correlação entre os teores de  $Fe_2O_3$  determinado por FRX na fração argila (dados não apresentados) e pelo método do ataque sulfúrico na fração TFSA com a LMA das caulinitas, estando ao que parece neste caso o teor de ferro no solo mais relacionado ao processo de destruição das argilas por ferrólise do que no grau de desordem estrutural (aumento da LMA) provocada pela substituição isomórfica de alumínio por ferro na lâmina octaedral das caulinitas.

Os valores da LMA (Tabela 19) variaram de 0,33 a 1,2 °20, característica incomum quando comparados com caulinitas identificadas em outros ambientes brasileiros e do mundo (MELO et al, 2002; CORRÊA et al, 2008). Isso possivelmente decorre do fato, antes mencionado, do cálculo da LMA ser automatizado, com base na simulação matemática do formato do pico na posição “média” em torno de 0,72 nm. De acordo com a fórmula de Scherrer, quanto maior for a LMA do mineral, menor será o valor do DMC. Com base nisso, observa-se que os valores de  $DMC_{001}$ , para a maioria das amostras, foram extremamente baixos (Tabela 19), indicando caulinitas extremamente delgadas, à exceção do perfil P1T4.

Disto se conclui que o “padrão” ou a “morfologia” do pico na posição do espaçamento  $d_{001}$  da caulinita necessita ser considerado com mais atenção quando se interpretam os difratogramas de raios X, levando em conta que as assimetrias podem estar indicando a presença de interestratificados em conjunto com a caulinita.

Os dados de DMC de um modo geral variaram tanto dentro do perfil como entre os perfis, mostrando uma evolução pedogenética diferenciada, o que em parte pode ser devido ao grau diferenciado de intemperização como também às diferenças no material de origem. O número médio de camadas (NMC), calculado pela razão entre a  $DMC_{001}$  e o valor médio do espaçamento  $d_{001}$  variou de 11 a 25 camadas para a maioria dos solos, sendo muito mais alto nas amostras do P1T4-TXp (86 camadas). Conforme as considerações anteriores, portanto, os valores de NMC para a maioria dos solos podem estar subestimados. Informações complementares sobre características de caulinitas em solos brasileiros podem ser encontradas em vários estudos, como os realizados por Palmieri (1986), Ker (1995 e 1997), Melo et al. (2001) e Corrêa (2008), dentre outros.

Comparativamente, o perfil P1T4-TXp é o que apresenta a menor quantidade de caulinita na amostra, mas em contrapartida é o que apresenta o maior grau de cristalinidade (menor LMA) com DMC variando de 40,6 a 42,8 nm nos horizontes A2 e Bt, e de 62,2 nm no R, apresentando um NMC bem mais elevado do que os outros solos.

O perfil P2T2-TCk apresentou caulinita na fração argila somente no horizonte A, perfazendo cerca de 6,8 % na sua composição, apresentando o valor de LMA mais alto em relação aos demais solos, demonstrando ser uma caulinita mal formada e de baixa cristalinidade, com DMC de 8 nm e apenas 11 camadas por cristal.

Os Argissolos Vermelhos distróficos (perfis P1T1-PVd e P2T4-PVd) são os solos que mais têm caulinita na sua composição mineralógica, apresentando nos horizontes A2 e Bt valores de LMA, DMC e NMC semelhantes entre si, evidenciando certa afinidade mineralógica entre os pacotes de sedimentos, já que ambos são desenvolvidos sobre a mesma Formação Pirambóia.

Numa comparação entre o Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico da Formação Pirambóia (perfil P2T1-PBACal) com o da Formação Sanga-do-Cabral (perfil P1T2-PBACal) estes apresentaram diferenças expressivas na quantidade e nas características do material mineral de natureza caulinítica, tanto nos horizontes A e B quanto na litologia subjacente (R). As caulinitas do perfil P1T2-PBACal apresentaram um melhor grau de ordenamento estrutural em relação às do P2T1-PBACal. No horizonte A2 desse último a LMA foi de 0,983 nm com DMC de 10,3 nm e NMC de 14, enquanto que o A2 do P1T2 apresentou LMA de 0,675 nm com DMC de 17,1 nm e 24 camadas. Já no horizonte Bt do P2T1 a LMA foi superior que a do A2 (1,143 nm) com DMC de 8,5 nm e 12 camadas, aonde o Bt do P1T2 apresentou LMA de 0,885 nm com DMC de 12 nm e cerca de 17 camadas. Observa-se também que dentro do perfil as caulinitas do horizonte superficial apresentam-se de um modo geral melhor formadas (maior cristalinidade) do que em subsuperfície.

Também se observa expressiva contribuição de caulinitas na fração argila dos perfis P3T1-PAal (Pirambóia), P3T2-FTd (Sanga-do-Cabral) e P1T3-LVe (Guará), mas todas apresentam parâmetros cristalográficos indicativos de baixa cristalinidade. Normalmente as caulinitas dos solos são de pior cristalinidade do que aquelas de depósitos geológicos (HUGHES & BROWN, 1979; CASES et al., 1981; HERBILLON, 1980). Geralmente as caulinitas de solos menos evoluídos apresentam menor espessura (DMC) devido ao menor

empilhamento de camadas (menor número médio de camadas), aonde independentemente das condições pedobioclimáticas apresentam reduzido crescimento na direção basal (MELO & WYPYCH, 2009). Segundo Hughes & Brown (1979), em regiões de clima tropical a caulinita de solos normalmente apresenta baixa cristalinidade, ou conforme Brindley et al. (1986), um alto grau de desordem estrutural.

#### 6.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

Na sequência são apresentados os resultados dos teores totais dos elementos químicos maiores obtidos utilizando-se a técnica de FRX, nas amostras da fração TFSA da sequência de horizontes e camadas dos perfis de solo estudados (Tabela 20). A composição química está expressa na forma de porcentagem de óxidos, e os dados foram discutidos fazendo comparações dentro do mesmo perfil, dos horizontes em relação à rocha matriz (R) ou na ausência desta com o material saprolítico (Cr), assim como entre os horizontes de superfície e de subsuperfície. Também de um modo geral buscou-se fazer uma comparação entre os diferentes perfis.

Em relação ao  $\text{SiO}_2$  (Tabela 20) nota-se tendência dos teores serem superiores no solo (horizontes A e B) em comparação com o saprolito ou a litologia subjacente, em todos os perfis. Este comportamento era esperado, devido ao fato de todos os solos serem desenvolvidos a partir de litologias de origem sedimentar, onde o quartzo, além de ser o mineral primário mais abundante, também é o mais resistente ao intemperismo. Então, na medida em que os solos foram sendo formados, os outros minerais, mais facilmente decomponíveis, foram sendo intemperizados, liberando elementos químicos da matriz para solução do solo, por exemplo, e posteriormente removidos do sistema por lixiviação, aumentando desta forma a proporção dos teores de  $\text{SiO}_2$  em relação aos outros óxidos.

No que diz respeito ao  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , os teores nos horizontes superficiais foram menores do que aqueles observados nas rochas (R) ou nas camadas C/Cr e Cr, ocorrendo um aumento expressivo a partir do início do horizonte B. Mas somente em uma pequena parte dos perfis, o teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dos horizontes de subsuperfície foi maior do que a rocha. O que fica em evidência é o grande aumento do teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nos horizontes subsuperficiais, o que pode ser explicado em parte pelo enriquecimento do teor de argila iluvial em subsuperfície, mas também pela destruição ou empobrecimento da argila do horizonte A.

Tabela 20 – Teores químicos totais dos elementos maiores expressos em % de óxidos determinada por Fluorescência de Raios-X na fração TFSA dos horizontes nos perfis de solo estudados.

Hor	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
<b>Perfil P1T1-PVd</b>									
A1	84,06	11,46	1,93	0,72	0,60	0,04	0,39	0,14	0,50
A2	82,87	12,65	2,13	0,81	0,55	0,03	0,19	0,13	0,48
AE	86,23	10,04	1,58	0,70	0,49	0,02	0,24	0,05	0,47
E	88,68	8,25	1,22	0,62	0,44	0,01	0,21		0,43
Bt1	69,35	21,54	6,12	0,99	0,52	0,02	0,32	0,20	0,63
Bt2	58,19	30,14	8,59	1,05	0,53	0,02	0,45		0,66
Bt3	57,90	30,51	8,30	1,05	0,50	0,02	0,52	0,28	0,57
BC	56,88	32,42	7,60	0,77	0,45	0,03	0,66	0,35	0,53
C/Cr	57,81	32,20	7,10	0,74	0,48	0,02	0,54	0,32	0,49
Cr	61,32	30,62	4,95	0,47	0,50	0,04	1,16	0,32	0,39
<b>Perfil P2T1-PBACal</b>									
A1	82,17	11,57	1,88	0,55	0,57	0,01	1,30	0,46	1,31
A2	78,91	14,69	2,22	0,66	0,51	0,01	0,92	0,66	1,23
2BA	64,97	23,33	6,83	0,72	0,57	0,01	1,05	1,07	1,14
2Bt	68,02	21,81	4,66	0,56	0,59	0,01	1,31	1,38	1,43
2BC	69,49	21,15	3,49	0,42	0,58	0,01	1,13	1,70	1,77
2C	70,88	20,24	2,49	0,32	0,53	0,02	1,38	1,97	1,97
R	70,61	21,17	2,49	0,36	0,53	0,02	0,98	1,61	2,03
<b>Perfil P3T1-PAal</b>									
A1	85,29	9,76	1,59	0,67	0,50	0,04	0,99	0,23	0,77
A2	80,76	13,50	2,33	0,84	0,55	0,02	0,58	0,26	0,98
AB	76,53	16,41	3,24	0,88	0,54	0,01	0,83	0,34	1,00
BAx	72,54	18,80	4,76	1,09	0,56	0,01	0,52	0,38	1,06
Btf <sub>1</sub>	65,98	22,32	7,48	1,03	0,54	0,02	0,81	0,48	1,02
Btf <sub>2</sub>	68,44	20,63	7,16	1,11	0,51	0,01	0,40	0,43	0,96
Btf <sub>3</sub>	65,95	21,71	8,64	0,96	0,50	0,03	0,60	0,46	0,80
R	56,69	28,63	9,65	0,99	0,57	0,02	1,37	0,60	0,96
<b>Perfil P1T2-PBACal</b>									
A1	83,60	10,21	1,65	0,61	0,58	0,04	1,38	0,42	1,36
A2	83,48	11,35	1,54	0,64	0,59	0,02	0,61	0,40	1,22
A3	79,74	13,85	2,21	0,74	0,57	0,01	0,90	0,49	1,28
BAt	67,54	21,91	5,52	0,86	0,60	0,01	1,00	0,82	1,42
Bt	64,62	24,13	6,33	0,82	0,55	0,01	0,99	0,97	1,29
BC	63,15	25,47	5,95	0,69	0,57	0,01	1,17	1,26	1,46
C/Cr	62,95	25,22	6,46	0,67	0,59	0,02	0,73	1,36	1,70
R	66,04	24,01	2,97	0,49	0,56	0,02	1,53	1,61	2,52
<b>Perfil P2T2-TCk</b>									
A	77,85	13,57	3,32	0,94	0,66	0,02	1,08	0,69	1,57

Continua próxima página

**Tabela 20 – Continuação.**

Hor	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
Btx	77,55	14,00	3,18	0,92	0,62	0,01	1,06	0,75	1,62
Btk	68,63	16,37	4,85	0,98	0,70	0,04	3,85	1,44	2,58
C/Cr	68,69	17,51	5,06	0,96	0,65	0,04	2,00	1,72	2,90
Cr	67,70	18,64	4,53	0,93	0,81	0,03	1,65	1,99	3,16
<b>Perfil P3T2-FTd</b>									
A1	84,68	10,59	1,73	0,77	0,57	0,03	0,50	0,17	0,75
A2	84,83	10,35	1,74	0,82	0,55	0,01	0,57	0,16	0,79
2Btf <sub>1</sub>	68,32	21,76	6,30	1,04	0,53	0,01	0,50	0,38	0,83
2Btf <sub>2</sub>	64,27	24,75	7,24	1,05	0,50	0,01	0,48	0,47	0,86
2Btf <sub>3</sub>	69,60	21,58	5,51	1,14	0,52	0,01	0,42	0,34	0,59
Cr	63,83	25,88	4,12	0,86	0,50	0,02	0,73	1,08	2,70
<b>Perfil P1T3-LVe</b>									
A1	83,23	12,24	1,72	0,62	0,61	0,05	0,59	0,24	0,58
A2	80,51	14,48	2,08	0,72	0,57	0,05	0,55	0,26	0,63
AB	78,97	15,84	2,35	0,73	0,58	0,05	0,35	0,28	0,70
Bw1	78,09	15,92	2,81	0,92	0,62	0,05	0,35	0,26	0,77
Bw2	75,22	18,64	3,06	0,81	0,58	0,03	0,36	0,33	0,76
Bw3	70,83	21,38	4,21	0,91	0,62	0,04	0,51	0,38	0,87
Bwn	64,56	26,03	5,68	0,96	0,60	0,04	0,42	0,49	0,94
R	73,25	22,04	1,84	0,40	0,47	0,03	0,20	0,72	0,90
<b>Perfil P1T4-TXp</b>									
A1	83,53	9,52	2,05	0,60	0,54	0,06	0,60	0,53	2,36
A2	83,41	9,88	2,06	0,64	0,49	0,02	0,45	0,51	2,34
AB	74,11	15,62	4,86	0,81	0,54	0,02	0,57	0,85	2,34
BAt	65,73	19,76	8,38	0,82	0,53	0,02	0,90	1,23	2,25
Bt	65,54	18,34	8,41	0,77	0,46	0,05	1,00	1,64	3,36
BC	64,29	20,77	7,03	0,73	0,51	0,04	1,17	1,71	3,33
C/Cr	64,90	21,21	6,02	0,68	0,50	0,04	1,32	1,82	3,15
R	65,50	21,66	4,79	0,49	0,52	0,04	1,52	2,15	3,00
<b>Perfil P2T4-PVd</b>									
A1	81,82	13,34	2,21	0,69	0,55	0,03	0,29	0,24	0,67
A2	80,87	14,04	2,30	0,71	0,53	0,02	0,40	0,24	0,72
AB	76,25	17,27	3,50	0,84	0,53	0,01	0,29	0,31	0,79
BAt	66,71	23,92	6,01	0,91	0,54	0,01	0,34	0,41	0,87
Bt1	60,60	28,22	7,69	0,91	0,50	0,01	0,36	0,50	0,87
Bt2	60,87	28,14	7,48	0,99	0,50	0,02	0,32	0,49	0,87
R	69,19	24,32	2,95	0,46	0,51	0,01	0,40	0,88	1,10

Fonte: produção do próprio autor

Os maiores teores de  $Al_2O_3$  no horizonte B foram encontrados nos perfis P1T1-PVd e P2T4-PVd.

Os teores de  $Fe_2O_3$  de um modo geral apresentaram o mesmo comportamento ao longo dos perfis, aumentando dos horizontes superficiais em direção aos subjacentes e diminuindo na camada Cr ou na rocha (R), com exceção dos perfis P2T1-PBACal e P3T1-PAal onde o teor na rocha foi maior do que no horizonte B. Em todos os perfis o teor de  $Fe_2O_3$  na média do horizonte A foi inferior ao R ou Cr.

Nota-se também um teor de  $Fe_2O_3$  diferente na litologia dos dois perfis de Argissolos Vermelhos (P1T1 e P2T4) desenvolvidos do Pirambóia, assim como entre o Argissolo Bruno-Acinzentado (P2T1) e o Luvissolo Háplico (P1T4) desta mesma Formação, o que, neste caso, por se tratar de solos mal drenados podem estar sendo afetados por reações redox. Verifica-se que o Argissolo Bruno-Acinzentado da Formação Sanga-do-Cabral (P1T2) apresentou um teor de  $Fe_2O_3$  na rocha semelhante ao P2T1-PBAC e ao P2T4-PVd da Formação Pirambóia.

Dentro dos perfis da Formação Pirambóia o maior teor de  $Fe_2O_3$  na rocha foi encontrado no Argissolo Amarelo do perfil P3T1, sendo praticamente o dobro do encontrado no Argissolo Bruno-Acinzentado (P2T1) e no Luvissolo Háplico (P1T4), e aproximadamente cinco vezes superior daquele verificado nos Argissolos Vermelhos dos perfis P1T1 e P2T4. O que chama a atenção também são os altos valores de  $Fe_2O_3$  nos sub-horizontes do B nos Argissolos Vermelhos comparados aos valores extremamente baixos encontrados no Cr e R destes perfis. A evidência para tal fato decorre não só do incremento significativo de argila em profundidade, mas também das boas condições de drenagem, evitando que parte deste ferro seja reduzido e translocado em solução.

Em relação aos teores de  $TiO_2$ , eles são mais baixos quando comparados com os de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ , sendo os valores dentro dos perfis e entre os perfis muito variáveis.

Os perfis dos Argissolos Vermelhos, dos Argissolos Bruno-Acinzentados, do Latossolo Vermelho e do Luvissolo Háplico, apresentaram valores de  $TiO_2$ , tanto nos sub-horizontes do A quanto do B, maiores do que aqueles observados nas rochas, sendo os teores em subsuperfície em média ligeiramente mais altos do que nos horizontes superficiais. No perfil P2T2-TCK não ocorreu variação, apresentando valores homogêneos nos horizontes em relação às camadas C/Cr e Cr. Os perfis do Argissolo Amarelo e do Plintossolo apresentaram valores

no horizonte A inferiores ao da rocha, ocorrendo incremento somente no horizonte B do perfil do Plintossolo.

Analizando-se os teores de titânio na rocha ou no Cr dos perfis das topossequências T1 e T4, observa-se uma similaridade nos conteúdos desse óxido, cujos valores, com exceção do Argissolo Amarelo (P3T1) se situaram em torno de 0,45 %. Isto demonstra afinidade nas litologias desses perfis, todos desenvolvidos da Formação Pirambóia. A grande discrepância de valores no Argissolo Amarelo pode, portanto, ser indicativa de um pacote sedimentar diferenciado dessa formação, ou mesmo de um sedimento de outra formação geológica.

Embora os teores de  $TiO_2$  tenham tido variações entre os horizontes de um mesmo perfil, as diferenças não foram marcantes, deixando dúvidas sobre seu uso como possível indicador de descontinuidades litológicas nos perfis, uma vez que muitos solos apresentam altos contrastes nos teores de argila, que podem mascarar a interpretação. Considerando isso, os teores de titânio foram analisados em separado na fração areia por FRX e relacionados com o teor de Zircônio, o que será discutido adiante.

Analizando os teores de  $P_2O_5$  nota-se que além da baixa concentração dentro dos perfis, os valores tanto no solo (horizontes A e B) quanto nas rochas e nas camadas de materiais saprolíticos são similares. Isto se deve ao fato de que na dinâmica do solo o P é um dos elementos químicos que apresentam maior estabilidade estrutural em relação ao processo de intemperização, além de baixa mobilidade. Na comparação entre os perfis, mesmo nos solos desenvolvidos de litologias de outras formações geológicas o teor foi semelhante.

No que tange ao  $MnO$ , os teores foram extremamente baixos em todos os perfis, com valores praticamente similares entre e dentro dos perfis.

Os teores de  $CaO$ ,  $MgO$  e  $K_2O$  foram em geral baixos ao longo dos perfis, com valores, na maioria dos casos, ligeiramente superiores na rocha e nos saprolítos. Esse comportamento era esperado, considerando que grande parte dos perfis sofreram intensos processos de lixiviação, apresentando caráter distrófico ou alítico. Entretanto, particularmente no horizonte B dos Argissolos Bruno-Acinzentados e dos Luvissolos, os teores foram mais altos do que nos Argissolos Vermelhos, indicando maior preservação das bases naqueles solos. O menor grau de evolução dos primeiros solos, sua mineralogia com mais esmectitas, assim como

sua posição em áreas com maior tempo de residência de água no perfil, são fatores que certamente favoreceram acúmulo desses elementos.

Quanto aos teores de MgO nota-se que sofreram um aumento gradativo em profundidade a partir da superfície do solo, mas as concentrações nestes horizontes mantiveram-se inferiores aos das camadas Cr ou R.

Atentando para os valores do K<sub>2</sub>O, os maiores teores são observados nos perfis P2T2-TCk e P1T4-TXp. Os teores nos PBAC da Formação Pirambóia (perfis P2T1 e P1T4) diferiram entre si tanto no solo quanto na rocha, no entanto, o teor do perfil P2T1 assemelhou-se com o PBAC da Formação Sanga-do-Cabral (perfil P1T2). Entre os PVD o perfil P2T4 apresentou teores superiores aos do P1T1.

Analizando de modo geral, do ponto de vista pedogenético, o comportamento que se observa da base para o topo dos perfis é um aumento na concentração de SiO<sub>2</sub>, e uma diminuição dos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO e K<sub>2</sub>O, enquanto que os teores de TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e MnO tendem a permanecer mais estáveis frente ao processo de intemperismo. A tendência é ocorrer maior remoção do sistema dos elementos mais solúveis devido à lixiviação (Ca, Mg e K). Apesar da relativamente alta solubilidade da sílica, sua concentração maior nos horizontes acima da rocha deve ocorrer pelo acúmulo residual do quartzo e da formação de argilominerais. Já o comportamento do Al e do Fe deve-se respectivamente pela incorporação na estrutura dos argilominerais e pelo acúmulo residual na forma de óxidos mais estáveis.

## 6.5 EXTRAÇÕES TOTAIS E SELETIVAS

O conhecimento da distribuição relativa das diferentes formas de ferro é de interesse na interpretação da pedogênese, na avaliação das condições e da intensidade do intemperismo, no entendimento do comportamento físico e químico do solo e na classificação de solos (INDA JUNIOR & KÄMPF, 2003).

No solo os óxidos de ferro são compostos, em grande parte de produtos de neoformação derivados da alteração de sedimentos e de materiais do solo (PEREIRA & ANJOS, 1999). Sua identificação pode ser feita de forma direta por técnicas de DRX, ou indiretamente por métodos de quantificação de formas extraíveis de ferro na fração TFSA ou na argila. Entre as metodologias de avaliação indireta tem-se a

extração de ferro com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio ( $Fe_d$ ), com oxalato ácido de amônio ( $Fe_o$ ), e digestão com ácido sulfúrico ( $Fe_s$ ).

Os difratogramas da mineralogia dos óxidos de ferro constam no Apêndice F. Os resultados com as concentrações de ferro e alumínio a partir de diferentes soluções extratoras, e as relações moleculares encontram-se nas tabelas 21 a 29. No caso do ferro, em todos os horizontes dos diferentes solos, os teores apresentaram o seguinte comportamento:  $Fe_s > Fe_d > Fe_o$ .

### 6.5.1 Ataque sulfúrico da terra fina

A digestão com ácido sulfúrico (EMBRAPA, 1979) é utilizada na estimativa da composição elementar total da fração argila, expressando-se os resultados na forma de óxidos. Esses dados geralmente são empregados como fonte de informações na forma de relações moleculares que indicam o estádio de desenvolvimento dos solos (CURI & KÄMPF, 2012). Nos resultados estariam incluídos tanto os óxidos quanto os minerais silicatados que contêm ferro na sua estrutura cristalina (ESPÍRITO SANTO, 1988).

Os teores dos óxidos de ferro e alumínio nos solos investigados, determinados a partir da extração com ácido forte apresentaram grande variação dentro do perfil assim como entre os diferentes solos. Mas em todos os perfis os teores de  $Fe_2O_3$  foram inferiores a 80 g  $kg^{-1}$ , caracterizando solos hipoférreicos (EMBRAPA, 2013).

Nota-se em todos os perfis um aumento nos teores de  $Fe_s$  e  $Al_s$  a partir dos horizontes superficiais em direção aos horizontes de subsuperfície. Esse comportamento é típico de solos com horizonte B textural devido ao incremento no teor de argila e redução do silte e/ou areia em relação aos horizontes de superfície. Após atingirem valor máximo em alguma parte do horizonte B, tendem a decrescer em direção à rocha ou saprolito, com exceção do perfil P2T2-TCk onde houve pequeno aumento no teor do  $Fe_s$ , e do P3T2-FTd, onde ocorreu aumento no  $Al_s$ .

Em relação aos óxidos de alumínio, no horizonte A os teores de  $Al_2O_3$  variaram de 8,77 g  $kg^{-1}$  no P1T1-PVd a 38,07 g  $kg^{-1}$  no P2T2-TCk. No horizonte B os teores de  $Al_2O_3$  variaram de 31,43 g  $kg^{-1}$  no P1T3-LVe a 109,36 g  $kg^{-1}$  no P2T4-PVd.

A respeito dos óxidos de ferro, no horizonte A os teores de  $Fe_2O_3$  variaram de 4,06 g  $kg^{-1}$  no P1T2-PBACal a 15,63 g  $kg^{-1}$  no P2T2-TCk. No horizonte B os teores de  $Fe_2O_3$  variaram de 10,29 g  $kg^{-1}$  no

P1T3-LVe a 38,31 g kg<sup>-1</sup> no P1T1-PVd. Esses baixos valores no solo decorrem simplesmente do fato do material de origem ser composto por rochas sedimentares que apresentam baixa concentração de ferro na sua constituição.

Em virtude de dificuldades operacionais, não foi possível a determinação dos teores totais de silício, o que impediu a discussão acerca dos valores de Ki e Kr da TFSA. A discussão desses índices será feita adiante, com base nos resultados da Fluorescência de Raios X.

### 6.5.2 Extrações seletivas (DCB e oxalato)

O ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) é utilizado na determinação do Fe extraído sucessivamente pela dissolução seletiva dos óxidos de ferro pedogênicos, que inclui formas cristalinas (hematita e goethita), e de baixa cristalinidade, sendo o Fe reduzido pela ação do ditionito, complexado pela solução de citrato, e o bicarbonato atuando como tampão (MEHRA & JACKSON, 1960; HOLMGREN, 1967; INDA JUNIOR & KÄMPF, 2003).

Os teores de Fe<sub>d</sub> aumentaram em profundidade em praticamente todos os perfis, com exceção do P2T2-TCk que apresentou valor no horizonte Bt inferior ao A. Teores mais elevados de óxidos de ferro (Fe<sub>d</sub>) foram observados nos horizontes diagnósticos subsuperficiais (B textural) coincidindo portanto com os horizontes com maior acumulação de argila de natureza iluvial, comportamento este que já era esperado a exemplo do Fe<sub>s</sub>. Em superfície (horizonte A) o perfil P1T2-PBACal apresentou o menor valor de ferro DCB (2,99 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), enquanto que no perfil P1T1-PV foram observados os maiores valores (6,47 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A variação do Fe<sub>d</sub> entre os perfis obedece a seguinte sequência: P1T1-PVd > P2T1-PBACal > P2T2-TCk > P2T4-PVd > P1T3-LVe > P3T1-PAal > P3T2-FTd > P1T4-TXp > P1T2-PBACal. Já em subsuperfície (horizonte B) os menores valores de ferro DCB foram observados no perfil P2T2-TCk (5,62 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sendo que o perfil P1T1-PVd apresentou o maior valor (33,45 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), observando-se a seguinte ordem: P1T1-PVd > P2T4-PVd > P3T1-PAal > P3T2-FTd > P1T2-PBACal > P2T1-PBACal > P1T4-TXp > P1T3-LVe > P2T2-TCk.

Os distintos teores de Fe<sub>d</sub> entre os perfis podem ser explicados em tese, devido a diferenças não só na constituição do material de origem, mas também nas condições de drenagem do perfil afetada pelo relevo e por propriedades intrínsecas do solo. Fato este que pode ser

observado nos dois perfis de Argissolo Vermelho da Formação Pirambóia (P1T1 e P2T4) que apresentam classe acentuadamente e bem drenado respectivamente, e com valores de  $Fe_d$  ligeiramente superiores em relação aos outros perfis.

