

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE FRANCISCO BELTRÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

WANEISSA SUELEN PELOSO DAL-BERTI

**CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS DE INTEMPERISMO ENTRE AS SUPERFÍCIES  
GEOMÓRFICAS V E II – PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS**

FRANCISCO BELTRÃO

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE FRANCISCO BELTRÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

WANEISSA SUELEN PELOSO DAL-BERTI

**CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS DE INTEMPERISMO ENTRE AS SUPERFÍCIES  
GEOMÓRFICAS V E II – PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Geografia, Área de Concentração “Produção do Espaço e Meio Ambiente” da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Francisco Beltrão.

**Orientadora:** Prof. Dr. Marga Eliz Pontelli

**Co-orientador:** Prof. Dr. Julio Cesar Paisani

FRANCISCO BELTRÃO

2015

Catálogo na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas - UNIOESTE – Campus Francisco Beltrão

Dal-Berti, Wanessa Suelen Peloso  
D137c Caracterização de perfis de intemperismo entre as  
superfícies geomórficas V e II – Planalto das Araucárias. /  
Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti. – Francisco Beltrão,  
2015.

107 f.

Orientadora: Pro<sup>fa</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marga Eliz Pontelli.

Co-orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Paisani

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste  
do Paraná – Campus de Francisco Beltrão, 2015.

1. Intemperismo. 2. Geologia. I. Pontelli, Marga Eliz. II.  
Paisani, Julio Cesar. III. Título.

CDD 20. ed.– 551.3

Sandra Regina Mendonça CRB – 9/1090

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL DE MESTRADO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS DE INTEMPERISMO ENTRE AS SUPERFÍCIES  
GEOMÓRFICAS V E II – PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS

**Autora:** Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti

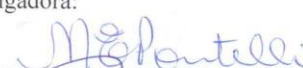
**Orientadora:** Profa. Dra. Marga Eliz Pontelli

Este exemplar corresponde à redação final da  
Dissertação defendida por Wanessa Suelen Peloso Dal-  
Berti e aprovada pela comissão julgadora.

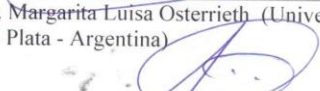
Data: 08 / 12 / 15

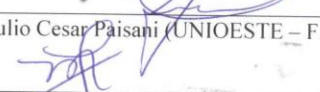
  
Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti

Comissão Julgadora:

  
Profa. Dra. Marga Eliz Pontelli (UNIOESTE – F.B)

  
Profa. Dra. Margarita Luisa Osterrieth (Universidad Nacional  
de Mar del Plata - Argentina)

  
Prof. Dr. Julio Cesar Paisani (UNIOESTE – F.B)

  
Profa. Dra. Michelle Milanez França (UTFPR/FB)

Francisco Beltrão - PR  
2015

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por sua presença constante em minha vida, por me conceder força e coragem nos momentos em que mais precisei.

A minha orientadora Professora Dr. Marga Eliz Pontelli e ao meu Co-Orientador Professor Dr. Julio Cesar Paisani, por me acolher no grupo de pesquisa, pela sabedoria transmitida e pelos conhecimentos que adquiri ao longo desta caminhada, pela dedicação e empenho principalmente nos trabalhos de campo, e acima de tudo pela lição de vida e profissionalismo que me deixaram nesses meses de convivência, a eles todo o meu reconhecimento.

Ao meu filho Francisco, que nasceu durante a trajetória de mestrado, trazendo luz e alegria à minha vida, inspirando cada palavra que aqui foi escrita, muitas vezes inclusive com ele nos braços.

Ao meu marido Ivan, presente em todos os momentos dividindo alegrias e dificuldades, me encorajando e apoiando ao longo do caminho.

A minha família, meus pais Walter e Margarete, que sempre me incentivaram a prosseguir na vida acadêmica, pelo dom da vida e os ensinamentos necessários para assumir as responsabilidades da trajetória por mim escolhida. A minha querida irmã Larissa, que mesmo a distância mostrou seu apoio incondicional.

Aos membros e amigos do Grupo de Pesquisa Gênese e Evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais com quem pude conviver ao longo desta trajetória, especialmente a Andressa Fachin, Bruna de Almeida Krampe, Sani Daniela Lopes Paisani e ao Fabiano de Jesus Ribeiro que contribuíram diretamente para a concretização deste trabalho.

Ao professor Ms. Juliano Andres pelo suporte em questões relacionadas à operação do Spring.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de acesso ao conhecimento.