O método de extração de Fe por oxalato ácido de amônio extrai somente os óxidos de ferro com maior solubilidade e menor grau de cristalinidade, ou seja, formas menos ordenadas como a ferrihidrita e lepidocrocitas (SCHWERTMANN, 1964; McKEAGUE & DAY, 1966).

Nos horizontes diagnósticos de superfície o teor de  $Fe_o$  variou de 0,59 a 2,6 g  $kg^{-1}$  de  $Fe_2O_3$ . Os valores apresentaram a seguinte ordem sequencial: P2T2-TCk > P1T4-TXp > P2T1-PBACal > P1T2-PBACal > P3T1-PAal > P2T4-PVd > P1T1-PVd > P3T2-FTd > P1T3-LVe. Em subsuperfície, no horizonte B os teores de  $Fe_o$  apresentaram a seguinte sequência: P2T4-PVd > P1T2-PBACal > P1T1-PVd > P3T2-FTd > P1T4-TXp > P2T1-PBACal > P3T1-PAal > P1T3-LVe > P2T2-TCk, com valores variando de 0,36 a 3,43 g  $kg^{-1}$  de  $Fe_2O_3$ . A respeito do comportamento da variação dos teores de  $Fe_o$  ele foi diferenciado em relação ao  $Fe_d$ . Nos perfis P2T1-PBACal, P2T2-TCk e P1T4-TXp os teores de  $Fe_o$  diminuíram do horizonte A para o B, enquanto que nos demais perfis apresentaram um incremento. Fatores como o teor de matéria orgânica no solo e a substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura dos minerais, podem inibir a cristalinidade dos óxidos de ferro pedogenéticos (COSTA & BIGHAM, 2009).

O tratamento com oxalato de amônio 0,2 mol  $L^{-1}$  a pH 3 no escuro tem sido usado para estimar formas mal cristalizadas e amorfas de Al no solo (SCHWERTMANN, 1964). Segundo McKeague & Day (1966) o Al extraído com oxalato ácido de amônio compreende formas de alumínio que estão presentes na estrutura dos óxidos de ferro e alumínio de baixa cristalinidade e das caulinitas de baixa cristalinidade. O método presuposto no entanto não é seletivo somente para os compostos de alumínio citados, podendo também extrair o alumínio complexado com a matéria orgânica (SCHWERTMANN, 1973; CORNELL & SCHWERTMANN, 1996).

Em todos os solos os teores de  $Al_o$  foram bem inferiores comparados aos do  $Al_s$ , sendo observados os maiores valores nos horizontes subsuperficiais à exceção do perfil P2T2-TCk. No horizonte A os teores de  $Al_o$  variaram de 0,68 a 2,72 g  $kg^{-1}$  de  $Al_2O_3$  (P2T1-PBACal > P2T2-TCk > P3T1-PAal > P1T4-TXp > P3T2-FTd > P1T2-PBACal > P1T1-PVd > P2T4-PVd > P1T3-LVe); e de 0,98 a 4,59 g  $kg^{-1}$  de  $Al_2O_3$  no horizonte B (P2T1-PBACal > P1T4-TXp > P1T2-PBACal

> P3T2-FTd > P2T4-PVd > P1T1-PVd > P3T1-PAal > P2T2-TCk > P1T3-LVe).

### 6.5.3 Relações moleculares

#### 6.5.3.1 Ferro ( $Fe_s$ , $Fe_d$ , $Fe_o$ ) e alumínio ( $Al_s$ e $Al_o$ )

A relação  $Fe_d/Fe_s$  tem como propósito indicar a reserva de ferro que faz parte de minerais de outros grupos, onde pela ação do intemperismo, este elemento pode ser liberado da estrutura cristalina e, ocasionalmente, transforma-se em óxidos (CORNELL & SCHWERTMANN, 1996). Deste modo, quando a relação for mais próxima de um, ela indica que mais ferro estrutural de minerais primários foi intemperizado para formar óxidos de ferro pedogênicos. Na maioria dos perfis tanto no horizonte A quanto no B a relação  $Fe_d/Fe_s$  foi superior a 0,5 evidenciando a dominância do ferro na forma de óxidos de ferro pedogênicos. Com exceção dos perfis P2T2-TCk e P1T4-TXp que indicam uma maior contribuição de minerais primários no teor de  $Fe_s$ . De acordo com Kämpf & Curi (2000) valores mais baixos de  $Fe_d$  podem ser resultantes da mineralogia do material de origem e/ou do baixo grau de intemperismo dos solos.

A relação  $Fe_o/Fe_d$  é utilizada como índice qualitativo do grau de cristalinidade dos óxidos de ferro (KÄMPF, 1988). Tem por objetivo estimar a concentração de formas de óxidos de ferro de baixa cristalinidade ou não cristalinas em relação aos óxidos de ferro pedogênicos, onde o aumento da razão indica a diminuição do grau de cristalinidade do mineral (KÄMPF & SCHWERTMANN, 1983).

No horizonte superficial os valores da razão  $Fe_o/Fe_d$  obtidos variaram de 0,1 no P1T3-LVe a 0,56 no P1T4-TXp, enquanto que em subsuperfície os teores variaram de 0,06 no horizonte Btf<sub>2</sub> do perfil P3T1-PAal a 0,24 no Bt do P1T2-PBACal. Os baixos valores desta relação indicam que os óxidos de ferro são predominantemente cristalinos em ambos os horizontes (A e B) de todos os perfis. Nota-se claramente que a razão  $Fe_o/Fe_d$  diminui em profundidade em praticamente todos os solos, com exceção do perfil P1T3-LVe que tem um leve aumento, e do perfil P2T4-PVd que se mantém constante. Esse comportamento geral evidencia que os óxidos pedogênicos de maior cristalinidade ( $Fe_d$ ) se encontram em maior parte nos horizontes subsuperficiais. Os teores mais altos de C orgânico observado nos horizontes de superfície pode explicar em parte a maior relação  $Fe_o/Fe_d$ ,

levando em consideração que a matéria orgânica pode inibir a cristalização do Fe (SCHWERTMANN, 1964; SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989).

A relação  $Al_s/Fe_s$  no solo é utilizada para comparar proporcionalmente os teores totais de ferro e alumínio extraídos com ácido forte, cujo resultado reflete a natureza do material de origem (composição mineralógica) e o grau de pedogênese. Somente no horizonte A2 do perfil P1T1-PVd a relação  $Al_s/Fe_s$  foi inferior a 1. No restante dos solos os valores de alumínio foram excepcionalmente elevados quando comparados com os do ferro, variando de 1,43 a 4,52 em superfície, e de 1,51 a 2,48 no horizonte B.

A relação  $Al_o/Fe_o$  apresentou valores elevados, muitas vezes superior ou próximo a 1. Os perfis/horizontes que apresentaram teor de formas de ferro de baixa cristalinidade superior ao de formas de alumínio amorfas dado pelo valor da relação  $Al_o/Fe_o$  inferior a 1, foram o A2 e Bt do P1T2-PBACal, A do P2T2-TCk, A2 e Bw2 do P1T3-LVe, A2 do P1T4-TXp e A2 e Bt1 do P2T4-PVd.

A maioria dos perfis demonstra um comportamento crescente da relação  $Al_o/Fe_o$  a partir do horizonte A, indicando um aumento relativo na participação de formas inorgânicas amorfas do Al em relação às do ferro em profundidade. Somente no perfil P1T1-PVd a relação  $Al_o/Fe_o$  diminuiu do horizonte A para o Bt. Nos perfis P1T2-PBACal, P1T3-LVe e P2T4-PVd a relação  $Al_o/Fe_o$  se manteve praticamente constante entre os horizontes, mas outro fato observado foi que nestes perfis apesar de apresentarem relação  $Al_s/Fe_s$  alta ( $> 2$ ) apresentaram relação  $Al_o/Fe_o$  baixa ( $< 1$ ).

#### 6.5.3.2 Índices Ki e Kr

Os índices Ki e Kr são empregados como referência no estudo da taxa de intemperismo em solos tropicais e subtropicais (KEHRIG, 1949; CARVALHO, 1956; MELO et al., 1995; EMBRAPA, 1997).

Em função da baixa solubilidade do Al em relação ao Si, ele é usado junto com o silício para avaliar o grau de evolução de materiais em decomposição, por meio da relação molecular entre sílica e alumina ( $SiO_2 / Al_2O_3$ ) denominado de índice Ki. Ele é um indicador do processo de dessilicificação, utilizado para estabelecer um limite entre solos mais intemperizados ( $Ki < 2$ ) e menos intemperizados ( $Ki > 2$ ), além de ser um referencial empregado na definição de horizonte B latossólico ( $Ki < 2,2$ ) e de fornecer uma estimativa da relação caulinita – gibbsita nos

solos. Já o índice Kr representa a relação molecular entre a sílica (alta mobilidade) e o alumínio + ferro (baixa mobilidade). Ele é mais indicado para solos intemperizados onde a formação de óxidos e oxihidróxidos de Fe contrastam com a baixa formação de óxidos e oxihidróxido de Al. O índice Kr é empregado para separar solos cauliníticos de solos oxídicos (RESENDE & SANTANA, 1998; IBGE, 2005). Como parâmetro interpretativo utilizou-se as seguintes referências:

- Ki > 0,75 e Kr > 0,75 – solos cauliníticos;
- Ki < 0,75 – solos gibbsíticos;
- Kr < 0,75 – solos oxídicos (hematíticos ou goethíticos);
- Ki em torno de 2 – solos predominantemente cauliníticos;
- Ki > 3,5 – solos com predomínio de filossilicatos de camada 2:1.

Os dados dos índices Ki e Kr dos perfis encontram-se nas tabelas 21 a 29. Vale ressaltar que os valores foram calculados a partir da determinação elementar utilizando FRX, analisada em amostras da fração argila total dos horizontes. A FRX se destaca por ser uma técnica instrumental não destrutiva que permite a determinação simultânea de vários elementos de modo rápido e com baixo custo (CARNEIRO & NASCIMENTO FILHO, 1996; ABREU JR et al., 2009).

Os resultados mostram valores de Ki relativamente elevados para a ampla maioria dos solos, com valores sempre superiores a 2. Considerando o conjunto dos solos com maior grau de evolução (Argissolos Vermelho e Amarelo, Latossolo Vermelho e Plintossolo), os valores do Ki situaram-se entre 2,2 e 2,7 no horizonte B, os quais seriam compatíveis com uma mineralogia caulinítica em conjunto com quantidades expressivas de filossilicatos de camada 2:1. No horizonte A desses solos os valores de Ki foram mais altos do que no B, possivelmente em decorrência da constituição mais arenosa desses horizontes, onde a presença de quartzo finamente dividido pode ter contribuído para aumentar os teores de silício totais e com isso aumentar o Ki. Nesses solos, no entanto, as quantidades de filossilicatos de camada 2:1 foram relativamente baixas, sugerindo que os parâmetros de Ki do ataque sulfúrico atualmente utilizado para interpretar a mineralogia dos solos não podem ser utilizados com o mesmo significado quando se usa dados de FRX.

Em relação aos solos menos evoluídos, constituídos pelos Argissolos Bruno-Acinzentados e os Luvissolos, os valores de Ki foram ainda mais altos, nesse caso com valores consistentes com a mineralogia

predominantemente esmectítica desses solos constatada por DRX, variando de 2,7 a 4,2 nos horizontes Bt.

No entanto, os valores de Ki e Kr da fração argila ainda são muito inferiores aos observados por Santos et al. (2010). Estes autores realizaram análises elementares por FRX na fração TFSA, quantificando os teores de silício presentes não só nos minerais de argila, mas também em minerais primários silicatados como o quartzo. Tendo em vista as dificuldades de interpretação dos resultados de índices de intemperismo quando se utilizam técnicas de quantificação elementar diferentes, mas considerando que a técnica de FRX tem como vantagens maior rapidez e quantificação dos elementos relativamente precisas, torna-se necessário proceder a estudos de correlação entre os dois métodos (ASTF e FRX), bem como padronizar e definir novos intervalos de variação dos índices de intemperismo por FRX, utilizando-se, preferencialmente análises da fração argila.

Todos os perfis apresentaram índice Kr superior a 0,75. No tempo em que a rocha matriz é alterada pela ação do intemperismo e o grau de pedogênese evolui, nos horizontes subsuperficiais acabam por ocorrer perdas mais intensas nos teores de Si e um aumento relativo de Fe, Al, por este fato os valores de Ki e Kr foram menores nos horizontes em subsuperfície, indicando um maior grau de intemperização em profundidade. Com exceção do perfil P2T2-TCk que apresentou valores menores em superfície, provavelmente devido à neogênese de minerais secundários. Geralmente, os solos que apresentam índices Ki maiores são menos intemperizados e resultam em solos com maior reserva nutricional, fato que pode ser observado através dos valores de CTC. De modo geral, por causa da conformação topográfica observa-se que nos perfis com relação Ki mais baixa há uma tendência direcionada à formação de minerais 1:1 pela remoção do silício do sistema devido às melhores condições de drenagem. Segundo Santos et al. (2010) a acumulação da sílica é favorecida pela má drenagem, com possível transformação das argilas 2:1 e neoformação de argilas 1:1.

Tabela 21 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T1-PVd.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	8,77	7,96	1,21	0,69	6,47		
AE	-	-	-	-	-		
E	-	-	-	-	-		
Bt1	-	-	-	-	-		
Bt2	99,67	38,31	3,08	2,23	33,45		
Bt3	-	-	-	-	-		
BC	-	-	-	-	-		
C/Cr	-	-	-	-	-		
Cr	-	-	1,10	0,70	6,30		
Bt2 (cerosidade)	-	-	5,45	4,37	37,03		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>o</sub> /Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	2,8	2,2	0,83	1,32	0,09	0,81	0,11
AE	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-
Bt1	-	-	-	-	-	-	-
Bt2	2,2	1,7	1,97	1,04	0,06	0,87	0,07
Bt3	-	-	-	-	-	-	-
BC	-	-	-	-	-	-	-
C/Cr	-	-	-	-	-	-	-
Cr	3,4	2,6	-	1,23	-	-	0,11
Bt2 (cerosidade)	-	-	-	0,94	-	-	0,12

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 22 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P2T1-PBACal.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	17,00	9,02	2,72	1,97	6,43		
2BA	-	-	-	-	-		
2Bt	68,42	21,00	4,59	1,46	13,19		
2BC	-	-	-	-	-		
2C	33,51	11,59	1,29	0,41	5,70		
R	31,23	10,73	1,19	0,19	6,33		
2BC M.aver	-	-	3,15	4,09	18,38		
2BC M.acinz	-	-	3,62	0,66	1,60		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr (FRX)	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>o</sub> /Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	3,4	2,7	1,43	1,04	0,22	0,71	0,31
2BA	-	-	-	-	-	-	-
2Bt	3,0	2,5	2,47	2,37	0,07	0,63	0,11
2BC	-	-	-	-	-	-	-
2C	3,3	2,8	2,19	2,39	0,04	0,49	0,07
R	2,3	1,8	2,20	4,97	0,02	0,59	0,03
2BC M.aver	-	-	-	0,58	-	-	0,22
2BC M.acin	-	-	-	4,13	-	-	0,41

**Observação:** M.aver = manchas avermelhadas; M.acin= manchas acinzentadas.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 23 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P3T1-PAal.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	24,45	4,10	1,54	0,95	5,33		
AB	-	-	-	-	-		
BAx	-	-	-	-	-		
Btf <sub>1</sub>	-	-	-	-	-		
Btf <sub>2</sub>	61,12	30,56	2,98	1,25	19,62		
Btf <sub>3</sub>	-	-	-	-	-		
R	27,67	17,73	0,79	0,27	14,00		
Btf <sub>3</sub> M.aver	-	-	3,59	3,96	43,37		
Btf <sub>3</sub> M.acinz	-	-	3,16	0,70	5,44		
<b>Relações moleculares</b>							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr (FRX)	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>0</sub> /Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	3,3	2,6	4,52	1,23	0,23	1,30	0,18
AB	-	-	-	-	-	-	-
BAx	-	-	-	-	-	-	-
Btf <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	-
Btf <sub>2</sub>	2,7	2,2	1,51	1,80	0,04	0,64	0,06
Btf <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-
R	2,5	1,9	1,18	2,29	0,01	0,79	0,02
Btf <sub>3</sub> M.aver	-	-	-	0,68	-	-	0,09
Btf <sub>3</sub> M.acinz	-	-	-	3,44	-	-	0,13

**Observação:** M.aver = manchas avermelhadas; M.acin= manchas acinzentadas.  
Fonte: produção do próprio autor

Tabela 24 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T2-PBACal.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	12,83	4,06	1,27	0,99	2,99		
A3	-	-	-	-	-		
BAt	-	-	-	-	-		
Bt	69,84	21,75	3,89	3,23	13,41		
BC	-	-	-	-	-		
C/Cr	40,34	10,33	2,34	1,85	6,43		
R	-	-	-	-	-		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr (FRX)	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>o</sub> /Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	4,8	3,8	2,39	0,97	0,24	0,74	0,33
A3	-	-	-	-	-	-	-
BAt	-	-	-	-	-	-	-
Bt	2,7	2,2	2,43	0,91	0,15	0,62	0,24
BC	-	-	-	-	-	-	-
C/Cr	2,9	2,3	2,96	0,96	0,18	0,62	0,29
R	3,2	2,8	-	-	-	-	-

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 25 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P2T2-TCk.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A	38,07	15,63	2,43	2,60	6,31		
Btx	-	-	-	-	-		
Bt	55,27	19,13	1,31	0,36	5,62		
C/Cr	-	-	-	-	-		
Cr	53,58	24,19	0,87	0,15	7,43		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr (FRX)	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>o</sub> /Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
A	3,3	2,6	1,84	0,71	0,17	0,40	0,41
Btx	-	-	-	-	-	-	-
Bt	3,8	3,1	2,19	2,82	0,02	0,29	0,06
C/Cr	-	-	-	-	-	-	-
Cr	3,9	3,2	1,68	4,54	0,01	0,31	0,02

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 26 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P3T2-FTd.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	22,61	7,77	1,40	0,68	4,76		
2Btf <sub>1</sub>	-	-	-	-	-		
2Btf <sub>2</sub>	74,56	27,77	3,72	1,76	18,02		
2Btf <sub>3</sub>	-	-	-	-	-		
Cr	97,03	25,93	1,86	0,27	11,31		
2Btf <sub>3</sub> M.acinz	-	-	2,76	0,91	6,11		
2Btf <sub>3</sub> M.aver	-	-	3,38	3,66	34,31		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>o</sub> /Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	3,4	2,7	2,20	1,55	0,09	0,61	0,14
2Btf <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	-
2Btf <sub>2</sub>	2,4	1,9	2,03	1,60	0,06	0,65	0,10
2Btf <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-
Cr	2,8	2,4	2,83	5,36	0,01	0,44	0,02
2Btf <sub>3</sub> M.acin	-	-	-	2,31	-	-	0,15
2Btf <sub>3</sub> M.aver	-	-	-	0,70	-	-	0,11

**Observação:** M.aver = manchas avermelhadas; M.acin= manchas acinzentadas.

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 27 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T3-LVe.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	22,77	7,75	0,68	0,59	5,99		
AB	-	-	-	-	-		
Bw <sub>1</sub>	-	-	-	-	-		
Bw <sub>2</sub>	31,43	10,29	0,98	0,84	7,29		
Bw <sub>3</sub>	-	-	-	-	-		
Bw <sub>n</sub>	50,12	16,42	1,61	1,27	11,40		
R	-	-	-	-	-		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr (FRX)	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>0</sub> /Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	2,9	2,3	2,22	0,87	0,08	0,77	0,10
AB	-	-	-	-	-	-	-
Bw <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	-
Bw <sub>2</sub>	2,7	2,1	2,31	0,88	0,08	0,71	0,12
Bw <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-
Bw <sub>n</sub>	-	-	2,31	0,96	0,08	0,69	0,11
R	2,8	2,4	-	-	-	-	-

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 28 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P1T4-TXp.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	25,21	9,20	1,48	2,05	3,68		
AB	-	-	-	-	-		
BAt	-	-	-	-	-		
Bt	92,36	37,83	4,45	1,47	12,84		
BC	-	-	-	-	-		
C/Cr	60,15	26,33	1,17	0,82	9,87		
R	-	-	-	-	-		
Relações moleculares							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>o</sub> /Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	4,8	3,7	2,07	0,55	0,22	0,40	0,56
AB	-	-	-	-	-	-	-
BAt	-	-	-	-	-	-	-
Bt	4,2	3,1	1,85	2,29	0,04	0,34	0,11
BC	-	-	-	-	-	-	-
C/Cr	3,8	2,9	1,73	1,09	0,03	0,37	0,08
R	3,9	3,0	-	-	-	-	-

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 29 – Teores de ferro e alumínio da fração TFSA extraídos com ácido sulfúrico, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e relações moleculares do perfil P2T4-PVd.

Horizonte	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	(Ataque sulfúrico)		(oxalato)		(DCB)		
.....(g kg <sup>-1</sup> ).....							
A1	-	-	-	-	-		
A2	30,91	9,15	0,77	0,81	6,28		
AB	-	-	-	-	-		
BAt	-	-	-	-	-		
Bt1	109,36	33,43	3,33	3,43	26,85		
Bt2	-	-	-	-	-		
R	79,15	15,69	1,23	0,34	10,56		
<b>Relações moleculares</b>							
Horizonte	Ki (FRX)	Kr (FRX)	Al <sub>s</sub> /Fe <sub>s</sub>	Al <sub>0</sub> /Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>s</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>d</sub>
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	3,1	2,4	2,56	0,72	0,09	0,69	0,13
AB	-	-	-	-	-	-	-
BAt	-	-	-	-	-	-	-
Bt1	2,3	1,9	2,48	0,74	0,10	0,80	0,13
Bt2	-	-	-	-	-	-	-
R	2,9	2,2	3,82	2,83	0,02	0,67	0,03

Fonte: produção do próprio autor

## 6.6 ATRIBUTOS INDICADORES DE DESCONTINUIDADE LITOLÓGICA NOS PERFIS DE SOLO

Os processos de gênese do solo são representados por modelos pedogenéticos que envolvem a interação conjunta dos fatores de formação do solo em uma escala de tempo, condicionando a formação de solos de natureza, composição e comportamento particulares. Durante a evolução do solo, algum fator pode ser mais importante do que os outros. O material de origem é um dos fatores que mais tem influencia na formação do solo, sendo o principal responsável pelas variações nas características deste. A identificação e a caracterização deste fator é de fundamental importância para a compreensão da evolução deste material ao longo do tempo. O solo pode ser ou não formado diretamente do substrato rochoso subjacente, sendo comum em alguns casos ocorrer a remoção de um material e sua deposição em outro, havendo, desta forma, uma discordância litológica.

Uma das feições morfológicas mais indicativas de descontinuidade litológica é a ocorrência de linha de cascalho entre os horizontes no perfil mostrando que o material foi retrabalhado (BIRKELAND, 1984; TAYLOR & EGGLERON, 2001), mas ela nem sempre se manifesta. É comum as camadas verticais de uma paisagem apresentarem características morfológicas aparentemente homogêneas, dificultando, assim, a identificação da natureza do material de origem dos seus estratos, dessa forma, há necessidade de empregar outros critérios (NOVAES FILHO et al., 2012). De acordo com Fine et al. (1992), na medida do tempo em que o solo vai se desenvolvendo, a identificação de descontinuidades litológicas vai se tornando mais difícil. Segundo Silva et al. (2002) isso ocorre porque dentro do perfil os processos que envolvem translocações e transformações podem acabar por mascarar e confundir as evidências de descontinuidades.

Este tópico visa discutir a possível ocorrência de descontinuidade litológica por contribuição de material alóctone de natureza coluvionar ou por descontinuidade no material formador do solo, na gênese do alto contraste textural entre os horizontes de superfície e subsuperfície, em solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região sudoeste do Rio Grande do Sul, por meio da análise conjunta de atributos indicadores, como, as relações areia fina/areia grossa, areia fina/areia total, relação zircônio/titânio, valor de uniformidade e parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia.

### 6.6.1 Relações granulométricas, valor de uniformidade e relação zircônio/titânio

Na tabela 30 constam os resultados de atributos indicativos da ocorrência de descontinuidades, sendo possível observar nas figuras 56 a 63 o comportamento destas variáveis em profundidade nos horizontes e camadas ao longo do perfil do solo.

A areia por ser a fração do solo mais resistente ao intemperismo pode contribuir com importantes informações sobre o material de origem. Variações significativas na fração areia entre os perfis podem apontar para possível ocorrência de diferenças na qualidade do sedimento parental entre perfis ou mesmo descontinuidade litológica dentro do perfil. A relação areia fina/areia grossa, ou a razão entre uma determinada subfração da areia em relação à areia total são parâmetros frequentemente utilizados para avaliar a homogeneidade dos materiais, onde se espera que em materiais homogêneos essa relação se mantenha uniforme em profundidade ao longo dos horizontes e das camadas (KUZILA, 1995). De acordo com Cabrera-Martinez et al. (1988), Miller et al. (1993) e Schaetzl (1996) quando se observa quebras bruscas dessas relações ao longo do perfil, é porque geralmente ocorreram processos de sedimentação de material litologicamente diferente entre os horizontes do solo, sendo possível, desta forma, a identificação de descontinuidade.

Na tabela 30 é possível observar os valores das relações areia fina/areia grossa ( $AR_F/AR_G$ ) e areia fina/areia total ( $AR_F/AR_T$ ). Verifica-se em todos os horizontes predomínio da fração areia fina sobre a areia grossa ( $AR_F/AR_G > 1$  e  $AR_F/AR_T > 0,5$ ), destacando-se valores excepcionalmente altos da relação  $AR_F/AR_G$  nas camadas C/Cr e Cr do perfil P2T2-TCk, Cr do perfil P3T2-FTd e R dos perfis P1T3-LVe e P2T4-PVd, caracterizando um material composto exclusivamente por partículas mais finas de areia contrastando com um material intermediário sobrejacente. Nesses perfis, aparentemente se poderia interpretar, com base nessa relação, a existência de uma descontinuidade de todo o material acima destas camadas; entretanto não é o caso, uma vez que a relação  $AR_F/AR_T$  se mantém relativamente uniforme ao longo dos perfis.

A interpretação da ocorrência de descontinuidade litológica fica em parte mais evidente no perfil P1T1-PVd onde os valores das relações  $AR_F/AR_G$  e  $AR_F/AR_T$ , crescem até atingir um máximo nos horizontes Bt1 e Bt2 e decrescem mais acentuadamente em profundidade.

Entretanto, isto é menos evidente na relação  $AR_F/AR_T$ . No perfil P2T1-PBACal ocorreu um aumento mais acentuado da relação  $AR_F/AR_G$  entre os horizontes 2BC e 2C voltando a reduzir no R. No perfil P2T4-PVd do horizonte Bt1 para o Bt2 também houve um aumento significativo das relações  $AR_F/AR_G$ , porém foi pouco expressivo na relação  $AR_F/AR_T$ . Considerando o exposto, pode-se concluir que a interpretação de descontinuidades com base na relação  $AR_F/AR_G$  não parece promissora. Nos perfis P3T1-PAal, P1T2-PBACal, P3T2-FTd, P1T3-LVe e P1T4-TXp as relações  $AR_F/AR_T$  entre os horizontes são relativamente uniformes havendo um contraste marcante somente em relação ao R ou Cr, contudo é preciso uma análise criteriosa com outros parâmetros para comprovação efetiva de descontinuidade de litologias. Os resultados revelam, por outro lado, que os grandes contrastes texturais existentes entre os horizontes A e B na maioria dos solos não se devem à deposição de materiais de litologias muito distintas, ou pelo menos de que se isto ocorreu, não é adequadamente revelado pelas relações entre as areias.

De modo geral, observaram-se variações significativas das frações da areia entre os perfis de solo, o que leva a considerar possíveis diferenças na qualidade dos sedimentos sobre os quais eles se formaram. O cálculo do valor de uniformidade (VU) foi feito pela razão entre frações granulométricas do solo tendo como numerador um horizonte superior e como denominador o horizonte subjacente. Quanto mais próximo de zero for o valor, mais provável é a similaridade do material de origem entre os dois horizontes. Cremeens & Mokma (1986) *In* Schaetzl & Anderson (2005) assumem que valores  $> 0.6$  indicam desuniformidade no material, ou seja, valores que não estão compreendidos entre 0,6 e -0,6 indicam descontinuidade litológica entre os horizontes. A título de interpretação dos resultados não serão considerados os valores de uniformidade de horizontes calculados a partir dos dados das camadas C/Cr, Cr e R diretamente subjacentes a eles. Analisando os resultados de todos os perfis, os únicos horizontes que apresentaram indícios de descontinuidade foram o 2BC do perfil P2T1-PBACal ( $VU = -0,63$ ); o Btx do P2T2-TCk ( $VU = -0,73$ ) e o Bt<sub>1</sub> do P2T4-PVd ( $VU = -0,79$ ). Nestes perfis, durante as descrições de campo, foram registrados indícios de descontinuidade.

O zircônio (Zr) e o titânio (Ti) são elementos químicos que fazem parte de minerais que apresentam grande estabilidade estrutural, como por exemplo, o zircão ( $ZrSiO_4$ ), o rutilo ( $TiO_2$ ), a ilmenita ( $FeTiO_3$ ) e a titanita ( $CaTiO(SiO_4)$ ). Devido a este fato, eles têm sido

empregados como indicadores não só para estimar a quantidade de material de origem que foi intemperizado na formação do solo, mas aplicados também como forte indicativo da ocorrência de descontinuidade litológica no perfil de solo (LUZ et al., 1992; ROLIM NETO & SANTOS, 1994; SILVA & VIDAL-TORRADO, 1999; COOPER et al., 2002; MOREIRA & OLIVEIRA, 2008; NOVAES FILHO et al., 2012). Segundo Cooper et al. (2002), tem-se que tomar muito cuidado na interpretação dos resultados, pois não há informação específica suficiente para indicar a diferença necessária para a caracterização de descontinuidade litológica em solos de clima tropical baseado na relação entre o Zr e o Ti. De acordo com Novaes Filho et al. (2012) não existe na literatura uma regra geral para a análise desse índice.

Observando os dados da relação Zr/Ti obtidos por FRX na fração areia dos solos, verifica-se no perfil P1T1-PVd uma grande diferença nessa relação na transição do horizonte E com o Bt1. No perfil P2T1-PBACal ocorre em dois momentos no A2 entre o A1 e o 2BA, e no 2BC. No perfil P3T1-PAal a relação Zr/Ti no R é muito alta do que qualquer outro horizonte, sendo que o comportamento esperado e observado nos outros perfis é que esta relação aumente gradativamente em direção à superfície do solo ou se mantenha estável. Ainda no perfil P3T1-PAal verifica-se uma diferença significativa entre os horizontes A2 e AB com os horizontes subjacente BAx e sobrejacente A1. A relação Zr/Ti também apresentou mudança brusca em vários perfis, sendo constatadas as maiores variações principalmente nos horizontes BAt do perfil P1T2-PBACal; 2Btf<sub>2</sub> do P3T2-FTd; Bw1 e Bw2 do P1T3-LVe; A2 e AB do P1T4-TXp, e no BA entre os horizontes AB e Bt1 do P2T4-PVd, despertando a curiosidade e levantando dúvidas se estas diferenças estariam relacionadas somente a descontinuidades e se seriam suficientes para caracterizá-la.

Tabela 30 – Parâmetros indicadores de descontinuidade litológica: relações granulométricas, valor de uniformidade e relação zircônio/titânio dos horizontes nos perfis de solos estudados.

Hor	AR <sub>F</sub> /AR <sub>G</sub>	AR <sub>F</sub> /AR <sub>T</sub>	A <sub>F</sub> /A <sub>G</sub>	A <sub>F</sub> /A <sub>T</sub>	VU	Zr/Ti
<b>Perfil P1T1-PVd</b>						
A1	1,93	0,66	0,37	0,27	0,14	0,10
A2	1,63	0,62	0,51	0,34	-0,10	0,08
AE	1,87	0,65	0,68	0,41	-0,10	0,10
E	1,94	0,66	0,45	0,31	-0,16	0,08
Bt1	2,35	0,70	0,82	0,45	0,00	0,04
Bt2	2,32	0,70	0,69	0,41	0,51	0,05
Bt3	1,51	0,60	0,83	0,46	0,57	0,04
BC	1,04	0,51	0,89	0,47	-0,07	0,04
C/Cr	1,13	0,53	0,76	0,43	0,56	0,04
Cr	0,76	0,43	0,57	0,36	-	0,04
<b>Perfil P2T1-PBACal</b>						
A1	4,14	0,81	0,48	0,32	-0,17	0,04
A2	5,00	0,83	0,52	0,34	-0,14	0,13
2BA	4,83	0,83	0,40	0,29	0,01	0,06
2Bt	5,10	0,84	0,35	0,26	0,30	0,05
2BC	4,45	0,82	0,33	0,25	-0,63	0,03
2C	10,61	0,91	0,38	0,27	2,92	0,05
R	2,88	0,74	0,35	0,26	-	0,06
<b>Perfil P3T1-PAal</b>						
A1	3,49	0,78	0,48	0,33	-0,24	0,04
A2	3,39	0,77	0,63	0,39	0,02	0,09
AB	4,25	0,81	0,68	0,40	0,04	0,07
BAx	3,80	0,79	0,60	0,38	-0,10	0,04
Btf <sub>1</sub>	3,88	0,80	0,51	0,34	0,02	0,04
Btf <sub>2</sub>	3,77	0,79	0,56	0,36	0,09	0,04
Btf <sub>3</sub>	3,42	0,77	0,51	0,34	3,10	0,05
R	1,18	0,54	1,75	0,64	-	0,19
<b>Perfil P1T2-PBACal</b>						
A1	3,14	0,76	0,48	0,33	-0,23	0,07
A2	4,06	0,80	0,46	0,32	-0,03	0,06
A3	4,04	0,80	0,61	0,38	-0,03	0,06
BAt	4,05	0,80	0,55	0,35	0,24	0,03
Bt	3,39	0,77	0,48	0,33	0,23	0,05
BC	2,83	0,74	0,49	0,33	1,19	0,06
C/Cr	1,32	0,57	0,57	0,37	0,35	0,05
R	1,02	0,50	0,43	0,30	-	0,05
<b>Perfil P2T2-TCk</b>						
A	5,45	0,84	0,48	0,32	-0,06	0,05

Continua próxima página

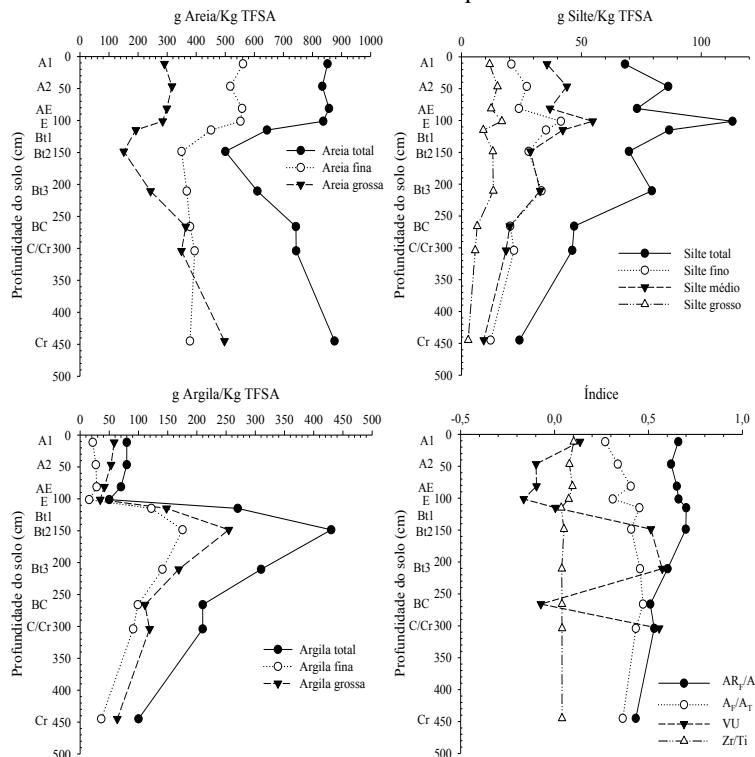
**Tabela 30** – Continuação.

Hor	AR <sub>F</sub> /AR <sub>G</sub>	AR <sub>F</sub> /AR <sub>T</sub>	A <sub>F</sub> /A <sub>G</sub>	A <sub>F</sub> /A <sub>T</sub>	VU	Zr/Ti
Btx	4,84	0,83	0,51	0,34	-0,73	0,06
Bt	6,43	0,87	0,39	0,28	-0,74	0,05
C/Cr	15,70	0,94	0,39	0,28	-0,84	0,07
Cr	357,72	1,00	0,34	0,26	-	0,07
<b>Perfil P3T2-FTd</b>						
A1	2,83	0,74	0,60	0,37	-0,11	0,06
A2	3,24	0,76	0,69	0,41	-0,09	0,04
2Btf <sub>1</sub>	3,31	0,77	0,63	0,39	0,07	0,03
2Btf <sub>2</sub>	3,25	0,76	0,57	0,36	0,01	0,07
2Btf <sub>3</sub>	3,12	0,76	0,64	0,39	-0,99	0,03
Cr	174,84	0,99	0,50	0,33	-	0,05
<b>Perfil P1T3-LVe</b>						
A1	6,25	0,86	-	-	0,08	0,05
A2	5,71	0,85	-	-	0,09	0,17
AB	5,50	0,85	-	-	-0,17	0,05
Bw1	6,23	0,86	-	-	-0,19	0,13
Bw2	7,69	0,88	-	-	0,38	0,12
Bw3	5,65	0,85	-	-	-0,19	0,08
Bwn	6,96	0,87	-	-	-0,69	0,05
R	21,21	0,95	-	-	-	0,05
<b>Perfil P1T4-TXp</b>						
A1	3,08	0,75	0,44	0,31	-0,14	0,09
A2	3,50	0,78	0,55	0,36	-0,09	0,15
AB	3,85	0,79	0,57	0,37	-0,19	0,12
BAt	3,77	0,79	0,40	0,28	0,00	0,06
Bt	3,12	0,76	0,42	0,30	0,26	0,04
BC	3,30	0,77	0,43	0,30	-0,12	0,03
C/Cr	4,21	0,81	0,45	0,31	1,04	0,04
R	2,23	0,69	0,41	0,29	-	0,05
<b>Perfil P2T4-PVd</b>						
A1	5,55	0,85	0,50	0,33	-0,14	0,06
A2	6,33	0,86	0,59	0,37	0,07	0,07
AB	5,75	0,85	0,64	0,39	0,00	0,09
BAt	5,66	0,85	0,60	0,38	-0,09	0,03
Bt1	5,73	0,85	0,54	0,35	-0,79	0,06
Bt2	27,49	0,96	0,63	0,39	-0,82	0,05
R	149,76	0,99	0,53	0,35	-	0,05

**Observação:** AR<sub>F</sub> = areia fina; AR<sub>G</sub> = areia grossa; AR<sub>T</sub> = areia total; A<sub>F</sub> = argila fina; A<sub>G</sub> = argila grossa; A<sub>T</sub> = argila total; VU = valor de uniformidade; Zr/Ti = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

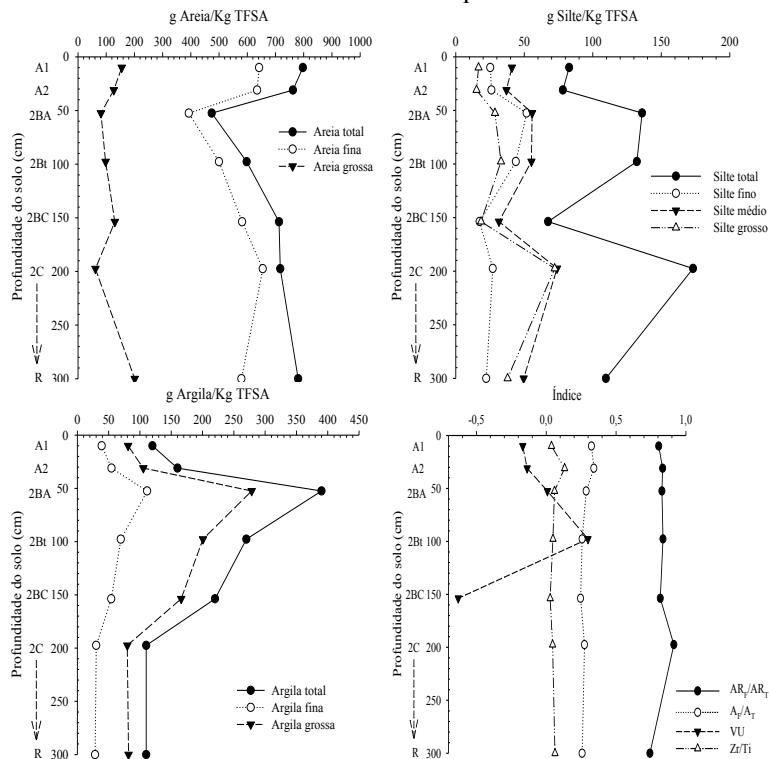
Figura 56 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P1T1-PVd.



**Observação:**  $AR_f$  = areia fina;  $AR_t$  = areia total;  $A_f$  = argila fina;  $A_t$  = argila total; VU = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

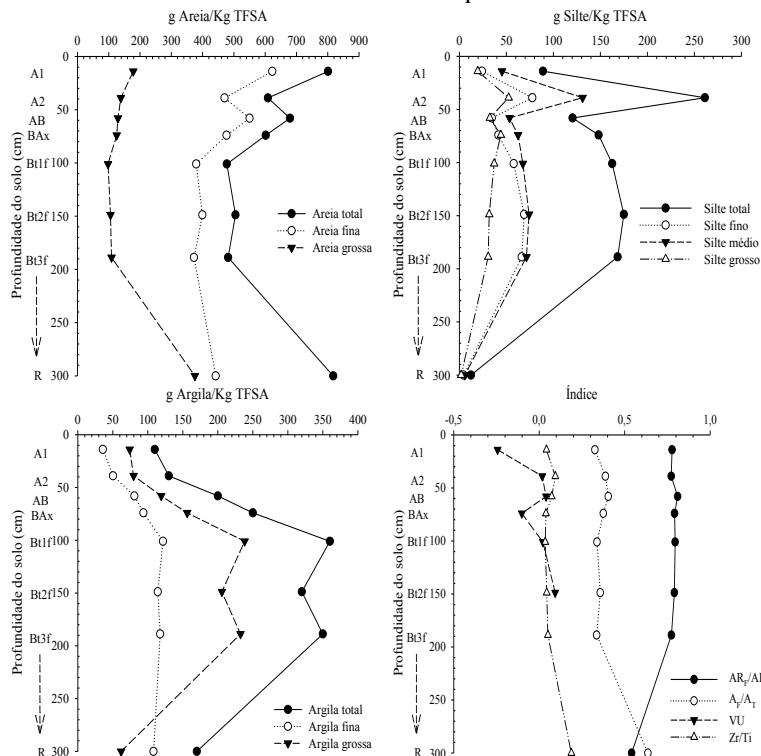
Figura 57 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P2T1-PBACal.



**Observação:**  $AR_f$  = areia fina;  $AR_t$  = areia total;  $A_f$  = argila fina;  $A_t$  = argila total;  $VU$  = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titâni.

Fonte: produção do próprio autor

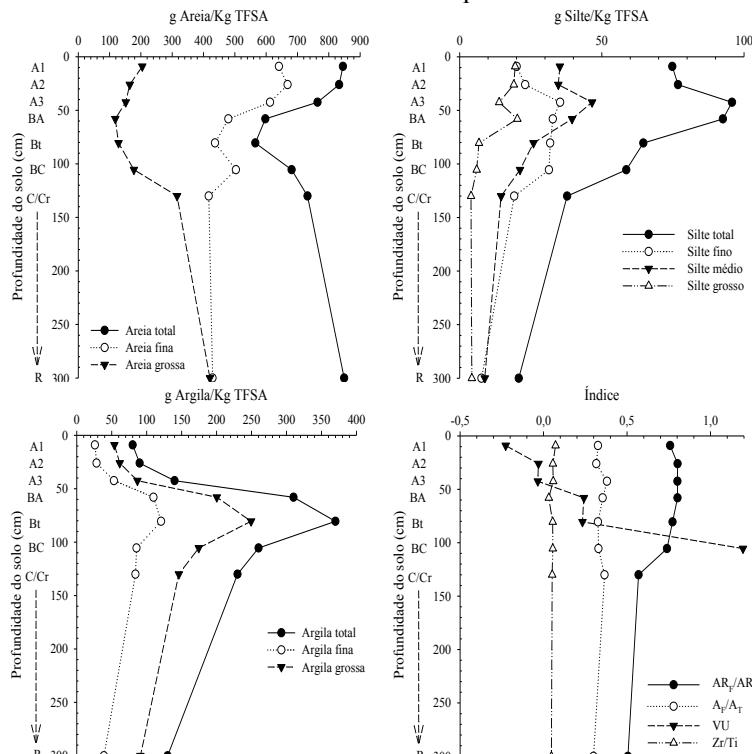
Figura 58 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P3T1-PAal.



**Observação:**  $AR_F$  = areia fina;  $AR_T$  = areia total;  $A_F$  = argila fina;  $A_T$  = argila total;  $VU$  = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

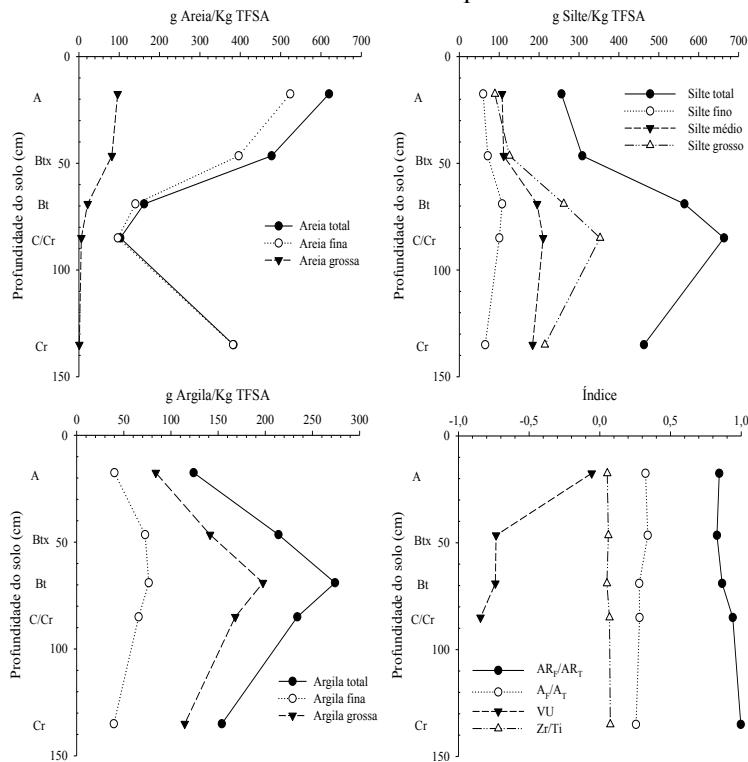
Figura 59 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P1T2-PBACal.



**Observação:**  $AR_F$  = areia fina;  $AR_T$  = areia total;  $A_F$  = argila fina;  $A_T$  = argila total;  $VU$  = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

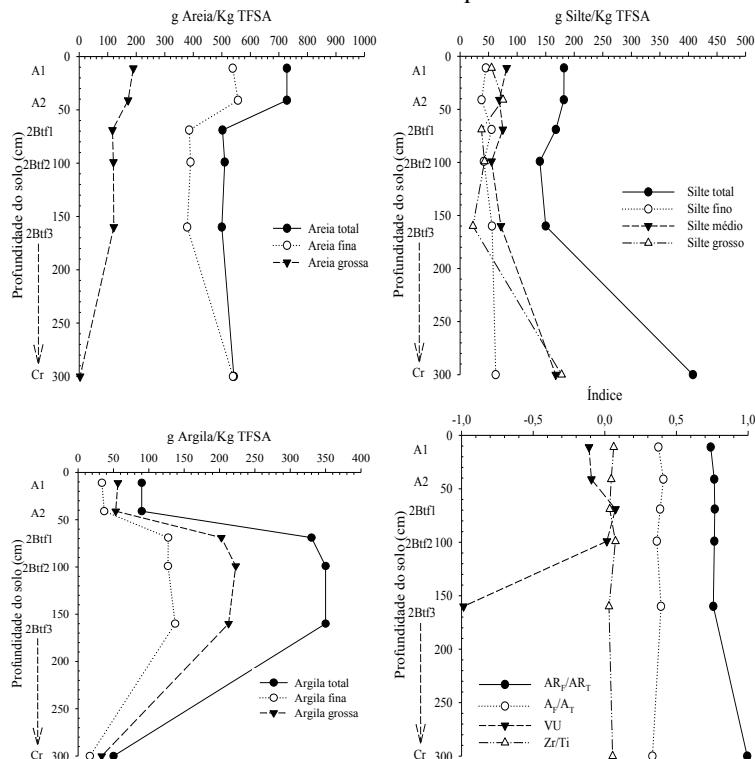
Figura 60 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P2T2-TCk.



**Observação:**  $AR_F$  = areia fina;  $AR_T$  = areia total;  $A_F$  = argila fina;  $A_T$  = argila total;  $VU$  = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

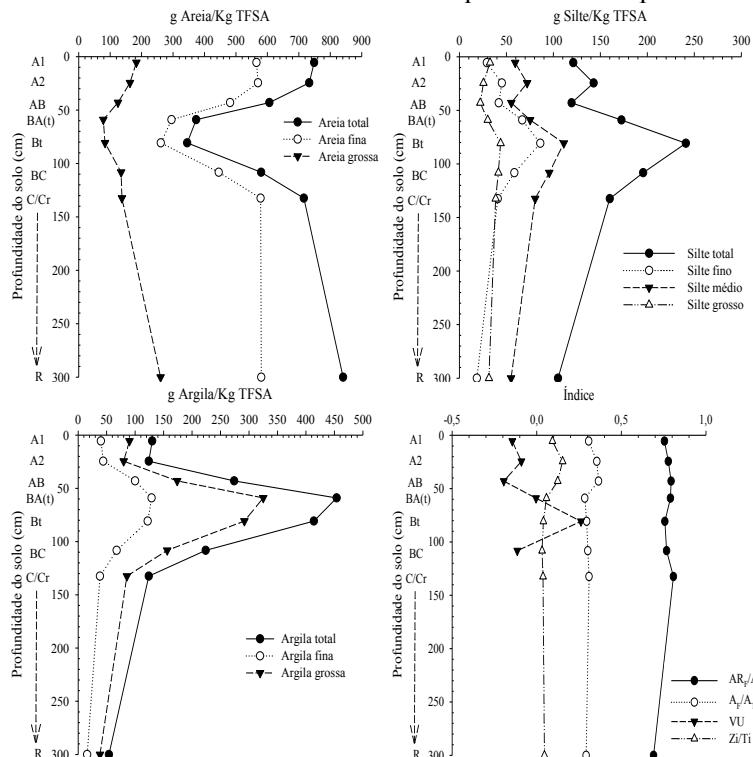
Figura 61 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P3T2-FTd.



**Observação:**  $AR_f$  = areia fina;  $AR_T$  = areia total;  $A_f$  = argila fina;  $A_T$  = argila total;  $VU$  = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

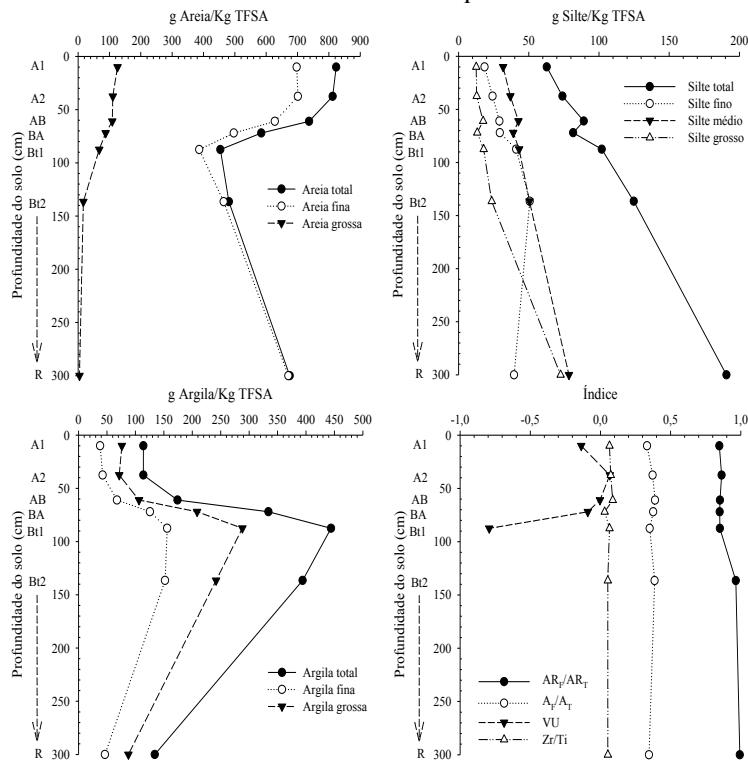
Figura 62 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P1T4-TXp.



**Observação:**  $AR_f$  = areia fina;  $AR_t$  = areia total;  $A_f$  = argila fina;  $A_t$  = argila total; VU = valor de uniformidade; Zi/Ti = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

Figura 63 – Distribuição das frações granulométricas do solo e de parâmetros indicadores de descontinuidade litológica de acordo com a profundidade dos horizontes e camadas no perfil P2T4-PvD.



**Observação:**  $AR_f$  = areia fina;  $AR_t$  = areia total;  $A_f$  = argila fina;  $A_t$  = argila total;  $VU$  = valor de uniformidade;  $Zr/Ti$  = relação zircônio/titânio.

Fonte: produção do próprio autor

### 6.6.2 Sedimentologia da fração areia

Além da litologia, a fração areia de horizontes morfopedogenéticos pode conter informações relacionadas a variações causadas por descontinuidades litológicas ou presença de material alóctone. De acordo com Suguio (1973), por meio da análise granulométrica podem-se obter conhecimentos relacionados à gênese dos sedimentos, além da possibilidade de se correlacionar sedimentos de áreas fontes distintas por meio de procedimentos estatísticos.

Os histogramas são basicamente uma ferramenta estatística utilizada neste caso para representar frequências de distribuição granulométrica onde se observa a variação dos diâmetros da fração areia em cada horizonte ao longo do perfil de solo. Nos histogramas são apresentados os percentuais de partículas por classes de diâmetro na escala Phi, onde os menores valores representam frações com maior tamanho de partícula (Figuras 64 a 66).