A Andreia Zuchelli Cucchi, secretária da pós graduação, pela boa vontade e gentileza com que sempre esclareceu minhas dúvidas.

E a todas as outras pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com o sucesso deste trabalho.

Muito Obrigada!

## RESUMO

### CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS DE INTEMPERISMO ENTRE AS SUPERFÍCIES GEOMÓRFICAS V E II – PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS

A pesquisa apresenta a caracterização das formações superficiais em setor que abrange as superfícies geomórficas IV e III no Planalto das Araucárias, incluindo as transições para superfícies II e V, buscando identificar o estágio de evolução dos materiais em perfis representativos de cada superfície geomórfica. Para tal utilizou-se do levantamento das características macromorfológicas da cobertura superficial em campo, bem como de análises laboratoriais de granulometria, macronutrientes, ataque sulfúrico e difratogrametria de raios-X de argilas. O perfil representativo da superfície IV, desenvolvido sobre substrato basáltico, em superfície com elevação entre 1000 e 1100m, apresenta mais de 4 metros de espessura e *solum* com mais de 230 cm, correspondendo a Nitossolo Bruno Distroférrico Alumínico. Sua matéria mineral é constituída por quartzo, anatásio, ilmenita, hematita, goethita, gibbsita, caulinita e possível presença de vermiculita. Entre as superfícies geomórficas IV e III, o perfil de alteração desenvolve-se sobre riolito, apresentando *solum* com 220 cm de espessura cujas características morfológicas individualizam Latossolo Bruno Distrófico, caráter alumínico. A matéria mineral do horizonte B é constituída por quartzo, anatásio, gibbsita, caulinita e possível presença de VHE (vermiculita hidróxi entre camadas). As características morfológicas desse perfil indicam estágio de intemperismo evoluído, apesar do horizonte B apresentar apenas 55 cm. Na superfície III, o perfil de alteração descrito corresponde a Latossolo Bruno Distroférrico Alumínico, cuja mineralogia nas frações areia e silte constituem-se de quartzo, tridimita, cristobalita, espinélio, magnetita-magenita, ilmenita, hematita, goetita e seu polimorfo, a lepidocrocita. Na fração argila ocorrem goetita, hematita, brookita, diásporo, boehmita, caulinita e diquita, bem como vermiculita Al-OH entre camadas (VHE), além da boehmita e mineral do grupo da zeólitas. Na área de transição entre as superfícies geomórficas V e IV, o perfil de alteração mostrou 550 cm de espessura, dos quais 370 cm correspondem a *solum*. Apresenta material muito intemperizado, do tipo Latossolo Bruno Distroférrico Alumínico, cujas características do ataque sulfúrico indicam que os volumes não aparentam ter relação evolutiva entre si, indicando que não se trata de material de alteração desenvolvido *in situ*. Os minerais presentes na fração areia e silte são cristobalita, tridimita, magnetita, ilmenita, hematita, goetita e espinélio. Na fração argila ocorrem minerais similares aos registrados no horizonte B do perfil representativo da superfície III. Em suma, os perfis de intemperismo identificados nas superfícies geomorfológicas estudadas (IV, III e transições) apresentam características morfológicas bastante similares indicando, no geral, estágio de alteração elevado. Dos quatro perfis representativos analisados, três se enquadram na classe dos Latossolos, com variação apenas de distrófico para distroférrico, e um apresenta-se na classe Nitossolo Bruno Distroférrico Alumínico. Desse total de perfis, três apresentam características de desenvolvimento a partir de material parental autóctone (P1, P4 e P11), enquanto o perfil P13 mostra relação com material parental alóctone.