As curvas de frequência acumulada (Figuras 67 a 69) também fornecem uma visualização razoável das distribuições granulométricas da fração areia, onde em cada ponto da curva que representa uma determinada classe granulométrica, os percentuais das misturas de materiais mais grosseiros ou mais finos do que aquela granulometria podem ser extraídos. Neste caso, os gráficos apresentam os valores de massa acumulados em gramas, em relação às classes de tamanho de partículas na escala Phi de Krumbein, sendo possível observar o comportamento das quantidades de cada classe de partículas em relação aos demais horizontes do perfil.

De um modo geral foi observado em cada horizonte (Figuras 64 a 69) uma grande variação no percentual de partículas por classe, havendo na maior parte dos perfis predominância das frações granulométricas com classes de diâmetro 2,74, 2,24 e 1,74 Phi. Em todos os horizontes dos perfis estudados as frações mais grosseiras (classes -1, -0,77 e 0,23 Phi) apresentaram percentual de partículas inexpressível. Verificou-se que entre alguns horizontes de determinados perfis ocorreram diferenças granulométricas que podem indicar contribuição de material alóctone ou presença de descontinuidade. Também é possível verificar que entre os diferentes perfis/tipos de solos, mas de uma mesma formação geológica, as diferenças granulométricas refletem uma variação na litologia do material de origem.

No perfil P1T1-PVd (Figura 64) houve predomínio da fração 1,23 Phi mas com uma grande variação percentual de partículas dentro da classe entre os horizontes, gerando dúvidas sobre a possibilidade de ter ocorrido deposição de material alóctone. Já os horizontes Bt1 e Bt2 apresentaram uma maior concentração de partículas mais finas (classe 2,74 Phi) em relação aos demais.

No perfil P2T1-PBACal foi observada a predominância absoluta de partículas finas da classe 2,74 Phi em todos os horizontes, mas variando de 42,5 % no A1 a 55,9 % no 2C (Figura 64), levantando dúvidas sobre a homogeneidade do material. Nota-se ainda diferença na granulometria entre os horizontes observando-se os percentuais de partículas nas outras classes de diâmetro.

No perfil P3T1-PAal observa-se que a fração da classe 2,74 Phi domina em praticamente todo o perfil (Figura 64). Foi verificada no perfil uma distribuição praticamente homogênea das frações entre os horizontes em relação às classes de tamanho intermediárias, com exceção da camada R.

Analizando a distribuição das areias ao longo do perfil P1T2-PBACal percebe-se um comportamento muito variável. Nos horizontes A1, Bt e BC predomina a classe de diâmetro 1,74 Phi, no A2 e A3 classe 2,24 Phi, no BAt classe 2,74 Phi e nas camadas C/Cr e R classe 1,23 Phi (Figura 65).

Observando os dados do perfil P2T2-TCk a maior parte das partículas se concentram na classe 2,74 Phi (Figura 65) mas ocorre variação entre as camadas C/Cr e Cr com os demais horizontes. Nos horizontes A, Btx e Bt ocorre uma semelhança no percentual de partículas na maioria das classes de diâmetro.

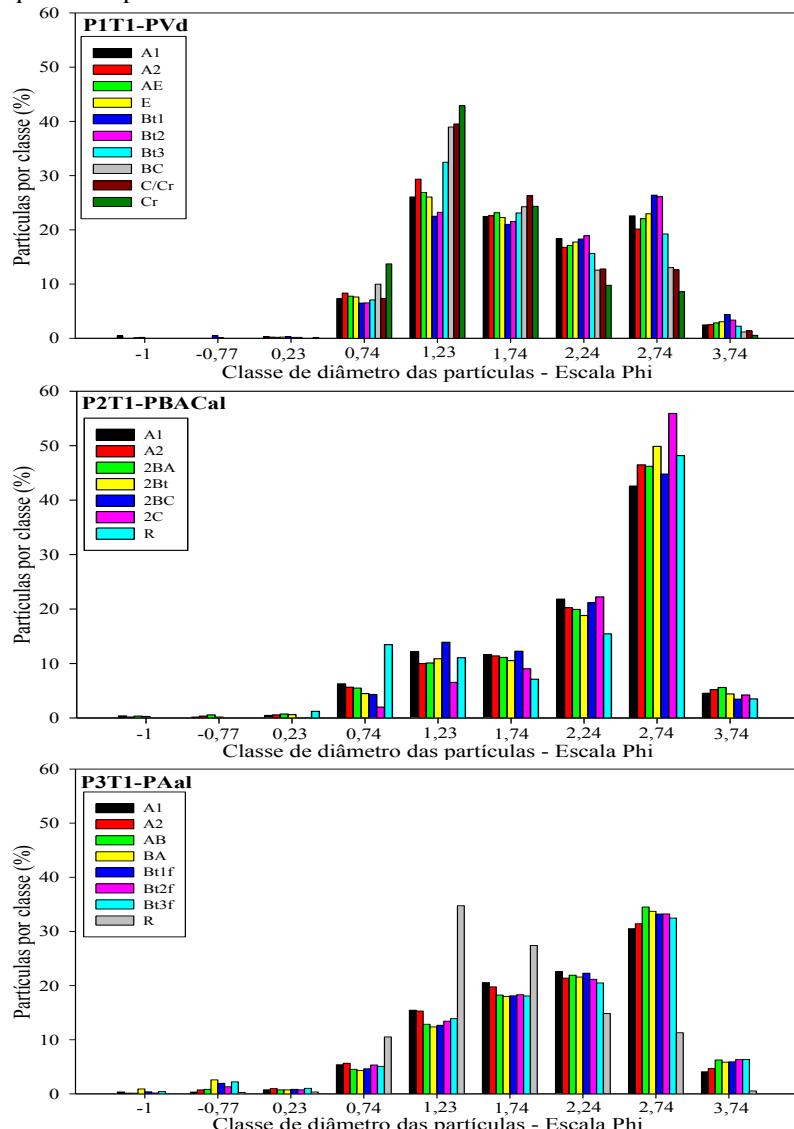
Em relação ao perfil P3T2-FTd as maiores variações na granulometria ocorrem na camada Cr em todas as classes de diâmetro de partículas (Figura 65). No horizonte 2Btf, a variação na granulometria comparando com os demais horizontes ocorre somente nas classes 2,74 e 3,74 Phi, não descartando neste perfil a possível contribuição de colúvio.

O perfil P1T3-LVe apresentou na média a maioria das partículas distribuídas entre as classes 2,24 e 1,74 Phi (Figura 66). Verifica-se dentro de cada classe de diâmetro uma distribuição mais uniforme entre todos os horizontes, com exceção da camada R que se diferenciou dos demais, mas independentemente disso, condiz com um perfil de desenvolvimento autóctone.

Verifica-se que no perfil P1T4-TXp os horizontes A1, A2 AB, BAt e Bt apresentam predominância de partículas na classe 2,74 Phi e com distribuição granulométrica uniforme em todas as classes de diâmetro nestes horizontes (Figura 66). No entanto nota-se que a partir do horizonte BC e nas camadas C/Cr e R ocorre indício de descontinuidade, pois apresentam predomínio de partículas mais grosseiras (classe 2,24 e 1,74 Phi), e uma maior variação percentual dentro das classes comparados com os horizontes sobrejacentes.

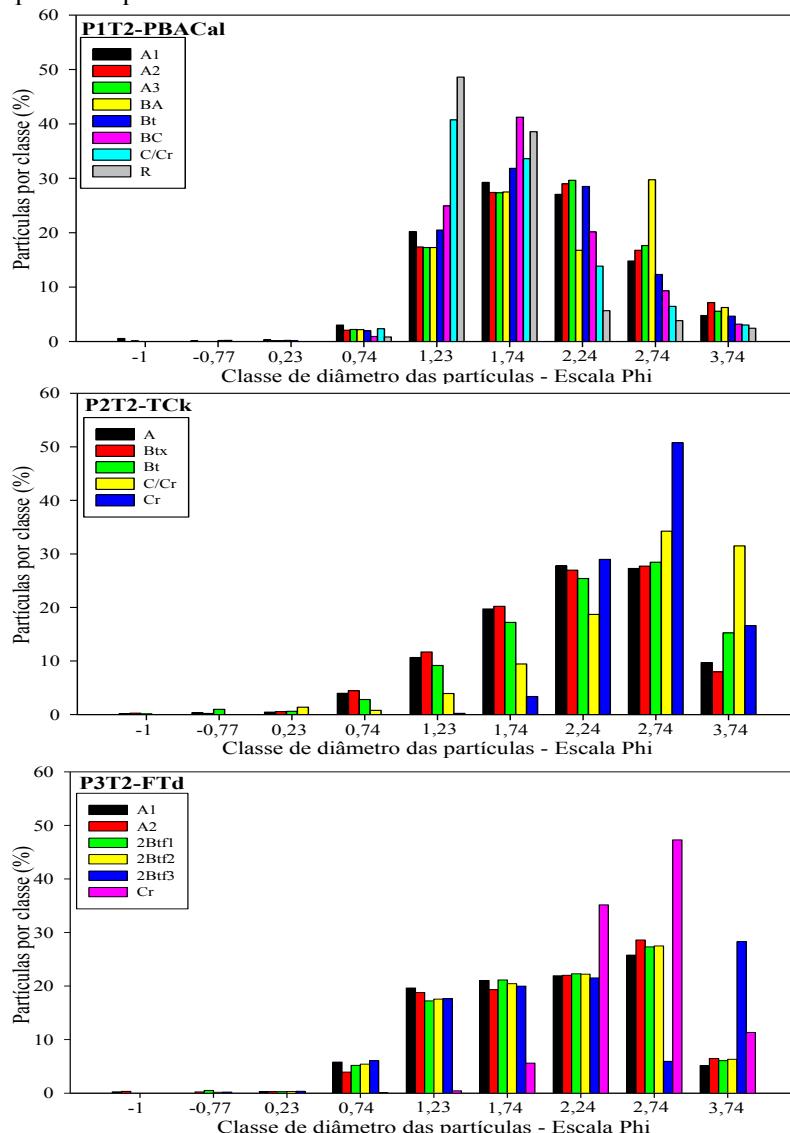
No perfil P2T4-PVd nota-se uma variação na granulometria da areia em profundidade a partir do horizonte Bt2, apresentando valores percentuais de partículas intermediárias (classes 1,23 e 1,74 Phi) inferior aos outros horizontes (Figura 66), indicando a possibilidade de ocorrência de descontinuidade litológica acima deste horizonte.

Figura 64 – Histogramas de distribuição granulométrica de amostras da fração areia dos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 1.



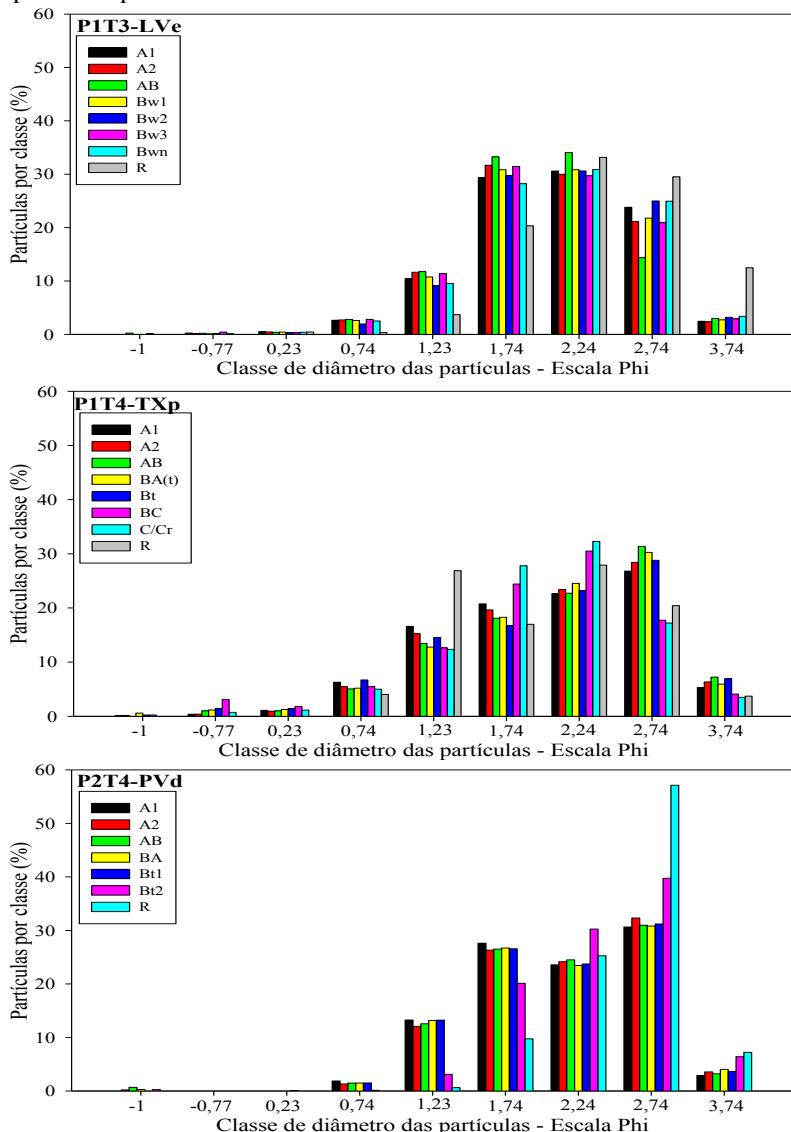
Fonte: produção do próprio autor

Figura 65 – Histogramas de distribuição granulométrica de amostras da fração areia dos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 2.



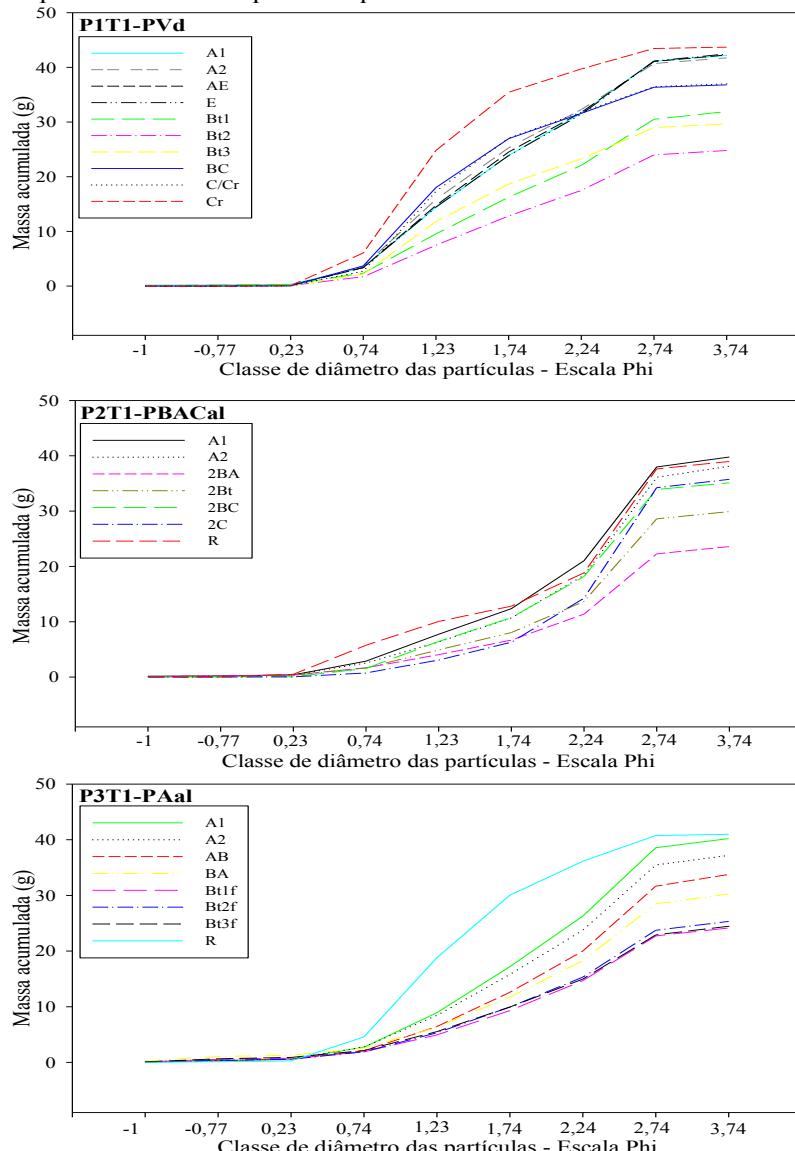
Fonte: produção do próprio autor

Figura 66 – Histogramas de distribuição granulométrica de amostras da fração areia dos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 3 e 4.



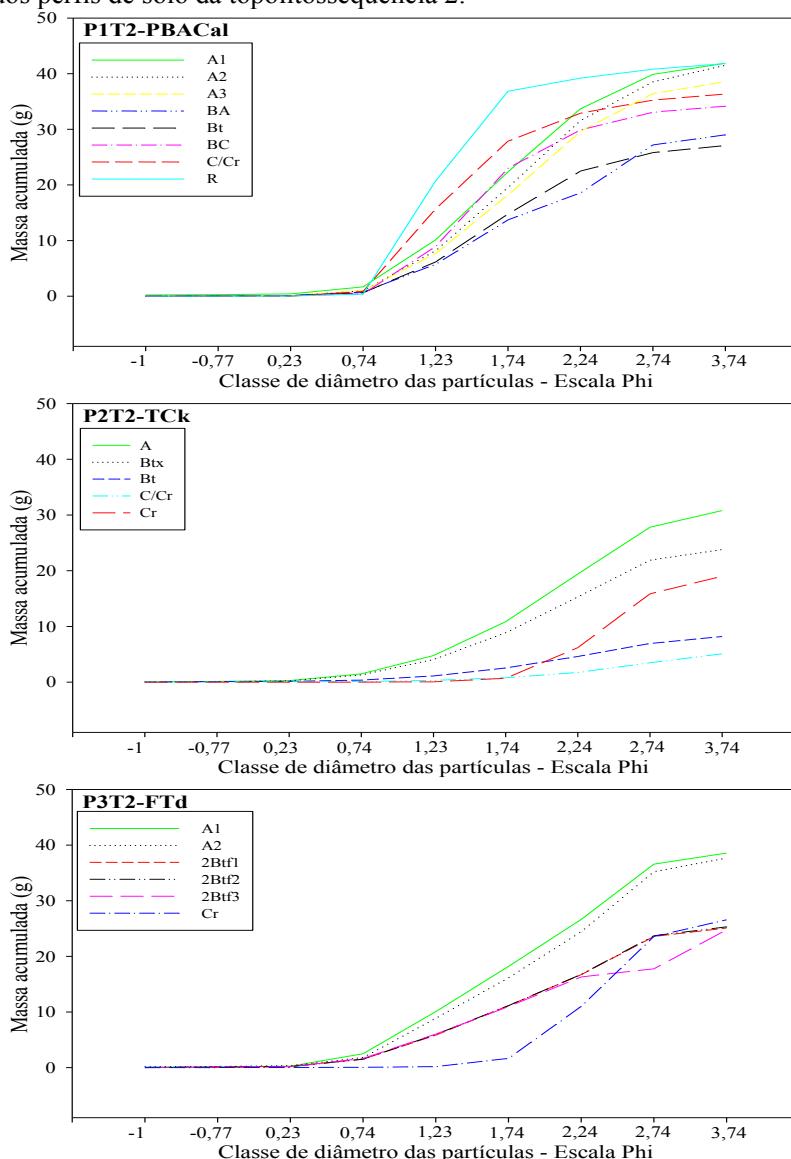
Fonte: produção do próprio autor

Figura 67 – Curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica de amostras da fração areia nos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 1.



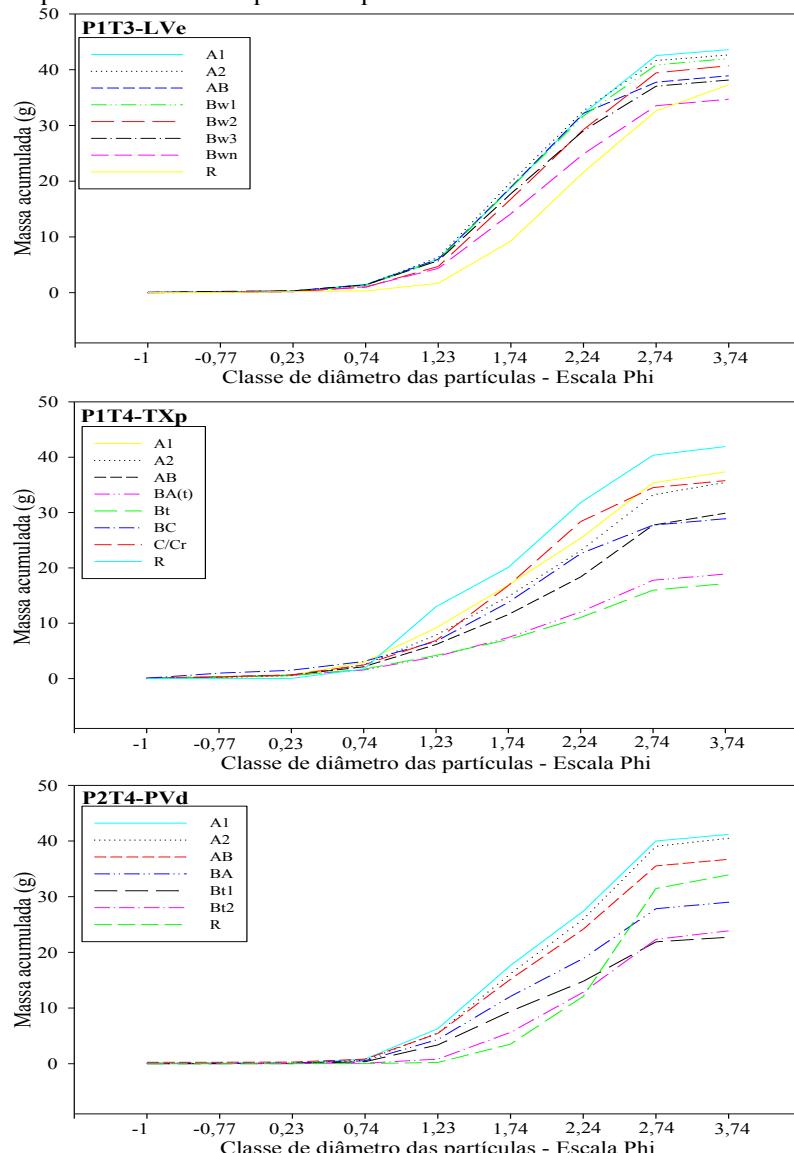
Fonte: produção do próprio autor

Figura 68 – Curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica de amostras da fração areia nos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 2.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 69 – Curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica de amostras da fração areia nos horizontes e camadas dos perfis de solo da topolitossequência 3 e 4.



Fonte: produção do próprio autor

Dentre as diversas metodologias, Folk & Ward (1957) propõem medidas estatísticas que podem ser agrupadas em medidas de tendência central e de dispersão. As primeiras são as medidas 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, enquanto que as medidas de dispersão incluem o desvio padrão, assimetria e curtose.

Nas tabelas 31 a 39 são apresentados os parâmetros diâmetro médio (DM), grau de seleção (GS), assimetria (A) e curtose (K) calculadas pela metodologia desenvolvida por Folk & Ward (1957). A partir do estudo destes parâmetros será possível detectar indícios de variações litológicas no material parental em uma mesma formação geológica. Uma dissimilaridade dos parâmetros entre os horizontes indica a presença de descontinuidade litológica ou contribuição de materiais alóctones nos perfis estudados.

Segundo Aloisi et al. (1978) o diâmetro médio reflete a média geral do tamanho dos sedimentos. Nos perfis P1T1-PVd, P3T1-PAal, P1T2-PBACal, P1T3-LVe e P1T4-TXp é possível observar uma uniformidade no diâmetro médio entre os horizontes pedogenéticos (areia média), enquanto que os perfis P2T1-PBACal, P2T2-TCk, P3T2-FTd e P2T4-PVd apresentam uma variação maior no diâmetro médio dos sedimentos (areia média e fina).

Conforme Suguio (1973) o grau de seleção reflete a ideia da seletividade do agente transportador das partículas, através de uma medida do desvio em relação à média. Com base nos dados das tabelas 31 a 39, não houve diferença no grau de seleção entre os horizontes de um mesmo perfil, nem entre os perfis em P1T1-PVd, P2T1-PBACal, P3T1-PAal, P1T3-LVe e P1T4-TXp, aonde todos os solos apresentaram grau de seletividade das amostras como moderadamente selecionadas. Ocorreu diferença apenas nos horizontes R dos perfis P1T2-PBACal e P2T4-PVd, e no Cr do P2T2-TCk e P3T2-FTd, demonstrando um comportamento na seleção do sedimento como bem selecionado. Nos demais horizontes destes perfis também observou-se um grau de seleção como moderadamente selecionado.

De acordo com Suguio (1973) a assimetria permite avaliar a distribuição dos diâmetros médios em relação a parâmetros de média, de moda ou de mediana, onde quanto mais negativa a assimetria maior é a predominância de subfrações de areia de menor diâmetro. Observando os resultados nota-se que o perfil P1T1-PVd (Tabela 31) apresentou

uma variação na assimetria entre os horizontes avaliados, desde aproximadamente simétrica, positiva e muito positiva. No perfil P2T4-PVd também há uma variação significativa. No P3T1-PAal apresentou-se negativa desde a superfície (A1 ao  $Btf_3$ ) assim como no P1T4-TXp (A1 ao C/Cr) caracterizando uma similaridade de material de menor diâmetro quando comparado ao material de origem deste solo que apresentou assimetria positiva e aproximadamente simétrica respectivamente. Nos perfis P1T2-PBACal e P3T2-FTd há uma mesma tendência variando de aproximadamente simétrica a positiva. Não houve similaridade na distribuição dos diâmetros entre os solos de uma mesma formação geológica, nem entre solos de formações diferentes. Ocorreu similaridade na assimetria entre todos os horizontes de um mesmo perfil apenas nos perfis P2T1-PBACal (muito negativa) e P1T3-LVe (aproximadamente simétrica).

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). Nos perfis P1T1-PVd, P3T2-FTd e P2T4-PVd (Tabelas 31, 36 e 39) a curtose mostrou um comportamento mais homogêneo (platicúrtica) na maior parte dos horizontes, assim como os perfis P1T3-LVe e P3T1-PAal que apresentaram uma distribuição predominantemente mesocúrtica. Os perfis P2T1-PBACal, P1T2-PBACal, P2T2-TCk e P1T4-TXp apresentaram uma maior variação no perfil com um grau de achatamento mais acentuado (mesocúrtica e leptocúrtica) em relação à distribuição de frequências.

Tabela 31 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T1-PVd calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose
A1	0-23	1,64	Areia média	0,71 Moderadamente selecionado	0,05 Aproximadamente simétrica 0,75 Platicúrtica
A2	23-70	1,59	Areia média	0,71 Moderadamente selecionado	0,13 Positiva 0,77 Platicúrtica
AE	70-90/95	1,63	Areia média	0,71 Moderadamente selecionado	0,09 Aproximadamente simétrica 0,74 Platicúrtica
E	90/95-110	1,65	Areia média	0,72 Moderadamente selecionado	0,06 Aproximadamente simétrica 0,74 Platicúrtica
Bt1	110-120	1,72	Areia média	0,73 Moderadamente selecionado	-0,03 Aproximadamente simétrica 0,73 Platicúrtica
Bt2	120-177	1,71	Areia média	0,71 Moderadamente selecionado	-0,01 Aproximadamente simétrica 0,72 Platicúrtica
Bt3	177-244	1,57	Areia média	0,69 Moderadamente selecionado	0,19 Positiva 0,77 Platicúrtica
BC	244-288	1,41	Areia média	0,66 Moderadamente selecionado	0,31 Muito positiva 0,98 Mesocúrtica
C/Cr	288-320+	1,43	Areia média	0,64 Moderadamente selecionado	0,30 Muito positiva 0,98 Mesocúrtica
Cr	430-460	1,27	Areia média	0,59 Moderadamente selecionado	0,29 Positiva 1,14 Leptocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 32 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P2T1-PBCAal calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-20	1,96	Areia média	0,71	Moderadamente selecionado	-0,46	Muito negativa	0,87	Platicúrtica
A2	20-42	2,03	Areia fina	0,69	Moderadamente selecionado	-0,51	Muito negativa	0,97	Mesocúrtica
2BA	42-63	2,02	Areia fina	0,71	Moderadamente selecionado	-0,49	Muito negativa	1,00	Mesocúrtica
2Bt	63-125/140	2,04	Areia fina	0,66	Moderadamente selecionado	-0,54	Muito negativa	0,95	Mesocúrtica
2BC	125/140-170/180	1,98	Areia média	0,66	Moderadamente selecionado	-0,46	Muito negativa	0,81	Platicúrtica
2C	170/180-220+	2,20	Areia fina	0,52	Moderadamente selecionado	-0,47	Muito negativa	1,12	Leptocúrtica
R		1,89	Areia média	0,81	Moderadamente selecionado	-0,61	Muito negativa	0,73	Platicúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 33 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P3T1-PAal calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-28	1,82	Areia média	0,70	Moderadamente selecionado	-0,19	Negativa	0,81	Platicúrtica
A2	28-50	1,83	Areia média	0,72	Moderadamente selecionado	-0,21	Negativa	0,81	Platicúrtica
AB	50-66	1,91	Areia média	0,72	Moderadamente selecionado	-0,23	Negativa	0,89	Platicúrtica
BAx	66-82	1,87	Areia média	0,77	Moderadamente selecionado	-0,27	Negativa	0,95	Mesocúrtica
Btf <sub>1</sub>	82-115/125	1,88	Areia média	0,75	Moderadamente selecionado	-0,25	Negativa	0,92	Mesocúrtica
Btf <sub>2</sub>	115/125-170/185	1,88	Areia média	0,76	Moderadamente selecionado	-0,22	Negativa	0,90	Mesocúrtica
Btf <sub>3</sub>	170/185-200+	1,85	Areia média	0,79	Moderadamente selecionado	-0,23	Negativa	0,92	Mesocúrtica
R		1,40	Areia média	0,64	Moderadamente selecionado	0,20	Positiva	1,00	Mesocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 34 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T2-PBACal calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-18	1,69	Areia média	0,63	Moderadamente selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	0,91	Mesocúrtica
A2	18-34	1,80	Areia média	0,67	Moderadamente selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
A3	34-51	1,78	Areia média	0,64	Moderadamente selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	0,95	Mesocúrtica
BAt	51-65	1,84	Areia média	0,68	Moderadamente selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	0,80	Platicúrtica
Bt	65-96	1,67	Areia média	0,59	Moderadamente selecionado	0,06	Aproximadamente simétrica	0,95	Mesocúrtica
BC	96-115	1,57	Areia média	0,56	Moderadamente selecionado	0,17	Positiva	1,05	Mesocúrtica
C/Cr	115-145+	1,41	Areia média	0,55	Moderadamente selecionado	0,29	Positiva	1,07	Mesocúrtica
R		1,27	Areia média	0,44	Bem selecionado	0,27	Positiva	1,14	Leptocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 35 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P2T2-TCk calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose
A	0-35	1,96	Areia média	0,72 Moderadamente selecionado	-0,06 Aproximadamente simétrica 1,04 Mesocúrtica
Btx	35-58	1,92	Areia média	0,72 Moderadamente selecionado	-0,09 Aproximadamente simétrica 0,99 Mesocúrtica
Btk	58-80	2,05	Areia fina	0,75 Moderadamente selecionado	-0,08 Aproximadamente simétrica 1,09 Mesocúrtica
C/Cr	80-90	2,48	Areia fina	0,74 Moderadamente selecionado	-0,04 Aproximadamente simétrica 1,06 Mesocúrtica
Cr	90-180+	2,38	Areia fina	0,46 Bem selecionado	0,06 Aproximadamente simétrica 1,25 Leptocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 36 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P3T2-FTd calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-22	1,77	Areia média	0,71	Moderadamente selecionado	-0,08	Aproximadamente simétrica	0,77	Platicúrtica
A2	22-60	1,83	Areia média	0,72	Moderadamente selecionado	-0,08	Aproximadamente simétrica	0,80	Platicúrtica
2Btf <sub>1</sub>	60-78	1,82	Areia média	0,73	Moderadamente selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	0,83	Platicúrtica
2Btf <sub>2</sub>	78-120	1,82	Areia média	0,73	Moderadamente selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	0,84	Platicúrtica
2Btf <sub>3</sub>	120-200+	2,01	Areia fina	0,99	Moderadamente selecionado	0,17	Positiva	0,76	Platicúrtica
Cr		2,30	Areia fina	0,45	Bem selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,16	Leptocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 37 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T3-LVe calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-15	1,86	Areia média	0,58	Moderadamente selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	0,91	Mesocúrtica
A2	15-50	1,82	Areia média	0,57	Moderadamente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	0,93	Mesocúrtica
AB	50-71	1,76	Areia média	0,54	Moderadamente selecionado	-0,01	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
Bw <sub>1</sub>	71-95	1,84	Areia média	0,57	Moderadamente selecionado	-0,01	Aproximadamente simétrica	0,94	Mesocúrtica
Bw <sub>2</sub>	95-145	1,89	Areia média	0,57	Moderadamente selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	0,89	Platicúrtica
Bw <sub>3</sub>	145-170+	1,82	Areia média	0,58	Moderadamente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	0,94	Mesocúrtica
Bw <sub>n</sub>		1,89	Areia média	0,58	Moderadamente selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	0,90	Mesocúrtica
R		2,10	Areia fina	0,61	Moderadamente selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	1,09	Mesocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 38 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P1T4-TXp calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-11	1,79	Areia média	0,74	Moderadamente selecionado	-0,14	Negativa	0,83	Platicúrtica
A2	11-38	1,84	Areia média	0,75	Moderadamente selecionado	-0,14	Negativa	0,89	Platicúrtica
AB	38-48	1,88	Areia média	0,77	Moderadamente selecionado	-0,18	Negativa	0,94	Mesocúrtica
BAt	48-70	1,86	Areia média	0,76	Moderadamente selecionado	-0,22	Negativa	0,94	Mesocúrtica
Bt	70-85/98	1,82	Areia média	0,81	Moderadamente selecionado	-0,19	Negativa	0,93	Mesocúrtica
BC	85/98-125	1,71	Areia média	0,75	Moderadamente selecionado	-0,20	Negativa	1,14	Leptocúrtica
C/Cr	125-140+	1,76	Areia média	0,64	Moderadamente selecionado	-0,11	Negativa	1,06	Mesocúrtica
R		1,72	Areia média	0,67	Moderadamente selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 39 – Parâmetros estatísticos da sedimentologia da fração areia do Perfil P2T4-PVd calculados pelo programa SYSGRAN (versão 3.0) através do método proposto por Folk & Ward (1957).

Hor	Prof (cm)	Diâmetro Médio ( $\Phi$ )	Grau Seleção ( $\Phi$ )	Assimetria	Curtose				
A1	0-20	1,89	Areia média	0,60	Moderadamente selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	0,79	Platicúrtica
A2	20-55	1,92	Areia média	0,59	Moderadamente selecionado	-0,11	Negativa	0,79	Platicúrtica
AB	55-67	1,90	Areia média	0,60	Moderadamente selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	0,80	Platicúrtica
BAt	67-77	1,90	Areia média	0,61	Moderadamente selecionado	-0,08	Aproximadamente simétrica	0,78	Platicúrtica
Bt1	77-98	1,90	Areia média	0,60	Moderadamente selecionado	-0,08	Aproximadamente simétrica	0,78	Platicúrtica
Bt2	98-175+	2,11	Areia fina	0,52	Moderadamente selecionado	-0,12	Negativa	0,93	Mesocúrtica
R		2,29	Areia fina	0,44	Bem selecionado	-0,20	Negativa	1,17	Leptocúrtica

Fonte: produção do próprio autor

Com base na análise simultânea de vários fatores, concluiu-se que houve descontinuidade litológica na formação do perfil P2T1-PBACal, pela observação da distribuição irregular das frações areia entre os horizontes no perfil, pela análise mineralógica, pela diferença no valor de uniformidade, pela variação na relação Zr/Ti, e pela observação a campo de linha de cascalhos de dimensões centimétricas a milimétricas no topo do 2BA, constituídas de fragmentos de quartzito e calcedônia.

A princípio, também se observa a ocorrência de descontinuidade litológica no perfil P3T2-FTd havendo recobrimento de material arenoso em superfície, hipótese sustentada por vários parâmetros, entre eles pela presença de linhas de cascalhos milimétricos a centimétricos, representados por concreções irregulares de ferro e nódulos arredondados entre a base do A2 e o 2Btf<sub>1</sub>. Analisando a composição mineralógica, a proporção relativa dos argilominerais é diferente entre o horizonte A2 e o 2Btf<sub>2</sub>, porém observando o padrão dos difratogramas, o material alóctone que contribuiu para a formação dos horizontes de superfície provavelmente seja de natureza similar ao que contribuiu para a formação dos demais horizontes. Entre os horizontes A2 e o Btf<sub>1</sub>, observa-se uma diferença muito grande nos teores totais de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> determinados com FRX, assim como nos demais atributos químicos básicos ( $\Delta$ pH, Ca, Mg, Al<sup>+3</sup>, H+Al e CTC) que em parte justificam-se pelo incremento de argila. Observando os histogramas as maiores variações na granulometria ocorrem na camada Cr e no 2Btf<sub>3</sub>. Apresentou uma alta relação AR<sub>F</sub>/AR<sub>G</sub> no Cr caracterizando um material formado por partículas mais finas de areia em contraste com um material sobrejacente mais grosso, mas esta relação se mantém uniforme na transição entre os demais horizontes. Apesar dos outros indícios, entre o A2 e o 2Btf<sub>1</sub> não se observa diferenças no VU e na relação Zr/Ti.

Nos demais perfis existem algumas evidências isoladas, mas não há efetivamente uma comprovação definitiva da ocorrência de descontinuidade litológica.

## 6.7 PROCESSOS PEDOGÊNICOS

### 6.7.1 Argiluviação e ferrólise

A ocorrência de gradiente textural é uma feição comum em ARGISSOLOS de modo geral, caracterizada pelo incremento de argila em profundidade e/ou mudança textural abrupta. A origem do gradiente textural no perfil de solo pode estar diretamente relacionada ao material de origem, e a presença de descontinuidade litológica ocasionada pela deposição de camadas de material sedimentar sobre um perfil pré-existente (SCHAETZL, 1998).

O gradiente textural pode ser perfeitamente observado nos perfis P1T1-PVd (Figura 56), P2T1-PBACal (Figura 57), P3T1-PAal (Figura 58), P1T2-PBACal (Figura 59), P2T2-TCk (Figura 60), P3T2-FTd (Figura 61), P1T4-TXp (Figura 62) e P2T4-PVd (Figura 63) através da distribuição das frações granulométricas do solo conforme a profundidade dos horizontes e camadas nos perfis.

De acordo com Soil Survey Staff (1999) a formação deste gradiente pode estar diretamente ligada ao processo de argiluviação onde ocorre migração das partículas de argila mais finas do horizonte superficial (eluvial) na medida em que vai havendo um enriquecimento no teor de argila em subsuperfície (iluviação).

Neste tipo de estudo, a relação granulométrica entre as frações de argila é muito útil na identificação do processo de iluviação. Deste modo quanto mais partículas finas na fração argila, caracterizado por um aumento na razão entre os teores de argila fina e argila total ou argila fina e argila grossa maior será a probabilidade de que estas tenham sido iluviadas. Dessa forma, apesar de haver um aumento no teor de argila fina nos horizontes B texturais de todos os perfis em relação aos horizontes A sobrejacentes, de acordo com os dados da tabela 30 observa-se que somente no perfil P1T1-PVd ocorre um aumento significativo da relação  $A_F/A_G$  ou  $A_F/A_T$  nos horizontes Bt comprovada pela presença de cerosidade forte e abundante revestindo os agregados estruturais. Porém se faz uma ressalva em que estes dados devem ser interpretados com cautela devido às limitações instrumentais do método empregado.

Contudo, existem fortes indícios da presença de descontinuidade litológica em alguns perfis, advertindo que o processo de migração de partículas não é o único responsável pela formação de contraste textural.

No entanto, de acordo com Phillips (2004) o contraste textural também pode ser formado pela contribuição de processos secundários como a ferrólise, erosão seletiva e neoformação. Segundo Brinkman (1970) a ferrólise é um processo de formação do solo que causa desintegração das argilas e/ou interestratificação de argilominerais, sendo responsável pela formação de forte contraste textural em solos, devido a uma sequência de ciclos repetidos envolvendo reações de redução e oxidação. Isso ocorre em solos sujeitos a condições ambientais alternadas de saturação e secagem, onde durante a fase de oxidação ocorre a passagem do íon ferro ferroso ( $Fe^{2+}$ ) a férrico ( $Fe^{3+}$ ). A acidez produzida com a liberação de  $H^+$  durante a oxidação tem a capacidade de deslocar cátions da estrutura resultando na destruição dos argilominerais (van RANST & De CONINCK, 2002).

Parte expressiva dos solos da Depressão Central na região da Campanha Gaúcha são desenvolvidos da Formação geológica Pirambóia. Solos derivados deste material, em especial os da classe dos ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS e LUVISSOLOS HÁPLICOS Pálicos redóxicos, apresentam características químicas particulares, como baixo pH (reação ácida) e elevado teor de alumínio trocável, associados geralmente a altos teores de cálcio e magnésio. Este comportamento atípico parece estar relacionado à liberação de grandes quantidades de Al decorrentes da oscilação do lençol freático, promovendo destruição de argilominerais do grupo das esmectitas, e/ou à contribuição de Al proveniente de hidrólise de polímeros de Al entre camadas.

Os altos teores de Al trocável podem ser variáveis para cada tipo de solo, em função de suas propriedades químicas intrínsecas, composição mineralógica e do grau de intemperização. O Al existente no solo pode se manifestar sob diferentes formas, incluindo Al estrutural em aluminosilicatos, argilominerais e em oxi-hidróxidos, Al trocável (principalmente monômeros), Al complexado a compostos orgânicos e Al na forma de polímeros inorgânicos, livres ou associados às demais frações coloidais. No solo o íon alumínio em sua forma trocável ( $Al^{+3}$ ) surge basicamente de duas maneiras, quer seja por dissolução de hidróxidos de Al amorfo e cristalino em meio ácido, como também por decomposição de minerais de argila silicatadas em meio ácido (SPOSITO, 1989). Ou seja, o íon alumínio provém da intemperização de minerais primários como feldspatos, micas, anfibólios, piroxênios, e de minerais secundários como os argilominerais e oxi-hidróxidos. Logo depois de ocorrer este processo, o Al liberado em solução pode se

recombinar com o íon silício para formar argilominerais de camada 1:1 ou 2:1, ou então sofrer um processo de nucleação podendo originar íons  $Al^{+3}$  na forma de monômeros e polímeros cristalinos ou amorfos carregados positivamente, que podem ficar entre as camadas das argilas esmectitas e vermiculitas, ou em complexos orgânicos (FIGUEIREDO & ALMEIDA, 1991). Segundo Wilson (1999), a transformação mineralógica pode ser incompleta, permitindo desta forma a ocorrência de minerais intermediários ou interestratificados, existindo na mesma partícula entrecamadas expansíveis e não-expansíveis.

Neste estudo, buscou-se identificar se os elevados teores de Al trocável encontrados nestes solos são decorrentes do processo de destruição dos argilominerais por ferrólise, baseando-se nas relações entre os atributos químicos e mineralógicos.

Nos ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS as cores brunadas do topo do horizonte B tornam-se mais acinzentadas em profundidade, por causa da restrição na drenagem imposta pela presença do saprólito da rocha pelítica, formando zonas de depleção de ferro (Fe) associadas à presença de mosqueados e variegados na base do perfil (policromia) (ALMEIDA, J.A. in prep). Nas tabelas 4 e 16 se encontram os dados das características químicas dos solos, onde podem ser observados os elevados teores de Al no horizonte Bt dos perfis P2T1-PBACal e P1T4-TXp associados a altos valores de saturação por bases. Nestes perfis, as esmectitas são dominantes na litologia subjacente, sendo bastante preservadas nos horizontes mais superficiais. Nos horizontes Bt dos dois solos (Figuras 34 e 52) observa-se que nas amostras saturadas com Mg e K o padrão dos difratogramas é muito similar, indicando praticamente os mesmos argilominerais. Picos simétricos, intensos e agudos na amostra saturada com Mg (1,570 e 1,591 nm) indicam predomínio das esmectitas sobre a caulinita. Nas amostras saturadas com K e aquecidas, observa-se contração paulatina das camadas, mas mesmo após aquecimento a temperatura de 350°C, não se observa colapso completo, o que sugere presença de material entrecamadas impedindo a contração. Somente quando aquecidas a 550°C ocorre o colapso a valores de espaçamento de 1,003 nm, mas mesmo assim, com assimetria para ângulos 2 $\theta$  mais baixos. O aquecimento a 550°C conforme o esperado destrói as caulinitas (desaparecimento dos picos em 0,723 e 0,355 nm). Este comportamento sugere que, no ambiente úmido atual, e devido à frequente alternância de condições redutoras e oxidantes nesses solos, indicadas por evidências morfológicas como a presença de mosqueados vermelhos e

amarelos e zonas com depleção de ferro, deve estar ocorrendo um processo contemporâneo de destruição das esmectitas, liberando grandes quantidades de alumínio para o meio. O alumínio provavelmente forma polímeros amorfos, os quais em boa parte são intercalados nas entrecamadas de esmectitas remanescentes, devido a sua carga positiva.

De acordo com Cunha (2013), existe a possibilidade de que a solução extratora de  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , ao reduzir expressivamente o pH em mais de uma unidade durante a extração, possa estar promovendo a hidrólise de formas não trocáveis de Al, como as dos polímeros amorfos situados nas entrecamadas dos argilominérias, ou formas de baixa cristalinidade, ou ainda mesmo do Al complexado com a matéria orgânica, superestimando assim os teores de Al efetivamente trocáveis.

A análise por difratometria de raios-X mostrou que no caso dos ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS e do LUVISSOLO HÁPLICO Pálico redóxico, os argilominerais do grupo das esmectitas encontram-se em processo de destruição devido ao clima úmido atual, resultando na liberação de grandes quantidades de Al.

### 6.7.2 Segregações e plintização

Tanto diretamente no campo durante a descrição morfológica do perfil de solo quanto posteriormente em ambiente de laboratório, a correta identificação das segregações (nódulos, concreções, mosqueados e plintita) não é uma tarefa fácil devido a certa subjetividade nos critérios impostos ao pedólogo na avaliação, levantando muitas dúvidas e questionamentos na caracterização de sua natureza e dos processos envolvidos em sua gênese. Desta forma, nos perfis que apresentaram horizontes com manchas de alteração cinzentas e avermelhadas e/ou coloração variegada, as amostras foram submetidas à separação física manual por raspagem das segregações e da matriz do solo, sendo posteriormente realizadas análises químicas e mineralógicas. Amostras indeformadas também foram submetidas a ciclos alternados de umedecimento e secagem com o objetivo de comprovar a ocorrência de plintita.

A plintita é constituída por uma mistura de argila rica em ferro e pobre em carbono orgânico, com grãos de quartzo e outros minerais, ocorrendo comumente na forma de mosqueados vermelho escuro, usualmente com padrões laminares, poligonais ou reticulados (SOIL SURVEY STAFF, 2010 e EMBRAPA, 2013). A plintita se forma em ambiente úmido pela segregação de ferro, importando em mobilização,

transporte e concentração final dos compostos de ferro (EMBRAPA, 2013).

Os resultados com os teores de ferro determinados com diferentes extratores constam nas tabelas 21 a 29, enquanto que os resultados visuais dos testes de plintita podem ser visualizados nas figuras 70, 71 e 72.

Nas amostras do perfil P2T1-PBACal observa-se que nas manchas avermelhadas do horizonte 2BC quando comparadas com a matriz residual acinzentada (zona de depleção de ferro) e com o horizonte imediatamente sobrejacente (2Bt) houve concentração de  $Fe_2O_3$  extraído tanto por DCB quanto por oxalato. O conteúdo de  $Fe_2O_3$  extraído por DCB e oxalato nas segregações foi respectivamente 1,4 e 2,8 vezes maior do que na matriz do horizonte 2Bt, indicando que boa parte do ferro acumulado nas segregações ainda se encontra em fases menos cristalinas. Nas zonas de depleção, o conteúdo de  $Fe_2O_3$  foi muito baixo nos dois extratores, indicando perda acentuada do ferro. Como o DCB extrai principalmente óxidos cristalinos de ferro, um aumento de apenas 40 % nas segregações não parece constituir acumulação suficiente para a formação de plintita, tendo as mesmas sido interpretadas simplesmente como mosqueados, o que foi confirmado posteriormente pelas avaliações físicas (Figura 70). Quando se compara, no entanto, os teores de  $Fe_2O_3$  DCB nas segregações do BC (manchas avermelhadas) com o da camada R observa-se que foram cerca de 3 vezes mais altos do que aquela. A relação  $Fe_o/Fe_d$  na matriz do 2BC foi maior do que na segregação, e esta por sua vez foi mais elevada do que no 2Bt (Tabela 22).

No perfil P3T1-PAal se observa um comportamento semelhante quando comparado ao perfil anterior, com valores de  $Fe_2O_3$  (DCB e oxalato) na segregação (manchas avermelhadas do  $Btf_3$ ) respectivamente 2 e 3 vezes superiores ao horizonte  $Btf_2$ , enquanto que a matriz acinzentada do  $Btf_3$  apresentou teores de  $Fe_2O_3$  muito inferiores tanto em relação a segregação quanto a matriz do horizonte sobrejacente mas, com uma relação  $Fe_o/Fe_d$  mais alta (Tabela 23). Já em relação à rocha, o conteúdo de  $Fe_2O_3$  na matriz do  $Btf_2$  foi apenas ligeiramente superior, mas foi cerca de 3 vezes maior do que a rocha nas segregações do  $Btf_3$ . Neste solo, as segregações do horizonte  $Btf_2$  foram interpretadas como plintita; os testes físicos comprovaram sua presença neste horizonte, porém não foi comprovada no horizonte imediatamente acima ( $Btf_1$ ) (Figura 71).

O perfil P3T2-FTd não diferiu muito dos perfis anteriores, tendo havido concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  extraído pelo DCB e oxalato nas segregações avermelhadas do 2Btf<sub>3</sub>, em ambos os casos, cerca de 2 vezes mais alta do que na matriz do 2Btf<sub>2</sub>. Na matriz acinzentada, por outro lado o conteúdo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por DCB foi cerca de 6 vezes menor do que nas segregações e 3 vezes menor do que na matriz do horizonte 2Btf<sub>2</sub>. Do mesmo modo a relação  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$  foi mais alta na matriz do 2Btf<sub>3</sub> e com valores semelhantes entre a segregação e o 2Btf<sub>2</sub> (Tabela 26). Neste perfil, não havia exposição da rocha fresca (R), tendo sido coletado apenas o saprolito (Cr), cujo conteúdo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por DCB foi cerca de 3 vezes menor do que nas segregações. Embora os resultados do ferro no solo em questão não tenham diferido sensivelmente dos demais solos avaliados, após os cinco testes de umedecimento e secamento, as segregações avermelhadas mantiveram-se na maior parte agregadas, com pouco material desintegrado em conjuntos menores (Figura 72), tendo sido interpretadas como plintita.

Verifica-se que em todas as amostras avaliadas os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nas segregações foram mais elevados do que os encontrados na matriz do solo e na rocha ou saprolito subjacente, com valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oxalato na faixa entre 0,66 a 0,91 g kg<sup>-1</sup> na matriz, e de 3,66 a 4,09 g kg<sup>-1</sup> nas segregações. Já os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  DCB variaram entre 1,6 a 6,11 g kg<sup>-1</sup> na matriz, e de 18,38 a 43,37 g kg<sup>-1</sup> nas segregações.

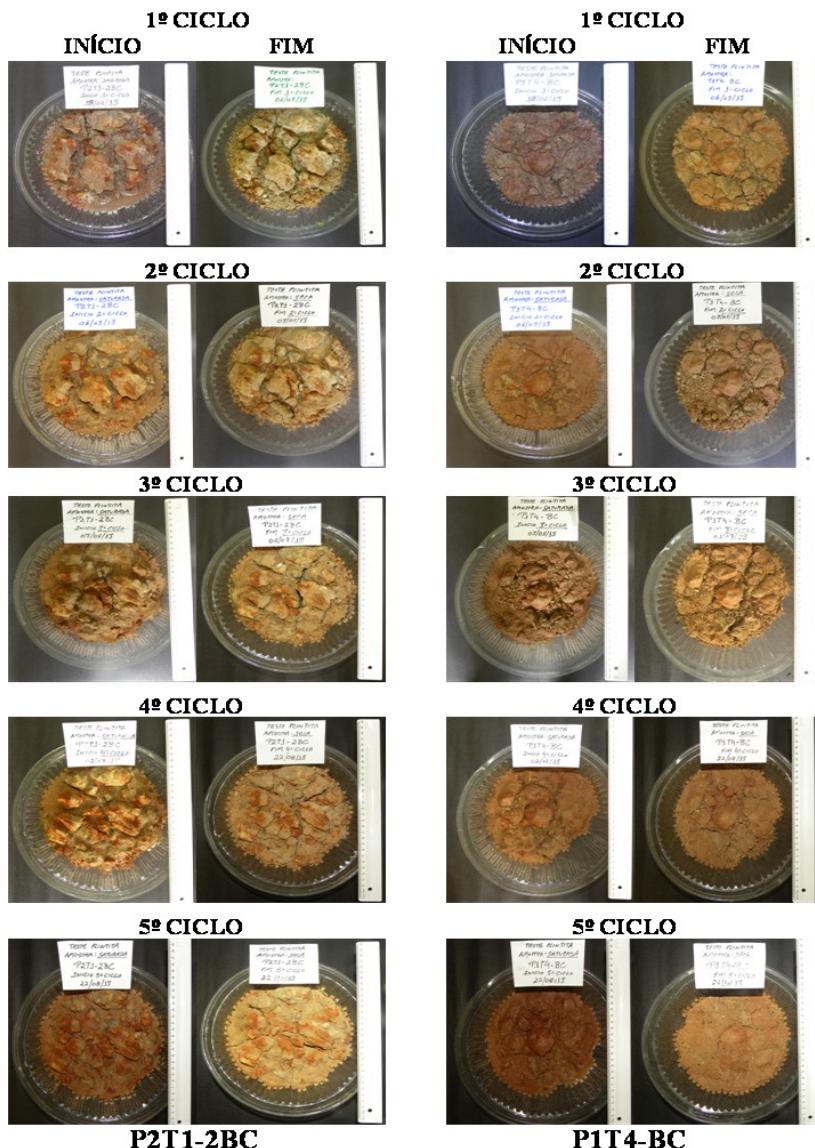
De acordo com os critérios que tem sido sugeridos para identificação de plintita, o material das segregações dos horizontes 2BC do perfil P2T1-PBACal e do BC do perfil P1T4-TXp não caracterizaram sua presença, por não apresentarem durante o teste consistência dura ou muito dura quando seca e firme quando úmida. Apresentaram aspecto quebradiço e friável desintegrando-se quando pressionados pelo polegar e o indicador. O material quando submetido à submersão em água se esborrou, além de ter sido fragmentado apresentando diâmetro menor que 2 mm na sua maior parte após os ciclos repetidos de umedecimento e secagem, não sendo possível separá-lo da matriz do solo.