**Palavras-chave:** perfil de alteração; formações superficiais; superfícies geomórficas

## ABSTRACT

### CHARACTERIZATION OF WEATHERING PROFILES BETWEEN GEOMORPHIC SURFACES V AND II – ARAUCARIA PLATEAU

The research presents the characterization of surface formations in the sector covering the geomorphic surfaces IV and III in the Araucária Plateau, including transitions to surfaces II and V, in order to identify the stage of materials evolution in representative profiles of each geomorphic surface. For this we used the lifting of macro morphology characteristics of surface, and laboratory analyzes of particle size, macronutrients, sulfuric attack and clays diffractogram of X-rays. The representative profile of the surface IV, developed on basaltic substrate, in surface with elevation between 1000 and 1100m, has over 4 meters thickness and solum more than 230cm, corresponding to Nitossolo Bruno Distroférrico Aluminico. Its mineral matter consists of quartz, anatase, ilmenite, hematite, goethite, gibbsite, kaolinite and possible presence of vermiculite. Between the geomorphic surfaces IV and III, the change of profile is developed on rhyolite, with soil 220cm thick whose morphological characteristics individualize Oxisol Distrofic, aluminum character. The Horizon B mineral matter consists of quartz, anatase, gibbsite, kaolinite and possible presence of VHE (vermiculite hydroxy between layers). The morphological characteristics of this profile indicate evolved weathering stage, although the horizon B has only 55cm. On the surface III, the profile described amendment corresponds to Oxisol Distroferric aluminum, whose mineralogy in the sand and silt fractions are made up of quartz, tridymite, cristobalite, spinel, magnetite, ilmenite, hematite, goethite and its polymorph, the lepidocrocite. In the clay fraction occur goethite, hematite, brookite, diaspore, boehmite, kaolinite and diquita, although vermiculite Al-OH between layers (VHE), besides the boehmite and mineral zeolites group. In the transition area between the geomorphic surfaces V and IV, the changing profile showed 550cm thick, of which 370cm correspond to soil. Presents very weathered material, the type Oxisol Distroferric aluminium, the characteristics of sulfuric attack indicate that volumes appear to have no evolutionary relation with each other, indicating that is not changing material developed in situ. The minerals in the sand and silt fraction are cristobalite, tridymite, magnetite, ilmenite, hematite, goethite and apinel. In the clay fraction occurring minerals similar to those recorded in the B horizon of the representative profile of the surface III. In short, the weathering profile identified in geomorphic surfaces studies (IV, III and transitions) have very similar morphological characteristics indicating overall, high change stage. The four representative profiles analyzed there fall into the class of Oxisol, varying only distrophic, for distroferric, and is presented in Nitossolo Bruno Distroferric aluminium class. Of these profiles, three have development features from indigenous parent material (P1, P4 and P11), while the P13 profile shows parental relation with allochthonous material.