No perfil P3T1-PAal, apesar do teste não ter revelado a presença de plintita no Btf<sub>1</sub>, apresentou horizonte plíntico devido ao Btf<sub>2</sub> apresentar plintita em quantidade (volume  $\geq 15\%$ ) e espessura ( $> 15$  cm) suficiente, mas em posição não diagnóstica para caracterizar um Plintossolo. O perfil P3T2-FTd apresentou plintita em volume e espessura suficientes para caracterizar horizonte plíntico (2Btf<sub>2</sub> e 2Btf<sub>3</sub>), ocorrendo em posição diagnóstica para a ordem dos PLINTOSSOLOS.

Constata-se na discussão anterior, que somente a quantidade de ferro acumulada nas segregações, assim como a propriedade do material poder ou não ser separado mais ou menos facilmente do restante da matriz do solo, por si só, não dão garantia de identificação do material como sendo plintita. Muitas segregações podem ser facilmente separadas da matriz, possuindo expressiva acumulação de ferro em relação ao restante da matriz do horizonte, ou maior quantidade de ferro do que na rocha subjacente, mas podem não possuir a consistência e estabilidade suficientes para manterem-se intactos durante os ciclos de umedecimento e secamento. Para que isso ocorra, parece ser necessário que as segregações tenham sido submetidas, no ambiente do solo, a ciclos de oxidação e redução por tempo suficientemente prolongado para adquirirem estabilidade, fato que deve ocorrer por algum processo de cimentação pela presença de óxidos e, ou de sílica.

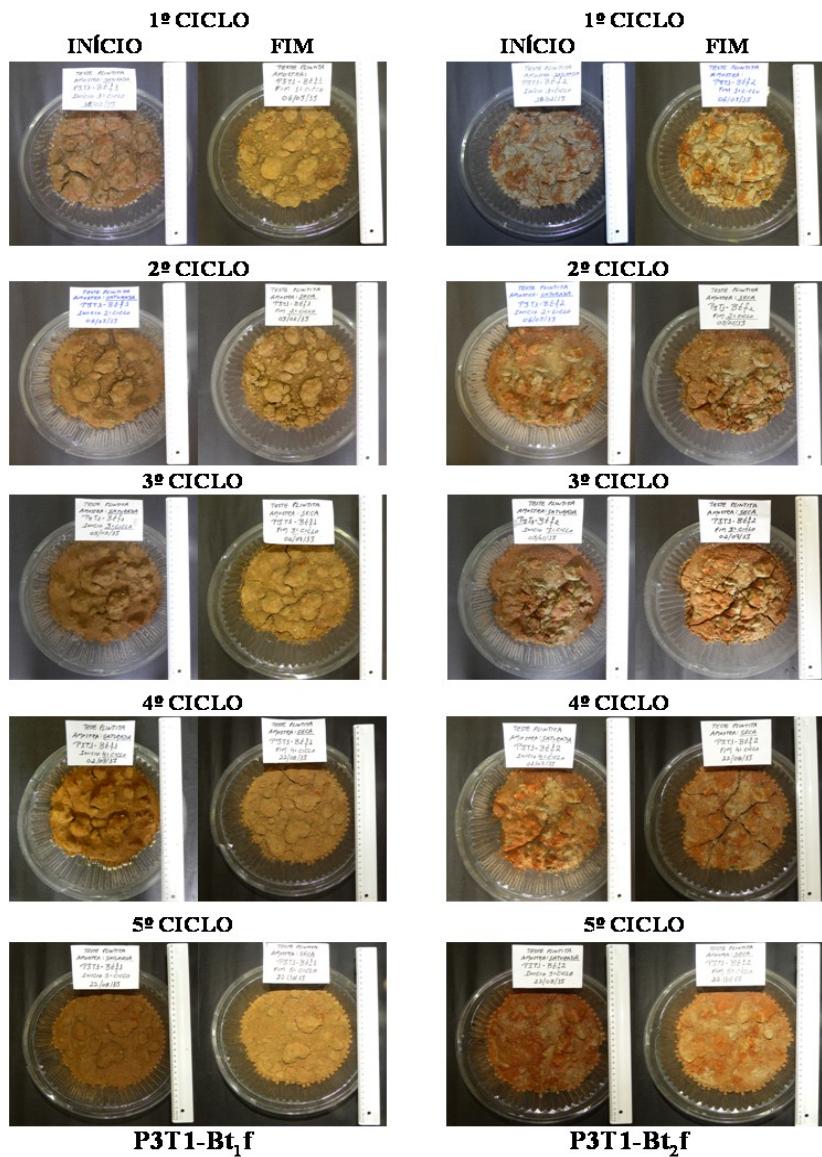
Parece promissora, no entanto, a ideia de que o conjunto das três propriedades citadas, acrescidas de outras, deva ser levada em conta na definição de plintita para as condições brasileiras. Algumas sugestões nesse sentido são apontadas: a) que as segregações devam apresentar maior acumulação de ferro do que a matriz do solo e/ou do que a rocha ou saprolito subjacente, podendo definir-se um valor mínimo de acumulação (2 ou 3 vezes maior, por exemplo); b) que as segregações possam ser destacadas da matriz, mantendo-se como fases individualizadas; c) que tenham consistência dura ou muito dura quando secas e firmes quando úmidas; d) que se mantenham suficientemente estáveis após vários ciclos de umedecimento. Para este último caso, uma opção poderia ser avaliar sua estabilidade em água, após um certo volume das segregações ser agitada num conjunto de peneiras, definindo-se um percentual mínimo do volume inicial de material a ser retido em peneira de malha maior. Outros critérios adicionais podem ser acrescidos, tais como a exigência da presença de petroplintita em alguma parte do perfil.

Figura 70 – Resultado visual do teste de plintita das amostras dos horizontes 2BC e BC dos perfis P2T1-PBACal e P1T4-TXp respectivamente.



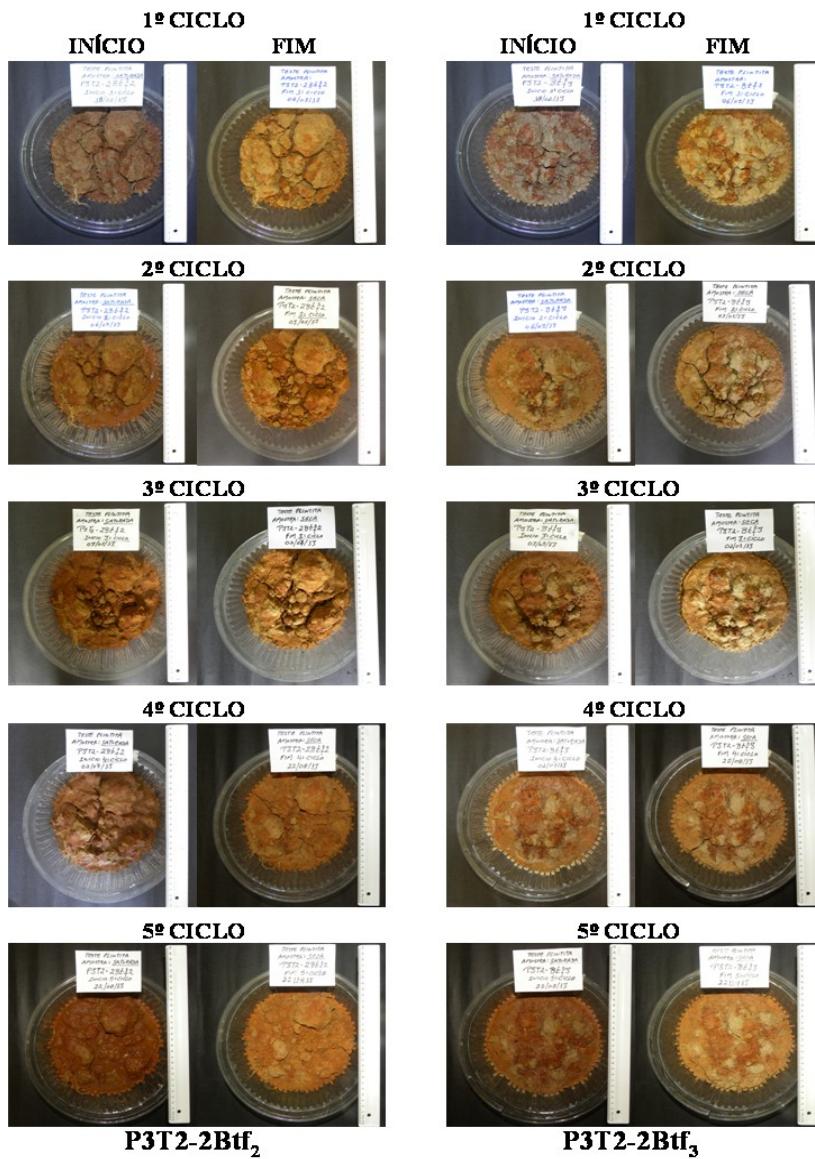
Fonte: produção do próprio autor

Figura 71 – Resultado visual do teste de plintita das amostras dos horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> do perfil P3T1-PAal.



Fonte: produção do próprio autor

Figura 72 – Resultado visual do teste de plintita das amostras dos horizontes 2Btf<sub>2</sub> e 2Btf<sub>3</sub> do perfil P3T2-FTd.



Fonte: produção do próprio autor

## 6.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Por meio de análise fatorial descreveram-se os fatores 1, 2 e 3 que explicaram a variabilidade dos dados básicos dos perfis e a correlação entre as variáveis dos solos estudados. Com os resultados da análise de fatores dos solos nos horizontes A e B (Tabelas 40 e 41), verifica-se que a proporção da variação total do solo explicada nos três primeiros fatores para as variáveis químicas e físicas foram de 91,9 e 89,5 % para os horizontes A e B, respectivamente.

Tabela 40 – Cargas fatoriais de variáveis químicas e físicas nos três primeiros eixos no horizonte A dos perfis de solos estudados.

Variáveis analisadas	Horizonte A		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Acidez ativa-pH H <sub>2</sub> O	0,903	-0,272	-0,135
Carbono orgânico-C ORG	0,822	0,444	0,336
Cálcio-Ca	0,989	-0,041	-0,039
Magnésio-Mg	0,866	0,131	0,440
Potássio-K	0,153	0,100	0,929
Alumínio-Al	-0,340	0,907	0,226
Acidez potencial-H+Al	0,117	0,896	0,392
Soma de bases-S	0,991	0,005	0,100
Valor T-CTCpH7	0,936	0,262	0,204
Saturação por bases-V	0,900	-0,377	0,205
Saturação por alumínio-m	-0,789	0,553	-0,247
Areia	-0,768	-0,365	-0,003
Argila total	0,318	0,508	0,578
Grau de floculação da argila	0,059	0,930	-0,203
Espessura do horizonte	-0,627	-0,581	-0,271
Variância total (%)	51,7	26,9	13,3

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 41 – Cargas fatoriais de variáveis químicas e físicas nos três primeiros eixos no horizonte B dos perfis de solos estudados.

Variáveis analisadas	Horizonte B		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Acidez ativa-pH H <sub>2</sub> O	<b>0,768</b>	-0,547	-0,199
Cálcio-Ca	<b>0,977</b>	-0,115	0,051
Magnésio-Mg	<b>0,947</b>	0,170	0,074
Potássio-K	<b>0,764</b>	0,482	0,043
Alumínio-Al	0,207	<b>0,952</b>	0,120
Acidez potencial-H+Al	0,162	<b>0,949</b>	0,220
Soma de bases-S	<b>0,990</b>	-0,079	0,046
Valor T-CTCpH7	<b>0,957</b>	0,252	0,117
Saturação por bases-V	<b>0,739</b>	-0,512	-0,285
Saturação por alumínio-m	-0,575	0,631	0,326
Saturação por sódio-Na	0,619	-0,654	-0,119
Atividade da argila	<b>0,982</b>	0,116	-0,078
Teor Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ASTF)	0,012	0,173	<b>0,901</b>
Areia	<b>-0,722</b>	0,202	-0,590
Argila total	0,038	0,341	<b>0,886</b>
Grau de floculação da argila	-0,518	0,325	0,457
Relação silte/argila	<b>0,780</b>	-0,529	-0,039
Variância total (%)	50,7	24,2	14,6

Fonte: produção do próprio autor

A AF visa descrever a estrutura de dependência de um conjunto de variáveis pela criação de fatores, que supostamente têm aspectos comuns. Trata-se de uma técnica estatística que, a partir da matriz de correlações ou de covariâncias das variáveis originais, permite a criação de um conjunto menor de fatores (SILVA, 2008).

A AG constitui uma série de procedimentos utilizados na identificação de padrões de comportamento por meio da formação de grupos homogêneos de objetos (MINGOTI, 2005). O princípio consiste na ligação dos objetos estudados por seu grau de semelhança, e o objetivo principal é a identificação de grupos que apresentem comportamentos similares. Utiliza, principalmente, métodos hierárquicos de aglomeração a partir de uma matriz de similaridade

entre objetos. O algoritmo inicia reunindo os objetos mais próximos, com maior similaridade, e prossegue até a formação de um único grupo composto por todos os objetos analisados. É representada por um diagrama de árvore (dendrograma), em que menores distâncias entre objetos indicam maior grau de similaridade entre eles (MOITA NETO e MOITA, 1998).

Para o horizonte A (Tabela 40), a variabilidade do fator 1 (51,7 %) deve-se à acidez ativa (pH H<sub>2</sub>O), teores de carbono orgânico, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC pH7, saturação por bases e por alumínio e fração areia do solo, enquanto, 26,9 % da variação total atribuída ao fator 2 é devida aos teores de alumínio trocável, acidez potencial (H+Al) e grau de floculação da argila (GF). Já o fator 3 explica apenas 13,3 % da variação, sendo causada pelas concentrações de potássio no solo.

Para o horizonte B (Tabela 41), nota-se que 50,7 % da variação total dos solos causada pelos atributos químicos e físicos é representada pelo fator 1, principalmente pela acidez ativa (pH H<sub>2</sub>O), bases trocáveis (cálcio, magnésio e potássio), soma de bases, CTC pH7, saturação por bases, atividade da argila, areia e relação silte/argila. O fator 2 é responsável por 24,2 % da variabilidade, ocorrendo variações significativas nos valores de alumínio trocável e acidez potencial (H+Al), enquanto que o fator 3 explica apenas 14,6 % da variação, sendo atribuída aos teores de ferro e de argila no solo.

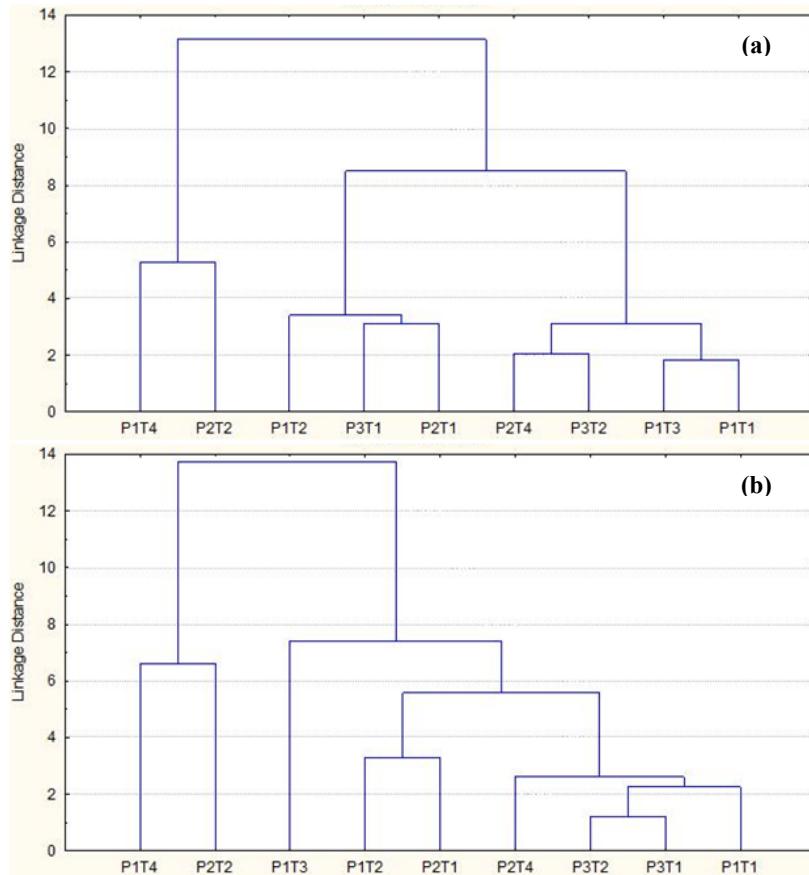
O arranjo por afinidade dos horizontes A e B dos solos (Figura 73), foi representado por meio do dendrograma baseado na distância euclidiana (coeficientes de medida de similaridade), determinado por meio de cálculos a partir da matriz de correlação entre as variáveis estudadas, onde é possível identificar a formação de grupos distintos.

No dendrograma pelos atributos do horizonte A (Figura 73a) formaram-se 3 grupos distintos levando em consideração uma distância euclidiana de 6,0 entre os perfis. O grupo 1 reuniu os perfis P1T4-TXp e P2T2-TCk com distância de 5,5. O grupo 2 foi formado pelos perfis P1T2-PBACal, P3T1-PAal e P2T1-PBACal com distância de 3,8. E o grupo 3 é composto pelos perfis P2T4-PVd, P3T2-FTd, P1T3-LVe e P1T1-PVd com distância de 3,2.

No dendrograma pelos atributos do horizonte B (Figura 73b), houve a formação de 4 grupos diferentes. O grupo 1 foi formado pelo P1T4-TXp e P2T2-TCK com distância de 6,8. O grupo 2 somente pelo P1T3-LVe com distância de 7,2. O grupo 3 pelo P1T2-PBACal e P2T1-PBACal com distância de 3,2. E o grupo 4 pelos perfis P2T4-PVd, P3T2-FTd, P3T1-PAal e P1T1-PVd com distância de 2,8. Dentro do

grupo 4 os perfis que mais se assemelham entre si são o P3T2-FTd e P3T1-PAal com distância euclidiana próximo de 1,2.

Figura 73 – Agrupamento hierárquico aglomerativo entre os horizontes dos perfis pelo método de dissimilaridade por distância euclidiana: (a) dendrograma pelos atributos do horizonte A; (b) dendrograma pelos atributos do horizonte B.



Fonte: produção do próprio autor

Analizando as cargas fatoriais (Tabelas 40 e 41) notam-se quais foram os atributos químicos e físicos do solo determinantes na diferenciação dos horizontes entre os perfis. O objetivo é conhecer, dentre os atributos do solo importantes para a sua caracterização, os que

estão associados (correlacionados) influenciando no estabelecimento dos agrupamentos de perfis semelhantes.

A técnica estatística multivariada análise de fatores possibilitou identificar quanto cada fator explicou da variação total dos atributos dos solos, e quais atributos físicos e químicos foram responsáveis pela variabilidade dos dados dentro de cada um dos fatores para os horizontes A e B dos perfis de solos estudados.

A análise de agrupamentos permitiu identificar padrões de comportamento similares por meio da formação de grupos homogêneos de perfis ligados por seu grau de semelhança.



## 7 CONCLUSÕES

1. Taxonomicamente, os solos da região sudoeste do RS (Campanha Gaúcha), variaram tanto em nível de subgrupos quanto de ordem, por apresentarem características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas, influenciadas principalmente pelo tipo de material de origem (rocha).
2. Nos solos estudados ocorrem variações na litologia de origem entre os perfis de uma mesma formação geológica.
3. Solos desenvolvidos da mesma formação, em função de variações litológicas do pacote sedimentar, apresentam composição química e mineralógica diferente.
4. Solos formados e evoluídos nas mesmas condições climáticas e de conformação de relevo apresentam características semelhantes.
5. As diferenças entre os solos também se devem à forte interação do material de origem com o tipo e intensidade dos processos pedogênicos, influenciados pela forma do terreno e posição que ocupam na paisagem, condicionados pelos fluxos de água no solo.
6. A exceção dos perfis P2T1-PBACal, P2T2-TCK, P1T4-TXp e parte do perfil P1T2-PBACal, a caulinita foi o argilomineral predominante, havendo, porém contribuição expressiva de argilominerais do tipo 2:1; verificou-se relação direta entre os atributos químicos dos solos, e a sua constituição mineralógica.
7. Os parâmetros cristalográficos das caulinitas variaram tanto dentro do perfil como entre os perfis, mostrando uma evolução pedogenética diferenciada, o que pode ser devido ao grau diferenciado de intemperização como também às diferenças no material de origem.
8. No geral, os valores de  $DMC_{001}$  e  $NMC$  das caulinitas foram baixos, reflexo em parte, dos altos valores da LMA, devido à presença de interestratificados em conjunto com a caulinita.
9. Pela análise dos atributos indicadores e das feições morfológicas, constatou-se descontinuidade litológica somente nos perfis P2T1-

PBACal e P3T2-FTd, mas não se descarta a hipótese de descontinuidade por contribuição de material alóctone de natureza coluvionar nos demais perfis, pela existência de evidências isoladas, e também devido a semelhança de natureza química e mineralógica do sedimento parental entre os diferentes materiais.

10. Os principais processos pedogenéticos atuantes na evolução dos solos estudados foram a argiluviação, a ferrólise e a plintização.
11. A gênese do alto contraste textural entre os horizontes, em solos desenvolvidos de rochas sedimentares na região sudoeste do Rio Grande do Sul, não se deve somente ao processo de argiluviação, existindo fortes indícios da presença de descontinuidade litológica em alguns perfis, além da ocorrência de ferrólise.
12. A análise por difratometria de raios-X na fração argila revelou que os altos teores de alumínio supostamente “trocáveis” nos ARGISSOLOS BRUNO-ACINZENTADOS e no LUVISSOLO HÁPLICO Pálico redóxico da Região da Campanha Gaúcha, ocorrem devido ao processo de destruição dos argilominerais do grupo das esmectitas por ferrólise.
13. As segregações de ferro na maior parte dos solos ocorrem na forma de mosqueados e não de plintita, associado a zonas de depleção de ferro, devido reações de oxi-redução impostas pela restrição na drenagem de água no perfil.
14. A técnica estatística multivariada análise de fatores permitiu identificar os atributos do solo determinantes na discriminação dos perfis.
15. A análise multivariada permitiu diferenciar estatisticamente tanto os perfis dentro de uma mesma unidade litoestratigráfica, como em diferentes posições do relevo, e também os solos desenvolvidos a partir de diferentes materiais de origem e que ocupam posições semelhantes na pedopaisagem, por meio da formação de grupos homogêneos de perfis ligados por seu grau de semelhança.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N. **Megageomorfologia do território brasileiro** In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T., orgs. Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1998. p.71-94.

ABREU JÚNIOR, C.H. et al. Métodos analíticos utilizados em química do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG. SBCS, 2009. v2. cap.21. p.529-694.

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

ALMEIDA, J. A. et al. **Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages, SC**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.24, p.815-828, 2000.

ALMEIDA, J. A. Solos dos Pampas. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F. & FONTES, M. P. F. (Eds.) **O solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**. Soc. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 1996, p. 289-306.

ALMEIDA, J.A. **Solos das pradarias mistas do sul do Brasil (Pampa Gaúcho)**. (in prep).

ALOISI, R. R.; PERECIN, D.; BONI, N. R. **Granulometria da fração areia de alguns perfis de solos de Aripuanã – MT**. Acta Amazônica, v8 (2): 129-132, 1978.

ANDREIS, R.R.; BOSSI, G.E. & MONTARDO, D.K. **O grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú (SC), 1980. Anais. Camboriú, SBG, v.2, p.659-673.

BARNHISEL, R.I. & BERTSCH, P.M. **Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite.** In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.729-788.

BIRKELAND, P.W. **Soil-geomorphic research - a selective overview.** Geomorphology, 3:207-224, 1990.

BIRKELAND, P.W. **Soils and geomorphology.** New York, 1984. 372p

BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. **Historical development of key concepts in pedology.** Geoderma, v.124, p.23-36, 2005.

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

BOMBIN, M. & KLAMT, E. **Evidências paleoclimáticas em solos do Rio Grande do Sul.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, Anais..., 1974. v.3, p. 183-193.

BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in soil environments.** 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.675-727.

BORTOLUZZI, C. A. **Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.** Pesquisas, Porto Alegre, v. 4, n.1, p.7-86, 1974.

BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Campinas, 1988. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.79-90.

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

BOUYOUCUS, G.J. **Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils.** Agron J. 1962; 54:464-5.

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, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

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

BRINDLEY, G.W.; KAO, C.; HARRISON, J.L.; LIPSICAS, M.& RAYTHATHA, R. **The relation between structural disorder and other characteristics of kaolinite and dickite.** Clays Clay Miner., 34:239-249, 1986.

BRINKMAN, R. **Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process.** Geoderma, 3, 199-2006, 1970.

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

BUI, E. N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. **Extracting soil-landform rules from previous soil surveys**. Australian Journal of Soil Research, v.37, p.495–508, 1999.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & McCracken, R.J. **Soil genesis and classification**. 3.ed. Ames, Iowa State Universitey Press, 1980. 446p.

CABRERA-MARTINEZ, F.; HARRIS, W.G.; CARLISLE, V.W. COLLINS, M.E. **Partitioning of clay-sized minerals in coastal plains soils with sandy/loamy boundaries**. Soil Science Society of America 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, v. 36 (2): 371-378, 2006.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. **Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande, v. 6, p. 104-114, 2006.

CAMPOS, M.C.C. **Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações**. Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, v. 8, p. 963-982, 2012.

CARNEIRO, A.E.V. & NASCIMENTO FILHO, V.F. **Análise de amostras geológicas utilizando a técnica de fluorescência de raios-X por dispersão de energia**. Sci. Agri. Vol. 53, 1996.

CARRÉ, F.; MCBRATNEY, A. B. **Digital terrain mapping**. Geoderma, v.128, p.340–353, 2005.

CARVALHO, A. P. **Caracterização, distribuição e utilização dos solos da Estação Experimental Zootécnica de Uruguaiana**. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1976. 150 p. (Dissertação de Mestrado).

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

CASES, J.M.; LIETARD, O.; YVON, J.; DELOM, J.F. **Étude des propriétés cristallochimiques, morphologiques, superficielles de kaolinites désordonnées**. Bull. Minéral., 105:439-455, 1981.

CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. Viçosa, UFV, 2006. 223f. (Doutorado em solos e nutrição de plantas).

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

COGO, N. P. **Morfologia e gênese de solos escuros formados sobre basalto na Campanha-Oeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1972. 131 p. (Dissertação de Mestrado).

COLTRINARI, L. **Paleoambientes quaternários na América do Sul: primeira aproximação**. In: CONGRESSO ABEQUA, 3., Belo Horizonte, 1992. Anais. Belo Horizonte, 1992. p.13-42.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. & LEPSCH, I.F. **Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in a case study in SE-Brazil**. R. Bras. Ci. Solo, 26:673-683, 2002.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. & LEPSCH, I.F. **Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in a case study in SE-Brazil**. R. Bras. Ci. Solo, 26:673-683, 2002.

CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. **The iron oxides**. VCH Publishers, Weiheim, Germany. 1996.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F & CURI, N. **Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano**. R. Bras. Ci. Solo, 32:1857-1872, 2008.

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. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000, 2006.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil: Agudo (Folha SH.22-V-C-V, escala 1:100.000)**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2007.

CREMEEENS, D. L. & D. L. MOKMA. **Argillic horizon expression and classification in the soils of two Michigan hydrosequences**. Soil Sci. Soc. Am.J. 50:1002–1007, 1986.

CUNHA, G.O.M. **Mineralogia e formas de alumínio em solos ácidos brasileiros**. Lages, UDESC, 2013. 153p. (Dissertação de Mestrado)

CURI, N. & KÄMPF, N. **Caracterização do solo**. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds) Pedologia: Fundamentos. Soc. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 2012. p. 147-169.

DALRYMPLE, J.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. **A hypothetical nine unit land a surface model**. Zeitschrift Geomorphology, 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. 236p.

DANIELS, R.B.; KLEISS, H.J.; BUOL, S.W.; BYRD, H.J. & PHILLIPS, J.A. **Soils systems in North Carolina**. Raleigh, North Carolina State University, 1984. 243p. (Bulletin, 467)

DIAS, K.D.N. **Análise estratigráfica da Formação Pirambóia, Permiano Superior da Bacia do Paraná, leste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Instituto de Geociências, UFRGS, 2006. 75f. (Dissertação de Mestrado).

DIAS, K.D.N.; SCHERER, C.M.S. **Cross-bedding set thickness and stratigraphic architecture of aeolian systems: An example from the Upper Permian Pirambóia Formation (Paraná Basin), southern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences 25 (2008) 405–415.

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.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA. SNLCS. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1979. 247p.

ESPÍRITO SANTO, F.R.C. **Distribuição de óxidos de ferro em uma catena de solos derivados de granito na região fisiográfica da Depressão Central no estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988. 141p. (Tese de Mestrado)

ESTADOS UNIDOS. United States Department of Agriculture. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey.** Washington, D.C., 1975. 330p.

ESWARAN, H.; DE CONINCK, F. **Clay mineralogy formation and transformation in basaltic soils in tropical environments.** Pedologie. v. 21, n.2, p.181-210. 1971.

FACCINI, U.F. **Estratigrafia do permo-triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação.** Porto Alegre, Instituto de Geociências, UFRGS, 2000. 300p. (Tese de Doutorado).

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

FIGUEIREDO, O. A. R.; ALMEIDA, J. A. **Quantificação das formas trocáveis e não trocáveis de alumínio em solos ácidos do estado de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP. V: 15, p.151-156, 1991.

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

FOLK, R.L. e WARD, W.C. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Petrology, 27:3-26, 1957.

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

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. **Primary topographic attributes.** In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). *Terrain Analysis: Principles and applications.* New York: John Wiley, 2000. p.51-85.

GAMERMANN, N. **Formação Rosário do Sul.** Pesquisas, Porto Alegre, n.2, p.5-36, 1973.

GOEDERT, W. J. & BEATTY, M. T. **Caracterização de grumossolos no Sudoeste do Rio Grande do Sul. I. Propriedades físicas adversas ao uso.** Pesquisa agropecuária brasileira, Rio de Janeiro, 6:91-102, 1971a.

GOEDERT, W. J. & BEATTY, M. T. **Caracterização de grumossolos no Sudoeste do Rio Grande do Sul. II. Mineralogia e gênese.** Pesquisa agropecuária brasileira, Rio de Janeiro, 6:183-193, 1971b.

GOEDERT, W. J. & BEATTY, M. T. **Caracterização de grumossolos no Sudoeste do Rio Grande do Sul. III. Morfologia e Classificação.** Pesquisa agropecuária brasileira, Rio de Janeiro, 6:243-251, 1971c.

GOEDERT, W. J. **Contribuição ao estudo das argilas dos solos do Rio Grande do Sul.** Pesquisa agropecuária brasileira, Rio de Janeiro, 2:245-258, 1967.

HART, R.D.; GILKES, R.J.; SIRADZ, S. & SINGH, B. **The nature of soil kaolins from Indonesia and western Australia.** Clays Clay Miner., 50:198-207, 2002.

HERBILLON, A.J. **Mineralogy of oxisols and oxidic materials.** In: THENG, B.K.G., ed. Soil with variable charge. New Zealand, 1980. p.109-126.

HOLMGREN, G.G.S. **A rapid citrat-dithionite extractable iron procedure.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31:210-211, 1967.

HSU, P.H. Aluminum Oxides and Oxyhydroxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.331-378.

HUDSON, B. D. **The soil survey as a paradigm-based science**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.56, p.836-841, 1992.

HUGGETT, R. J. **Soil landscape systems: a model of soil genesis**. Geoderma, v.13, p. 1-22, 1975.

HUGHES, J.C. & BROWN, G. **A crystallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate and soil nature**. J. Soil Sci., 30:557-563, 1979.

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

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

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. 796 p.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

**Manual técnico de pedologia.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2005. 300p.  
(Manuais técnicos em Geociências, 4)

JACKSON, M.L. **Soil Chemical Analysis.** 2ed. Madison: Department of Soil Science-University of Wisconsin. Advanced Course, 1965. 991p.  
(mimeografado)

JACOMINE, P. K. T.; ARAUJO FILHO, J. C.; WANDERLEY, J. F.  
**Testes para identificação de plintita em solos da formação Solimões no Acre.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORREÇÃO DE SOLOS, 9., Rio Branco, AC. Solos sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa: anais. Rio Branco, AC: SBCS, 2010.

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

JENNY, H. **Hilgard and the birth of modern soil science.** Berkeley: Farallo Publication, 1961.

JOHNSTON, C.T. & TOMBÁCZ, E. **Surface chemistry of soils minerals.** In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G., eds. Soil mineralogy with environmental applications. Madison, Soil Science of America, 2002. p.37-67.

KÄMPF, N. et al. **Estrutura básica de argilominerais 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolos Bruno do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.19, p.185-190, 1995.

KÄMPF, N. & CURI, N. **Formação e evolução do solo (Pedogênese).** In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.) Pedologia: Fundamentos. Soc. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 2012, p. 207-302.

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

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

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. **The 5 M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils.** Clays and Clay Minerals, v.30, p.401-408, 1982.

KÄMPF, N. ; SCHNEIDER, P. ; MELLO, P. F. **Alterações mineralógicas em sequência Vertissolo-Litossolo na região da Campanha do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 19, p. 349-357. 1995.

KÄMPF, N. **O ferro no solo.** In: Reunião sobre ferro em Solos inundados, 1., Goiânia, 1988. Anais. Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1988. (Documentos, 22)

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

KÄMPF, N.; CURI, N. **Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos.** In: NOVAIS, R. F.; ÁLVAREZ, V. H.;

SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, v.1, 2000. p. 81-138.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. **Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo.** In: MELO, V.F & ALLEONI, L.R.F., eds, Química e mineralogia do solo: Parte I – Conceitos básicos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 333-379.

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.

KEHRIG, A. G. **As relações Ki e Kr no solo.** Rio de Janeiro: IQA, 1949. 67 p. (Boletim do Instituto de Química Agrícola n. 13).

KER, J.C. **Latossolos do Brasil: Uma revisão.** Geonomos - v.5 n. 1: 17-40, 1997.

KER, JC. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traço de latossolos do Brasil.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado)

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KUZILA, M.S. **Identification of multiple loess units within modern soils of clay county, Nebraska.** Geoderma, 65:45-57, 1995.

LAVINA, E.L. **Geologia sedimentar e paleogeografia do neopermiano e eotriássico (Intervalo KazanianoScitiano) da Bacia do Paraná.** Porto Alegre, Instituto de Geociências, UFRGS, 1992. 512p. (Tese de Doutorado).

LAVINA, E.L.C.; FACCINI, U.F.; RIBEIRO, H.J.S. **A Formação Pirambóia (Permo-triássico) no estado do Rio Grande do Sul.** Acta Geologica Leopoldensia, 38, Vol. 16, p. 179-197; 1993.

LEINZ, V. & AMARAL, S. E. **Geologia Geral.** 9. ed. São Paulo: Ed. Nacional , 1985.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5<sup>a</sup>ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.il.

LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C. & MERMUT, A.R. **Pedogênese em uma topossequência do semi-árido de Pernambuco.** R. Bras. ci. solo, 16:95-102, 1992.

MARQUES Jr., J.; LEPSCH, I.F. & FERRAUDO, A.S. **Neotectônicas e distribuição dos solos no Planalto Ocidental Paulista.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Resumos expandidos. Rio de Janeiro, 1997. CD-ROM

McKEAGUE, J.A & DAY, J.H. **Dithionite and oxalate-extractable Fe e Al as aids in differentiating various classes of soils.** J. Soil. Sci., 46:13-22, 1966.

MEDEIROS, E.R.; PEDRON, F.A.; REINERT, D.J. & SCCOTTI, A.A.V. **Filiação entre arenitos da Formação Guará e sua cobertura pedológica no Rio Grande do Sul.** R. Bras. Ci. Solo, 37:555-564, 2013.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. **Iron oxide removal from soils and clays by a dithionitecitrate system buffered with sodium**

**bicarbonate.** Proceedings Clays & Clay Mineral Conference, London, 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, v. 7, p. 271-286, 1977.

MELFI, A. J. & PEDRO, G. **Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil.** Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 8, p. 11-22, 1978.

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

MELO, V.F.; CASTILHOS, R.M.V. & SPINELLI, L.F. **Reserva mineral do solo.** In: MELO, V.F & ALLEONI, L.R.F., eds, **Química e mineralogia do solo: Parte I – Conceitos básicos.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 251-332.

MELO, V.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SINGH, B.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. **Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, Estado do Espírito Santo.** R. Bras. Ci. Solo, 26:53-64, 2002.

MELO, V.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. **Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils.** Soil Sci. Soc. Am. J., 65:1324-1333, 2001.

MELO, V.F.; WYPYCH, F. **Caulinita e haloisita**. In: MELO, V.F & ALLEONI, L.R.F., eds, Química e mineralogia do solo: Parte I – Conceitos básicos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 427-504.

MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Oeste**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 255p. 1997. 2 v. (Tese de Doutorado).

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v.15 (2), p. 265-287, 2007.

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., 4:183-198, 1935.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297p.

MOITA NETO, J.M. & MOITA, G.C. **Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados**. R. Quím. Nova, 21: 467-469, 1998.

MONIZ, A.C. & BUOL, S.W. **Formation of na oxisol-ultisol transition in São Paulo State, Brazil: I. Double-water flow model of soil development**. Proc. Soil Sci. Am., 46:1228-1233, 1982.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. **Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.1, p.69-77, jan. 2005.

MOORE, I. D.; GEISSLER, P. E.; NIELSEN, G. A; PETERSON, G. A. **Soil attribute prediction using terrain analysis.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.57, p.443-452, 1993.

MOREIRA, H.L. & OLIVEIRA, V.A. **Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de ouro verde de Goiás.** R. Bras. Ci. solo, 32:1683-1690, 2008.

MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEAUX, P. **Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, p.869-878, 2002.

NETO, S.L.R.; DALMOLIN, Q. & ROBBI, C. **Bancos de dados em sistemas de informações geográficas.** Curitiba: UFPR, 1994. v. 1. 89p.

NOVAES FILHO, J.P.; COUTO, E.G.; RODRIGUES, L.C.M.; CHIG, L.A.; JOHNSON, M.S. **Indicativos de descontinuidade litológica de regolitos derivados de granitos em uma microbacia sob floresta amazônica, em Juruena – MT.** R.Bras. ci. solo,36:317-324, 2012.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada.** 4ed. Jaboticabal: FEALQ, 2011. 592 p.

PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J.; RAWLS, W. J. **Soil water retention as related to topographic variables**. Soil Science Society American Journal, v.65, p.1787-1795, 2001.

PALMIERI, F. **A study of a climosequence of soils derived from volcanic rocks parent material in Santa Catarina and Rio Grande do Sul States, Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1986. (Tese de Doutorado)

PENNOCK, D.J.; VELDKAMP, A. **Advances in landscape-scale soil research**. Geoderma, v.133, p.1-5, 2006.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. **Formas extraíveis de ferro em solos do estado do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.371-382, 1999.

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

PMRS. Prefeitura Municipal de Rosário do Sul. **Perfil Geopolítico do Município**. Secretaria de Planejamento, 2005. Disponível em: <<http://www.prefeituraderosario.com.br/planeja/planeja.htm>>. Acesso em: 08 mai.2012.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento. **Atlas de Desenvolvimento Humano**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/atlas/>>. Acesso em: 08 mai.2012.

QUEIROZ NETO, J.P. **Geomorfologia e pedologia**. R. Bras. Geomorfol., 1:59-67, 2000.

RESENDE, M. & SANTANA, D.P. **Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolos.** In: Reunião de classificação, correlação dos solos e interpretação da aptidão agrícola. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1998. p.225-232.

RESENDE, M. **Clima do solo e suas relações com o ambiente agrícola.** Informe Agropecuário. Belo Horizonte, n. 138, p. 43-59, 1986.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; RESENDE, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações.** 1ed. Lavras: UFLA, 2005. 192p.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 5ed. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 2.ed. Viçosa: Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra, 1997. 367p.

ROLIM NETO, F.C. & SANTOS, M.C. **Gênese de solo arenoso com lamelas e fragipã no agreste de Pernambuco.** R. Bras. ci. solo, 18:243-253, 1994.

RUHE, R.V. & WALKER, P.H. **Hillslope models in soil formation. I Open systems.** In: Transaction International Congres Soil Science, 9., Adelaide, 1968. Transactions. Adelaide, 1968. v.4. p.551-560.

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

RUNGE, E. C. A. **Soil development and energy models**. Soil Science. v 115, p.93 183, 1973.

SANTOS, A.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BERNINI, T.A.; COOPER, M.; NUMMER, A.R. & FRANCELINO, M.R. **Gênesis e classificação de solos numa toposequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ**. R. Bras. Ci. Solo, 34:1297-1314, 2010.

SAWHNEY, B.L. Interstratification in Layer Silicates. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.789-828.

SCHAETZL, R. & ANDERSON, S. **Soils genesis and geomorphology**. Cambridge University Press, New York, 817p. 2005.

SCHAETZL, R. **Lithologic discontinuities in some soils on drumlins theory, detection, and application**. Soil Sci., 163:570-590, 1998.

SCHAETZL, R.J. **Spodosol-Alfisol intergrades: Bisequal soils in NE Michigan, USA**. Geoderma, Amsterdam, v.74, p.23-47, 1996.

SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. **Aloformação Guará: uma nova unidade estratigráfica mesozóica na porção meridional da Bacia do Paraná**. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 3, Barra do Garças, 1997. Resumos... Barra do Garças: SBG, 1997. p. 36-37.

SCHERER, C.M.S. & LAVINA, E.L. **Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guará Formation, southern Brazil**. Sedimentology, 32:1323-1341, 2005.

SCHERER, C.M.S.; FACCINI, U.F.; LAVINA, L.E. **Arcabouço estratigráfico do mesozóico da Bacia do Paraná.** In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. Editora da Universidade/ UFRGS. Porto Alegre, 2000, p. 335–354.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Morfologia do solo.** Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p.

SCHULTZE, D.G. **An introduction in soil mineralogy.** In: DIXON, J. B.; WEED, S.B. (Ed.) **Minerals in soil environments.** Madison: SSSA, 1989. p. 1-34.

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

SCHWERTMANN, U. **The differentiation of iron oxide in soil by a photochemical extraction with acid ammonium oxalate.** Z. Pflanzenernahr Dung. Bodenkd., 105:104-201, 1964.

SCHWERTMANN, U. **Use of oxalate from Fe extraction from soils.** Canadian Journal Soil Science, v.53, p.244-246, 1973.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional. **Atlas Socioeconômico do RS (1998).** Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/>>. Acesso em: 13 mai.2015.

SETZER, J. Origem das terras pretas de Bagé. **Revista Brasileira de Geografia.** Rio de Janeiro, 3:4-31, 1951.

SILVA, A.C. & VIDAL-TORRADO, P. **Gênese dos Latossolos Húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área**

**cratônica do sul de Minas Gerais.** R. Bras. Ci. Solo, 23:329-341, 1999.

**SILVA, L.M. Classificação de áreas de reflorestamento misto usando análise multivariada, em Cotriguaçu – MT.** Cuiabá, Universidade Federal do Mato Grosso, 2008. 88p. (Dissertação de Mestrado)

**SILVA, M.S.L.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A.C. & KROTH, P.L. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: processos geológicos e/ou pedogenéticos.** R. Bras. Eng. Agríc. 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.

**SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties of soil kaolinites from south-western.** Austr. J. Soil Sci., 43:645-667, 1992.

**SIRTOLI, A.E. Mapeamento de solos com auxílio da Geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais.** Curitiba, UFPR, 2008. 102p. (Tese de Doutorado em Geologia Ambiental).

**SOARES, A.P.; SOARES, P.C.; HOLZ, M. Correlações Estratigráficas conflitantes no limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O contato entre duas seqüências e implicações na configuração espacial do Aquífero Guarani.** Revista Pesquisas em Geociências, 35 (2): 115-133, 2008.

**SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy.** 11.ed. Washington, U.S. Department of Agriculture/Natural Resources Conservations Service, 2010. 338p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.** 2.ed. Washington, U.S. Department of Agriculture/Natural Resources Conservations Service, 1999. 871p. (Agriculture Handbook, 436)

SOMMER, M.; GERKE, H.H.; DEUMLICH, D. **Modelling soil landscape genesis — A “time split” approach for hummocky agricultural landscapes.** Geoderma, v.145, p.480–493, 2008.

SOMMER, M.; SCHLICHTING, E. **Archetypes of catenas in respect to matter; a concept for structuring and grouping catenas.** Geoderma, v.76, p.1–33, 1997.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. **Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal, SP.** Engenharia Agrícola, v.23, p.486-495, 2003.

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

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

SPRING para Windows. Versão. 5.1.8. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil, 2005. Disponível em:  
<<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em 28 out. de 2011.

STATSOFT Inc. (2007) **Statistica - Data analysis software system**. Version 8.0 [internet]; 2007 [acessado em 12 mar 2010]. Disponível em: <http://www.statsoft.com>.

STICHER, H. & BACH, R. **Fundamentals in the chemical weathering of silicates**. Soils Fert., 29:321-325, 1966.

STRECK, E.V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R.S.D., KLAMT, E., NASCIMENTO, P.C., SCHNEIDER, P., GIASSON, E., PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quarai – RS**. São Paulo: USP, 1987. 243F.II.Mapas. (Tese de doutorado)

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blüncher, Ed. da Universidades de São Paulo, 317 p, 1973.

TAYLOR, G. & EGGLETON, R.A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester, John Wiley, 2001. 375p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TERAMOTO, E.R.; LEPSCH, I.F.; VIDAL-TORRADO, P. **Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do ribeirão Marins (Piracicaba - SP)**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.58, p.361-371, 2001.

TESKE, R. ALMEIDA, J.A.; HOFFER, A.; LUNARDI, A. **Caracterização mineralógica dos solos derivados de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil.** Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.12, n.2, p.187-198, 2013.

TROEH, F.R. **Landform equations fitted to contour maps.** Soil Science Society American Journal, v. 263, p.616-27, 1965.

VALERIANO, M.M. **Topodata: guia para utilização de dados Geomorfológicos locais.** São José dos Campos, INPE, 2008. 75p.

Van BREEMEN, N. & BUURMAN, P. **Soil formation.** Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998. 377p.

van RANST, E. & De CONINCK, F. **Evaluation of ferrolysis in soil formation.** Eur. J. Soil Sci., 53:513-519, 2002.

VIDAL-TORRADO, P. **Pedogênese e morfogênese no distrito de Tupi** (Piracicaba, SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1994. 212p. (Tese de Doutorado)

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

VIEIRA, L.S. **Manual da ciência do solo.** São Paulo .Ed. Agronômica Ceres, 1975. 420p.

WAMBEKE, A.R. **Criteira for classifying tropical soil by age by age.** Journal of Soil Science, London, v.13, n.1, p.24-132, 1962.

WHITTIG, L. D. ; ALLARDICE, W. R. **X-ray diffraction techniques.** In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis.** Part 1. Phisical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: SSSA, 1986. p. 331-362.

WILSON, M.J. **The origins and formation of clay minerals in soils: Past, present and future perspectives.** Clay Miner., 34:7-25, 1999.

WU, F.T.; CAETANO-CHANG, M.R. **Estudo mineralógico dos arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste do estado de São Paulo.** Rev.IG, São Paulo, 13(1), 58-68, jan./jun./1992

WYSOCKI, D. A.; SHOENEBERGER, P. J.; LAGARRY, H. E. **Geomorphology of soil landscapes.** In: SUMMER, M. E. **Handbook of Soil Science.** New York: CRC Press, p.E5-E39, 2000.

ZEBARTH, B.J.; REES, H.; WALSH, J.; CHOW, L.; PENNOCK, D.J. **Soil variation within a hummocky podzolic landscape under intensive potato production.** Geoderma, v.110, p.19-33, 2002.

ZERFASS, H.; CHEMALE Jr., F.; SCHULTZ, C.L.; LAVINA, E. L. **Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic.** Sedimentary Geology, v. 166, p. 265-292, 2004.

ZIELINSKI, J. P. T. & NASCIMENTO, M. S. **Fácies sedimentares da supersequência Gondwana I na borda leste da bacia do Paraná, região de Alfredo Wagner/SC.** 47º Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, 2014.



## APÊNDICES

**APÊNDICE A** Perfil P1T1-PVd (A1 – Descrição Geral, A2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE B** Perfil P2T1-PBACal (B1 – Descrição Geral, B2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE C** Perfil P3T1-PAal (C1 – Descrição Geral, C2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE D** Perfil P1T2-PBACal (D1 – Descrição Geral, D2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE E** Perfil P2T2-TCk (E1 – Descrição Geral, E2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE F** Perfil P3T2-FTd (F1 – Descrição Geral, F2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE G** Perfil P1T3-LVe (G1 – Descrição Geral, G2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE H** Perfil P1T4-TXp (H1 – Descrição Geral, H2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE I** Perfil P2T4-PVd (I1 – Descrição Geral, I2 – Descrição Morfológica).

**APÊNDICE F** Mineralogia da fração argila: Óxidos de Ferro.

**APÊNDICE A – Perfil P1T1-PVd****A1 – DESCRIÇÃO GERAL**

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 13/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico espessarênico, A moderado, Tb, textura arenosa/média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: São Pedro.

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS

LOCALIZAÇÃO: Estrada secundária ao trecho da BR290 partindo de Rosário a Alegrete dobrando a direita na última rótula do limite urbano antes da estrada para Santana do Livramento, percorrendo aproximadamente 1,13 km, lado direito.

COORDENADAS: 30°13'51,9" S e 54°56'45,7" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O

PERFIL: Topo de elevação com 5 % de declividade e cobertura de gramíneas.

ALTITUDE: 140 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Pirambóia.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração da rocha supracitada com possível contribuição alóctone arenosa.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Área de empréstimo.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo Grahl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## A2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-23 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido) e bruno (7,5YR 5/4, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena e média blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A2** 23-70 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (7,5YR 4/4, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena e média blocos angulares e subangulares; dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- AE** 70-90/95 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido) e bruno (7,5YR 5/4, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena e média blocos subangulares; macia, muito friável a solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual.
- E** 90/95-110 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena blocos subangulares; macia, solta a muito friável, não plástica a ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Bt<sub>1</sub>** 110-120 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco); moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; muito dura, muito friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e clara.
- Bt<sub>2</sub>** 120-177 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/6, seco); forte média blocos angulares e subangulares; cerosidade abundante e forte; muito dura a extremamente dura, friável, plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.
- Bt<sub>3</sub>** 177-244 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/8, seco); forte média e grande blocos angulares e

subangulares; cerosidade abundante e forte; extremamente dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

- BC** 244-288 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); fraca a moderada média e grande blocos angulares; cutans moderados e comuns (organs); muito dura, muito friável a friável, ligeiramente plástica a plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- C/Cr** 288-320+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média e grande blocos angulares; cutans em algumas faces dos agregados (ferri-humans/organs); muito dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa.
- Cr** 430-460 cm; vermelho-escuro (10R 3/6, úmido) e bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, seco).

### OBSERVAÇÕES:

- Perfil coletado após longo período de seca e em dia nublado;
- Fendilhamentos verticais ao longo do B distanciados de 30/50 cm;
- Presença de cascalhos representados por fragmentos de arenitos ferrificados (ou concreções ferro-arenosas) no contato E/Bt1;
- No A2 ocorrem lamelas de argila avermelhada disseminadas por todo o horizonte, às vezes como bolsões de argila;
- Fragmentos de 0,5-2 até 5 cm do Cr com cor mais arroxeadas disseminadas no C/Cr;
- Algumas concreções de ferro arredondadas ou nodulares pouco disseminadas no Bt2 e Bt3;
- A cerosidade avaliada é representada por deposições similares a argilans+humans ou argilans+ferrans;
- Intensa atividade de cupins e formigas por todo o perfil, inclusive no C/Cr.

## APÊNDICE B – Perfil P2T1-PBACal

### B1 – DESCRIÇÃO GERAL

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 13/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico, A moderado, Ta, textura média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO:

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS.

LOCALIZAÇÃO: Trecho rodovia BR290 sentido Rosário do Sul a São Gabriel, cerca de 1 km após o trevo de Cacequi do lado direito.

COORDENADAS: 30°14'24,1" S e 54°51'44,5" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Terço médio de encosta com 10 % de declividade; cobertura de gramíneas e capoeira.

ALTITUDE: 125 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Pirambóia.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração do arenito com contribuição de colúvio de material arenoso.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente a imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Capoeira.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo Grahrl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## B2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-20 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); fraca pequena granular e grão simples; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- A2** 20-42 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- 2BA** 42-63 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido), vermelho (2,5YR 4/7, úmido) e bruno (7,5YR 4/3, seco), vermelho (2,5YR 5/8, seco); moderada média e pequena blocos subangulares; dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- 2Bt** 63-125/140 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido), vermelho (2,5YR 4/7, úmido) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seco), vermelho (2,5YR 5/8, seco); moderada grande e média blocos subangulares e angulares; extremamente dura, firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.
- 2BC** 125/140-170/180 cm; bruno (7,5YR 4/2, úmido), vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido) e cinzento rosado (7,5YR 6/2, seco), vermelho (2,5YR 4/8, seco); fraca grande prismática que se desfaz em fraca média e grande blocos angulares e subangulares; muito dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.
- 2C** 170/180-220+ cm; vermelho (2,5YR 4/8, úmido), branco-rosado (2,5YR 8/2, úmido) e vermelho-claro (2,5YR 6/6, seco), branco (2,5YR 8/1, seco); maciça; ligeiramente dura a dura, friável a muito friável, não plástica e não pegajosa a ligeiramente pegajosa.
- R** vermelho-claro (2,5YR 6/6, úmido) e rosa a bruno-avermelhado-claro (2,5YR 7,5/4, seco).

## OBSERVAÇÕES:

- Linha de cascalhos de dimensões centimétricas a milimétricas no topo do 2BA, constituídas de fragmentos de quartzito e calcedônia;
- Intensa presença de zonas de depleção de ferro no 2BC, representadas por manchas cinzentas entremeadas a núcleos avermelhados (possível plintita), com tonalidade mais viva do que a cor avermelhada do 2C, indicando possível concentração de ferro advindo das áreas cinzentas adjacentes;
- A plintita ou material remanescente tem uma auréola brunado-amarelada envolvendo-a;
- O horizonte 2C preserva certo paralelismo das camadas do arenito;
- Intensa atividade de cupins e formigas, principalmente no 2BC e no 2C. No horizonte 2C os orifícios são milimétricos a centimétricos, muitos com manchas cinzentas e capeamento escuro no interior dos mesmos;
- Intenso fendilhamento no 2Bt e 2BC;
- Horizonte R coletado em barranco adjacente 25 m do perfil descrito.