**Keywords:** change profile; surface formations; geomorphic surfaces

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1. Superfícies aplainadas identificadas por Paisani <i>et al.</i> no Planalto das Araucárias sobre as rochas vulcânicas e perfis esquemáticos das principais formações superficiais encontradas nos topos das superfícies aplainadas (Paisani <i>et al.</i> , 2013a)..... | 2  |
| FIGURA 2. O ciclo geográfico ideal (Davis, 1899).....                                                                                                                                                                                                                            | 6  |
| FIGURA 3. Evolução do relevo escalonado proposto por Walther Penck (Klein, 1985).....                                                                                                                                                                                            | 10 |
| FIGURA 4. Modelo da pediplanação, conforme proposto por L. King (Valadão, 1998).....                                                                                                                                                                                             | 12 |
| FIGURA 5. Processos de corrosão, evolução do relevo e formação de superfícies aplainadas, proposto por Julius Büdel em 1982 no modelo da <i>etchplanação</i> (Thomas, 1965 <i>apud</i> Thomas 1992). ....                                                                        | 15 |
| FIGURA 6. Fatores de formação do solo: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo (LEPSCH, 2010). ....                                                                                                                                                                | 19 |
| FIGURA 7. Representação esquemática dos processos pedogenéticos segundo o modelo de Simonson (1959) (KER; CURI; SCHAEFER & VIDAL-TORRADO, 2012)....                                                                                                                              | 22 |
| FIGURA 8. Localização da área de estudo.....                                                                                                                                                                                                                                     | 29 |
| FIGURA 9. Mapa geológico da área de estudo (Mineropar, 2013). ....                                                                                                                                                                                                               | 30 |
| FIGURA 10. Paisagem na área de estudo (Maio/2014). ....                                                                                                                                                                                                                          | 32 |
| FIGURA 11. Mapa de solo da área de estudo – Adaptado de Embrapa (2007). ....                                                                                                                                                                                                     | 32 |
| FIGURA 12. Dados meteorológicos de Clevelândia e Palmas (IAPAR, 2014).....                                                                                                                                                                                                       | 33 |
| FIGURA 13. Organograma do método seguido na elaboração deste trabalho. ....                                                                                                                                                                                                      | 34 |
| FIGURA 14. Localização dos pontos de descrição/observação.....                                                                                                                                                                                                                   | 37 |
| FIGURA 15. Diagrama textural (SANTOS <i>et al.</i> , 2013).....                                                                                                                                                                                                                  | 40 |
| FIGURA 16. Modelo digital de elevação da área de estudo.....                                                                                                                                                                                                                     | 46 |
| FIGURA 17. Espacialização das formações superficiais por setores.....                                                                                                                                                                                                            | 48 |
| FIGURA 18. Perfil 1 – Aspecto do material exposto em corte de estrada e principais volume identificados.....                                                                                                                                                                     | 50 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 19. Perfil 1 distribuição granulométrica e representação esquemática dos horizontes.....                    | 53 |
| FIGURA 20. Mineralogia dos principais horizontes do perfil de alteração 1.....                                     | 58 |
| FIGURA 21. Aspecto geral do perfil 4 e principais características físicas .....                                    | 60 |
| FIGURA 22. Perfil 4 distribuição granulométrica e representação esquemática.....                                   | 62 |
| FIGURA 23. Aspecto de pedotúbulo preenchido no perfil de alteração 4 .....                                         | 63 |
| FIGURA 24. Mineralogia do perfil de alteração 4.....                                                               | 66 |
| FIGURA 25. Aspecto geral e características físicas do perfil 11 .....                                              | 67 |
| FIGURA 26. Perfil 11 distribuição granulométrica ao longo do perfil e representação gráfica dos horizontesno ..... | 69 |
| FIGURA 27. Mineralogia das frações areia e silte - P11. ....                                                       | 74 |
| FIGURA 28. Mineralogia da fração argila – P11. ....                                                                | 76 |
| FIGURA 29. Aspecto geral e características físicas do perfil 13. ....                                              | 77 |
| FIGURA 30. Perfil 13 distribuição granulométrica e representação esquemática dos horizontes.....                   | 80 |
| FIGURA 31. Mineralogia das frações areia e silte.....                                                              | 85 |
| FIGURA 32. Mineralogia da fração argila.....                                                                       | 87 |
| FIGURA 33. Perfil topográfico sobre as superfícies geomorfológicas no planalto das araucárias.....                 | 89 |
| FIGURA 34. Correlação entre índices $K_i$ e $K_r$ para horizonte B dos perfis analisados....                       | 91 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Propriedades macromorfológicas do Perfil 1.....                                                        | 52 |
| Tabela 2. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 1.....                                           | 55 |
| Tabela 3. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo Perfil 1.....   | 56 |
| Tabela 4. Propriedades macromorfológicas do Perfil 4.....                                                        | 61 |
| Tabela 5. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 4.....                                           | 64 |
| Tabela 6. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo Perfil 4.....   | 65 |
| Tabela 7. Propriedades macromorfológicas do Perfil 11.....                                                       | 68 |
| Tabela 8. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 11.....                                          | 71 |
| Tabela 9. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo Perfil 11.....  | 72 |
| Tabela 10. Propriedades macromorfológicas do Perfil 13.....                                                      | 79 |
| Tabela 11. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 13.....                                         | 82 |
| Tabela 12. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo Perfil 13..... | 83 |

## SUMÁRIO

|                                                                 |             |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMENTOS.....</b>                                      | <b>v</b>    |
| <b>RESUMO.....</b>                                              | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                            | <b>vii</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                    | <b>viii</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                    | <b>x</b>    |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>1</b>    |
| <b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>                               | <b>5</b>    |
| 2.1 SUPERFÍCIES APLAINADAS E OS MODELOS GEOMORFOLÓGICOS .....   | 5           |
| 2.1.1 Peneplanície do ciclo geográfico de Davis .....           | 6           |
| 2.1.2 Superfície primária de Penck .....                        | 9           |
| 2.1.3 Pediplanação de King.....                                 | 12          |
| 2.1.4 Etchplanação de Büdel.....                                | 14          |
| 2.2 FORMAÇÕES SUPERFICIAIS .....                                | 17          |
| 2.3 OS PROCESSOS PEDOGENÉTICOS DAS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS ..... | 19          |
| 2.3.1 Fatores de formação do solo.....                          | 19          |
| 2.3.2 Processos pedogenéticos .....                             | 22          |
| 2.3.3 Intemperismo e os processos pedogeoquímicos .....         | 24          |
| <b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>                 | <b>29</b>   |
| 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....                                    | 29          |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS .....                                | 30          |
| <b>4 MATERIAL E MÉTODO.....</b>                                 | <b>34</b>   |
| 4.1 COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA .....                         | 35          |
| 4.2 TRABALHO DE CAMPO .....                                     | 35          |
| 4.2.1 Descrição dos pontos de controle .....                    | 38          |