**APÊNDICE C – Perfil P3T1-PAal****C1 – DESCRIÇÃO GERAL**

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 14/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Alítico plintossólico, A moderado, Tb, textura média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO:

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS

LOCALIZAÇÃO: Trecho rodovia RS640 sentido Cacequi cerca de 3 km a partir do trevo com a BR290 ao lado direito.

COORDENADAS: 30°13'42,3" S e 54°52'19,1" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Coletado em terço inferior em posição de surgência de água, em encostas direcionadas a várzea do Rio Santa Maria.

ALTITUDE: 132 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Pirambóia.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração da rocha com provável contribuição de colúvios superficiais.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Em sulcos moderada.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Capoeira.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo Grahrl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## C2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-28 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena e média blocos angulares e grão simples; macia, muito friável a solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- A2** 28-50 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido) e bruno-amarelado (10YR 5/4, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média e pequena blocos angulares; ligeiramente dura a dura, friável, não plástica e não pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- AB** 50-66 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido) e bruno-amarelado (10YR 5/5, seco); maciça que se desfaz em fraca média e grande blocos angulares; dura, friável, ligeiramente plástica a plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- BAx** 66-82 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido) e amarelo-brunado (10YR 6/6, seco); fraca a moderada média blocos subangulares e angulares; dura, friável, muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição plana e clara.
- Btf<sub>1</sub>** 82-115/125 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido), bruno (10YR 5/3, úmido) e amarelo-brunado (10YR 6/8, seco), bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco); moderada grande prismática que se desfaz em moderada média blocos angulares e subangulares; dura, friável a firme, plástica e muito pegajosa; transição ondulada e gradual.
- Btf<sub>2</sub>** 115/125-170/185 cm; cinzento (10YR 6/1, úmido), vermelho-escuro (10R 3/6, úmido) e cinzento-claro (10YR 7/2, seco), vermelho (10R 4/8, seco); forte grande prismática que se desfaz em forte grande e média blocos angulares; extremamente dura, firme, não plástica a ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição ondulada e gradual.
- Btf<sub>3</sub>** 170/185-200+ cm; cinzento (10YR 5/1, úmido), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido) e cinzento-brunado-claro

(10YR 6/2, seco), amarelo-brunado (10YR 6/8, seco); forte grande prismática que se desfaz em forte grande blocos angulares; extremamente dura, muito firme a extremamente firme, não plástica a ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

- R** vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/8, seco).

### **OBSERVAÇÕES:**

- Pequena quantidade de cascalhos com seixos arredondados de quartzo (ou quartzito) no AB e BA;
- Intensa quantidade de mosqueados (ou plintita) proeminentes e distintos nos horizontes Btf<sub>2</sub> e Btf<sub>3</sub> de cor avermelhada, entremeadas por manchas cinzentas gleizadas;
- No Btf<sub>3</sub> além de áreas gleizadas, ocorrem manchas de material mais alterado de cor esbranquiçada mais arenosa, indicativos de possível ferrólise;
- Fragmentos de calcedonea e quartzitos milimétricos e centimétricos disseminados no B;
- No Btf<sub>3</sub> presença de deposições de óxidos de Mn recobrindo as faces horizontais e verticais de alguns agregados prismáticos;
- Intensa atividade de cupins e formigas, com maior quantidade de orifícios milimétricos a centimétricos no A1, A2 e AB, e pouca atividade nos demais horizontes;
- Na base do perfil, foram constatadas grandes quantidades de nódulos irregulares de petroplintita;
- Raízes: muitas, finas e médias, fasciculadas no A1, comuns no A2 e AB, poucas no BA, Btf<sub>1</sub> e Btf<sub>2</sub>, raras no Btf<sub>3</sub>.

## APÊNDICE D – Perfil P1T2-PBACal

### D1 – DESCRIÇÃO GERAL

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 14/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico abrúptico, areníco, A proeminente, Ta, textura arenosa/média-argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO:

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS.

LOCALIZAÇÃO: Estrada secundária ao trecho da BR290 partindo de Rosário a Alegrete dobrando à direita na última rótula do limite urbano antes da estrada para Santana do Livramento, percorrendo aproximadamente 10 km, lado esquerdo.

COORDENADAS: 30°11'26,3" S e 55°01'10,2" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo de elevação com cerca de 10 % de declividade, barranco com cultura de soja.

ALTITUDE: 172 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenitos e siltitos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sanga-do-Cabral.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Cultivos anuais.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo Grahl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## D2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-18 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); fraca pequena blocos subangulares e grão simples; solta, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- A2** 18-34 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); fraca média blocos subangulares e grãos simples; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A3** 34-51 cm; bruno-acinzentado muito escuro a bruno-escuro (10YR 3/2,5, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); fraca grande e média blocos subangulares; macia, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- BAt** 51-65 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); fraca e moderada média prismática que se desfaz em fraca a moderada média e pequena blocos angulares e subangulares; dura, friável a firme, muito plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt** 65-96 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido), vermelho a vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6, úmido) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, seco), vermelho (2,5YR 5/8, seco); moderada grande prismática que se desfaz em moderada grande e média blocos subangulares; muito dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BC** 96-115 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), cinzento (7,5YR 5/1, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco); fraca grande e média blocos subangulares e angulares; dura, friável a firme, ligeiramente plástica a plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- C/Cr** 115-145+ cm; vermelho-amarelado (5YR 4,5/6, úmido), bruno-

acinzentado (10YR 5/2, úmido), vermelho-escuro (10R 3/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco), bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco), vermelho (10R 4/8, seco); maciça; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

**R** branco (N 9,5/, seco), vermelho-claro (2,5YR 6,5/8, seco), amarelo (2,5Y 7/8, seco).

### **OBSERVAÇÕES:**

- Intensa atividade de formigas e cupins no A com canais milimétricos a centimétricos, e poucos milimétricos no BA e Bt;
- No Bt ocorre expressivo capeamento fosco/superfícies foscas disseminado em algumas faces dos agregados;
- No interior dos agregados muitos canais estão preenchidos com material escuro, contrastando com as cores brunas da matriz;
- Coletada amostra da rocha semialterada (Cr/R), abaixo do solo descrito.
- Manchas de alteração plano-estratificadas no R.

## APÊNDICE E – Perfil P2T2-TCk

### E1 – DESCRIÇÃO GERAL

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 14/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: LUSSIOLO CRÔMICO Carbonático típico, A moderado, textura média, solódico, dúrico, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO:

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS.

LOCALIZAÇÃO: Estrada secundária ao trecho da BR290 partindo de Rosário a Alegrete dobrando à direita na última rótula do limite urbano antes da estrada para Santana do Livramento, percorrendo aproximadamente 6,2 km, lado direito.

COORDENADAS: 30°12'12,7" S e 54°59'09,2" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O

PERFIL: Terço inferior de elevação, último segmento antes da várzea, com 15 % de declividade, em barranco erodido.

ALTITUDE: 124 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenitos com siltitos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sanga-do-Cabral.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração dos siltitos grosseiros com provável recobrimento por material arenoso.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo Grahl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## E2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0-35 cm; bruno-acinzentado muito escuro a bruno-escuro (10YR 3,5/2,5, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); fraca média e grande blocos subangulares; macia, friável, plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e abrupta.
- Btx** 35-58 cm; bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco); moderada grande e média blocos angulares e moderada a forte grande blocos subangulares; extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Btk** 58-80 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/7, úmido) e amarelo-avermelhado (5YR 6/6, seco); fraca e moderada média blocos angulares; extremamente dura, muito firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- C/Cr** 80-90 cm; vermelho (2,5YR 5/6, úmido) e vermelho-claro (2,5YR 6/8, seco); fraca média prismática; muito dura, firme a muito firme, ligeiramente plástica e muito pegajosa; plana e gradual.
- Cr** 90-180+ cm; vermelho (2,5YR 5/8, úmido) e vermelho-claro (2,5YR 7/6, seco); maciça.
- R** branco (N 9,5/, seco), vermelho (2,5YR 5/8, seco), vermelho-claro (2,5YR 7/6, seco).

## OBSERVAÇÕES:

- Intenso fendilhamento no corte exposto;
- Presença de concreções de  $\text{CaCO}_3$  disseminadas no Btk, C/Cr e no próprio Cr, muitas são carcomidas de dimensões milimétricas a centimétricas e estão bem disseminadas principalmente no C/Cr. Algumas tem aspecto mais arredondado/ovóide onde há cristais de calcita precipitados;

- O topo do B (Btx) apresenta cor esbranquiçada evidenciando destruição de argilas por ferrólise, com “pelotas” de argila de dimensões entre 3-8 cm, com consistência ainda mais dura do que os blocos angulares, sendo somente quebráveis com martelo;
- Alguns locais apresentam fragmentos de arenito esbranquiçado entre o A e o Btx.
- Raízes: comuns no A, poucas no Btx e no Btk, e raras nos demais horizontes.
- Manchas de alteração plano-estratificadas no R.

## APÊNDICE F – Perfil P3T2-FTd

### F1 – DESCRIÇÃO GERAL

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 15/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrúptico, A fraco, Tb, textura média-arenosa/média-argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO:

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS.

LOCALIZAÇÃO: Estrada secundária ao trecho da BR290 partindo de Rosário a Alegrete dobrando à direita na última rótula do limite urbano antes da estrada para Santana do Livramento, percorrendo aproximadamente 2 km, lado direito.

COORDENADAS: 30°13'25,4" S e 54°56'58,1" W (SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Terço inferior de encosta, com 10 % de declividade coberto com gramíneas.

ALTITUDE: 115 m (GPS).

LITOLOGIA: Siltitos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sanga-do-Cabral.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração das rochas citadas com provável recobrimento de material arenoso em superfície.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo Grahl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## F2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-22 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido) e bruno-amarelado (10YR 5/4, seco); grão simples e fraca pequena granular; macia, solta e muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- A2** 22-60 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco); fraca média blocos subangulares e angulares e grão simples; ligeiramente dura a dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
- 2Btf<sub>1</sub>** 60-78 cm; bruno-avermelhado a vermelho-amarelado (5YR 4/5, úmido), vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco), vermelho (2,5YR 5/8, seco); fraca a moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e gradual.
- 2Btf<sub>2</sub>** 78-120 cm; vermelho (10R 4/8, úmido), vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/8, seco), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco); moderada grande prismática que se desfaz em moderada média e pequena blocos angulares; extremamente dura, firme, não plástica a ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- 2Btf<sub>3</sub>** 120-200+ cm; bruno-forte (7,5YR 5/7, úmido), vermelho (10R 4/8, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco), vermelho (2,5YR 4/8, seco); moderada grande prismática que se desfaz em moderada média blocos angulares e subangulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa.
- Cr** vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e vermelho-claro (2,5YR 7/6, seco).

**RAÍZES:** Comuns fasciculadas finas no A, poucas fasciculadas finas no Btf<sub>1</sub> e raras fasciculadas finas no Btf<sub>2</sub>.

## **OBSERVAÇÕES:**

- Presença de linhas de cascalhos milimétricos a centimétricos, representados por concreções irregulares de ferro e nódulos arredondados (petroplintita) entre a base do A2 e o 2Btf<sub>1</sub>;
- A presença dos nódulos arredondados de petroplintita ocorre disseminada no Btf em pequena quantidade;
- A plintita ocorre disseminada por todo o Btf<sub>2</sub> e Btf<sub>3</sub> na forma de agregados vermelhos, entremeadas por manchas cinzentas e esbranquiçadas, sendo estas mais expressivas no Btf<sub>3</sub>, onde a plintita ocorre em agregados maiores e mais distintos;
- No Btf<sub>1</sub>, os nódulos de plintita são de tamanhos pequenos com dimensões milimétricas;
- A amostra do Cr (siltito) foi coletada a 3,5-3,7 m.

**APÊNDICE G – Perfil P1T3-LVe****G1 – DESCRIÇÃO GERAL**

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 15/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, A moderado, Tb, textura média-arenosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Cruz Alta.

MUNICÍPIO E ESTADO: Rosário do Sul-RS.

LOCALIZAÇÃO: km 503 da Rodovia BR290 no trecho sentido Rosário a Alegrete, distante 20 km do trevo para Santana do Livramento ao lado direito.

COORDENADAS: 30°10'05,84" S e 55°07'45,11" W (Datum SAD69).  
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O  
PERFIL: Topo de elevação, com 6 % de declividade, coberto com  
pastagem de gramíneas.

ALTITUDE: 177 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Guará.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração das rochas citadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Fortemente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida, Pablo  
Grahl dos Santos e Letícia Sequinatto.

## G2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-15 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em grão simples e fraca pequena granular; solta, solta e muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
- A2** 15-50 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos subangulares, fraca pequena granular e grão simples; macia, solta a muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
- AB** 50-71 cm; bruno-avermelhado-escuro (3,5YR 3/4, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média e pequena blocos subangulares e grão simples; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bw<sub>1</sub>** 71-95 cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/8, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média e pequena blocos subangulares e grão simples; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- Bw<sub>2</sub>** 95-145 cm; bruno-avermelhado-escuro a vermelho-escuro (2,5YR 3/5, úmido) e vermelho (2,5YR 4/7, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos subangulares e moderada muito pequena granular; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- Bw<sub>3</sub>** 145-170+ cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos subangulares e moderada muito pequena granular; macia a ligeiramente dura, muito friável a friável, ligeiramente plástica e pegajosa.
- Bw<sub>n</sub>** vermelho-escuro (10R 3/6, úmido) e vermelho a vermelho-escuro

(2,5YR 3,5/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca a moderada média e pequena blocos subangulares e forte muito pequena granular; ligeiramente dura, muito friável a friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

- R** vermelho-claro-acinzentado (10R 6/4, úmido) e rosado (10R 8/3, seco).

**RAÍZES:** muitas fasciculadas finas no A1, comuns no A2 e AB e poucas nos demais.

### **OBSERVAÇÕES:**

- Perfil aberto até 1,7 m;
- Amostra do Bwn coletada a 2,2-2,3 m;
- Intensa atividade biológica em todo o horizonte A;
- Presença de pelotas de material vermelho da parte inferior do B no horizonte A2, provável ação de formigas;
- Amostra da rocha coletada em barranco distante cerca de 100 m do perfil.

## APÊNDICE H – Perfil P1T4-TXp

### H1 – DESCRIÇÃO GERAL

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 16/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: LUSSIOLO HÁPLICO Pálico redóxico, A moderado, textura média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: São Pedro.

MUNICÍPIO E ESTADO: Santana do Livramento/RS.

LOCALIZAÇÃO: Trecho no sentido de Santana do Livramento a Rosário do Sul (BR 158), aproximadamente 4,6 km após o trevo para Dom Pedrito, do lado esquerdo da estrada.

COORDENADAS: 30°45'23,5" S e 55°09'39,1" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo de declive curto no geral em relevo suave ondulado, situados entre topos com maiores altitudes a cerca de 1 km ao sul e ao norte, declive de 7 %, cobertura com lavoura de soja e capoeira com pastagem no local.

ALTITUDE: 146 m (GPS).

LITOLOGIA: Siltito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Pirambóia.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Aparenta desenvolvimento do perfil “*in situ*”.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Sulcos.

DRENAGEM: Moderadamente a imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Lavoura de soja.

CLIMA: Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida e Pablo Grahá dos Santos.

## H2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-11 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); grãos simples e fraca pequena granular; macia, solta e muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- A2** 11-38 cm; bruno a bruno-amarelado-escuro (10YR 4/3,5, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca grande e média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição plana e clara.
- AB** 38-48 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca grande e média blocos angulares; ligeiramente dura a dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.
- BAt** 48-70 cm; bruno-muito-escuro (10YR 2/2, úmido) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seco); moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; muito dura a extremamente dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt** 70-85/98 cm; bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido), vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e cinzento (10YR 5/1, seco), vermelho a vermelho-claro (2,5YR 5,5/8, seco); moderada a forte grande e média blocos angulares e moderada média prismática; cerosidade comum e moderada/superfícies de compressão foscas comuns; extremamente dura, firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.
- BC** 85/98-125 cm; bruno (7,5YR 4/3, úmido), vermelho-escuro (2YR 3/6, úmido) e bruno-avermelhado-claro (5YR 6/3, seco), vermelho (2,5YR 4/6, seco); fraca grande e média blocos angulares; muito dura, friável a firme, ligeiramente plástica e pegajosa; plana e gradual.
- C/Cr** 125-140+ cm; vermelho (2,5YR 4/8, úmido amassado) e bruno

muito claro-acinzentado (10YR 8/3, seco), vermelho (2,5YR 4/6, seco); maciça; dura a muito dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

**R** vermelho a vermelho-claro (2,5YR 5,5/6, úmido) e bruno-avermelhado-claro a rosado (2,5YR 7,5/4, seco).

**APÊNDICE I – Perfil P2T4-PVd****I1 – DESCRIÇÃO GERAL**

INSTITUIÇÃO: CAV/UDESC - Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo.

DATA: 16/03/2012.

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico, A moderado, Tb, textura arenosa/média/argilosa, fase vegetação campo subtropical subúmido, relevo suave ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: São Pedro.

MUNICÍPIO E ESTADO: Santana do Livramento/RS.

LOCALIZAÇÃO: Trecho de Santana do Livramento a Rosário do Sul, a aproximadamente 8 km do Perfil P1T4-TXp do lado direito da estrada.

COORDENADAS: 30°41'25,2" S e 55°07'50,9" W (Datum SAD69).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo de elevação com 8 % de declive coberto com gramíneas.

ALTITUDE: 165 m (GPS).

LITOLOGIA: Arenitos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Pirambóia.

CRONOLOGIA: Triássico.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração das rochas citadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado com partes onduladas.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfa.

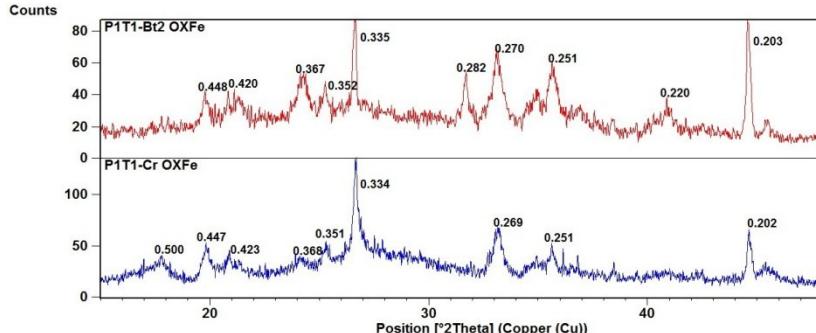
DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antônio de Almeida e Pablo Grahrl dos Santos.

## I2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-20 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (7,5YR 4/4, seco); grão simples e fraca média e pequena granular; macia, solta e muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- A2** 20-55 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno (7,5YR 4/3, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AB** 55-67 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco); aspecto de maciça que se desfaz em fraca média e pequena blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- BAt** 67-77 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); fraca a moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Bt1** 77-98 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/6, seco); moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade abundante e moderada; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt2** 98-175+ cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e vermelho (2,5YR 5/8, seco); moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; muito dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
- R** vermelho (10R 5/8, úmido) e vermelho-claro-acinzentado a rosado (10R 7,5/4, seco).

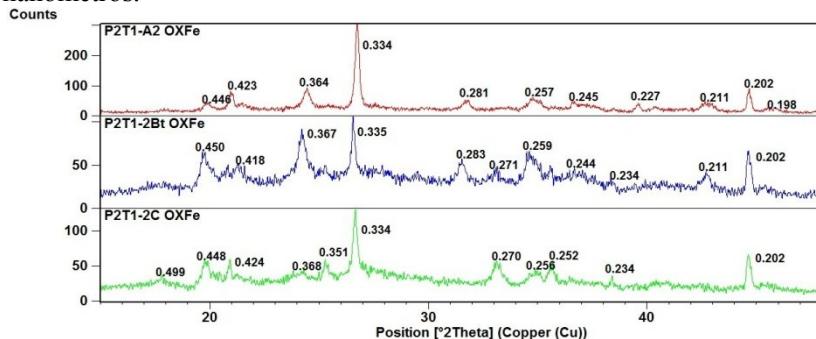
## APÊNDICE F – Mineralogia da fração argila: Óxidos de Ferro.

**Figura F1** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras do horizonte Bt2 e da camada Cr do perfil P1T1-PVd submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

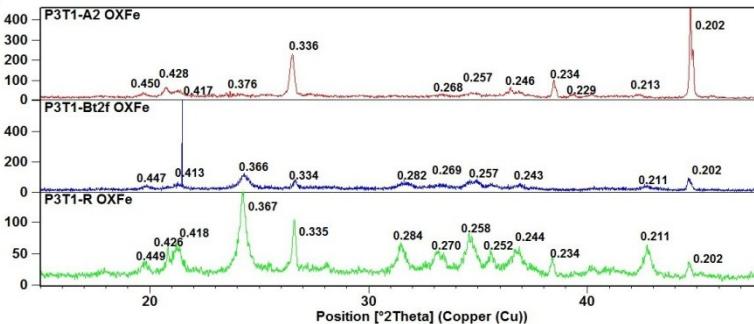
**Figura F2** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras dos horizontes A2, Bt2 e 2C do perfil P2T1-PBACal submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

**Figura F3** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras dos horizontes A2, Btf<sub>2</sub> e da camada R do perfil P3T1-PAal submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.

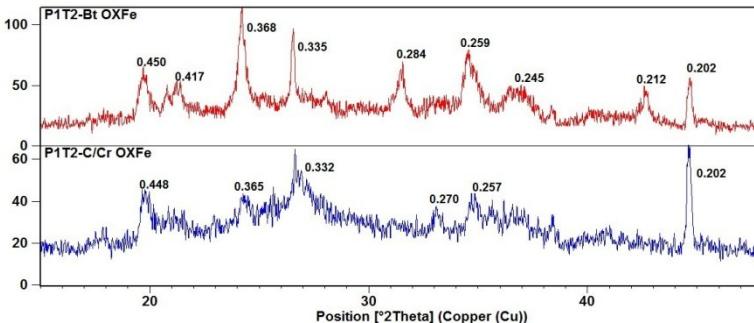
Counts



Fonte: produção do próprio autor

**Figura F4** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras do horizonte Bt e da camada C/Cr do perfil P1T2-PBACal submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.

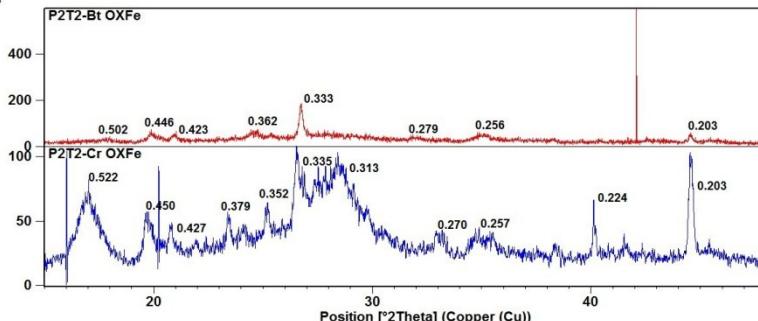
Counts



Fonte: produção do próprio autor

**Figura F5** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras do horizonte Bt e da camada Cr do perfil P2T2-TCk submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.

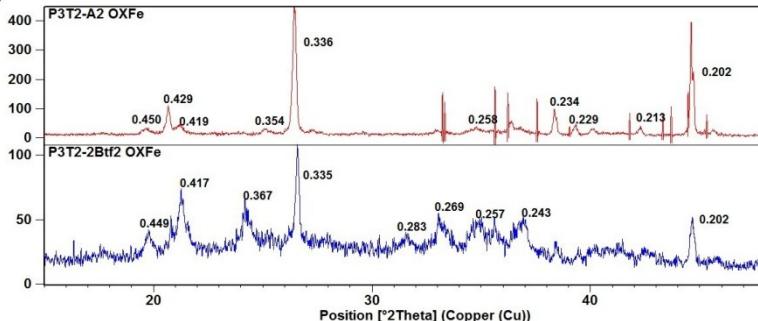
Counts



Fonte: produção do próprio autor

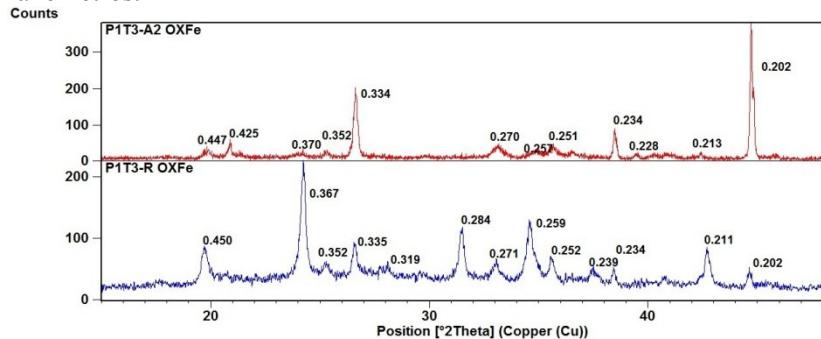
**Figura F6** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras dos horizontes A2 e Btf<sub>2</sub> do perfil P3T2-FTd submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.

Counts



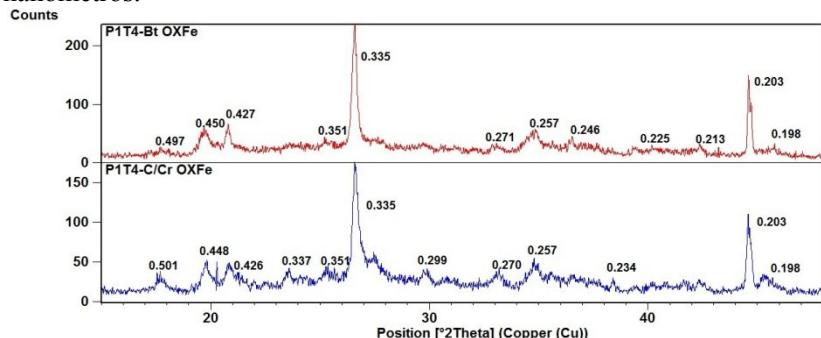
Fonte: produção do próprio autor

**Figura F7** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras do horizonte A2 e da camada R do perfil P1T3-LVe submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.



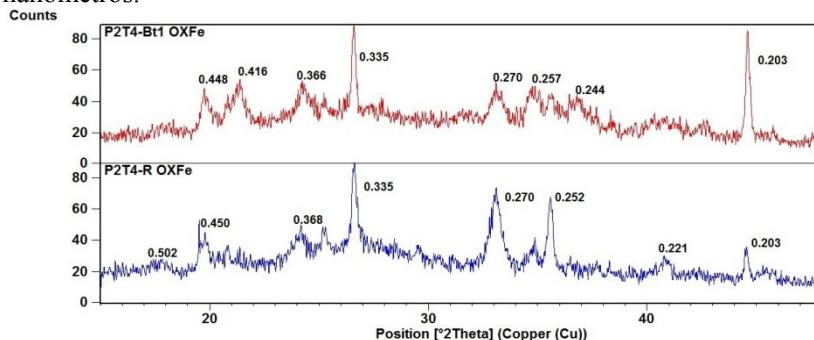
Fonte: produção do próprio autor

**Figura F8** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras do horizonte Bt e da camada C/Cr do perfil P1T4-TXp submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor

**Figura F9** – Difratogramas do pó da fração argila das amostras do horizonte Bt1 e da camada R do perfil P2T4-PVd submetidas a tratamento de concentração dos óxidos de ferro. Valores em nanômetros.



Fonte: produção do próprio autor