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.2 Descrição dos perfis de referência .....                                          | 38        |
| 4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS .....                                                        | 39        |
| 4.3.1 Análise granulométrica .....                                                      | 39        |
| 4.3.2 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total .....               | 41        |
| 4.3.3 Análise química de rotina .....                                                   | 41        |
| 4.3.4 Ataque sulfúrico .....                                                            | 42        |
| 4.3.5 Mineralogia da fração argila .....                                                | 43        |
| <b>5 RESULTADOS .....</b>                                                               | <b>45</b> |
| 5.1 SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E AS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS NA ÁREA DE ESTUDO .....     | 45        |
| 5.2 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS DOS PERFIS DE REFERÊNCIA .....                              | 49        |
| 5.2.1 Perfil de referência da superfície IV – Perfil 1 .....                            | 50        |
| 5.2.1.1 Características macromorfológicas .....                                         | 51        |
| 5.2.1.2 Características química: macronutrientes e ataque sulfúrico .....               | 55        |
| 5.2.1.3 Características mineralógicas .....                                             | 57        |
| 5.2.2 Perfil representativo da transição entre as superfícies IV e III – Perfil 4 ..... | 59        |
| 5.2.2.1 Características macromorfológicas .....                                         | 59        |
| 5.2.2.2 Características química: macronutrientes e ataque sulfúrico .....               | 63        |
| 5.2.2.3 Características mineralógicas .....                                             | 65        |
| 5.2.3 Perfil de referencia representativo da superfície III – Perfil 11 .....           | 66        |
| 5.2.3.1 Características macromorfológicas .....                                         | 67        |
| 5.2.3.2 Características química: macronutrientes e ataque sulfúrico .....               | 70        |
| 5.2.3.3 Características mineralógicas .....                                             | 73        |
| 5.2.4 Perfil representativo da transição entre as superfícies V e IV – Perfil 13. ....  | 77        |
| 5.2.4.1 Características macromorfológicas .....                                         | 78        |
| 5.2.4.2 Características química: macronutrientes e ataque sulfúrico .....               | 81        |

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 5.2.4.3 Características mineralógicas ..... | 84         |
| 5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....          | 88         |
| <b>6 CONCLUSÃO .....</b>                    | <b>93</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>     | <b>96</b>  |
| <b>APÊNDICE A .....</b>                     | <b>103</b> |
| <b>APÊNDICE B .....</b>                     | <b>106</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A paisagem continental da região Sul do Brasil é dominada por extenso planalto mantido por pacote de rochas vulcânicas cretáceas (MAACK, 1981). Trata-se de rochas derivadas de derrames básicos, intermediários e ácidos formados no período Cretáceo Inferior, por volta de 133 a 130 Ma, recobrando parte da Bacia do Paraná (NARDY *et al.*, 2008; NARDY *et al.*, 2011).

Essa grande unidade geomorfológica, que no estado do Paraná é denominada de Terceiro Planalto Paranaense, pode ser subdividida levando em consideração várias características específicas. Almeida (1956) subdividiu regionalmente o Planalto Basáltico da Bacia do Paraná em várias unidades geomorfológicas, sendo uma delas o Planalto das Araucárias. Esse planalto se estende pelo interior dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde se destaca como principal unidade morfoescultural (ALMEIDA, 1956).

Embora tenham sido desenvolvidos vários trabalhos nessa unidade geomorfológica, ainda é pouco compreendida a evolução do relevo na área correspondente ao Planalto das Araucárias.

Nesse sentido, pesquisas desenvolvidas pelo grupo “Gênese e Evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais”, formado na UNIOESTE inicialmente se concentraram ao longo da Serra da Fartura (MAACK, 1947), limite entre os estados de Paraná e Santa Catarina. Nesse setor, de modo geral Paisani *et al.* (2008) individualizaram, através de classes hipsométricas, oito superfícies escalonadas, distribuídas de leste para oeste (Figura 1). Estas superfícies foram interpretadas como remanescentes de superfícies incompletamente aplainadas (PAISANI *et al.*, 2008; PAISANI *et al.*, 2013a).

A partir desse reconhecimento geral de superfícies incompletamente aplainadas, sobretudo ao longo da Serra da Fartura, membros do grupo de pesquisa buscaram caracterizar as formas de relevo embutidas em cada superfície, bem como as formações superficiais a elas associadas.

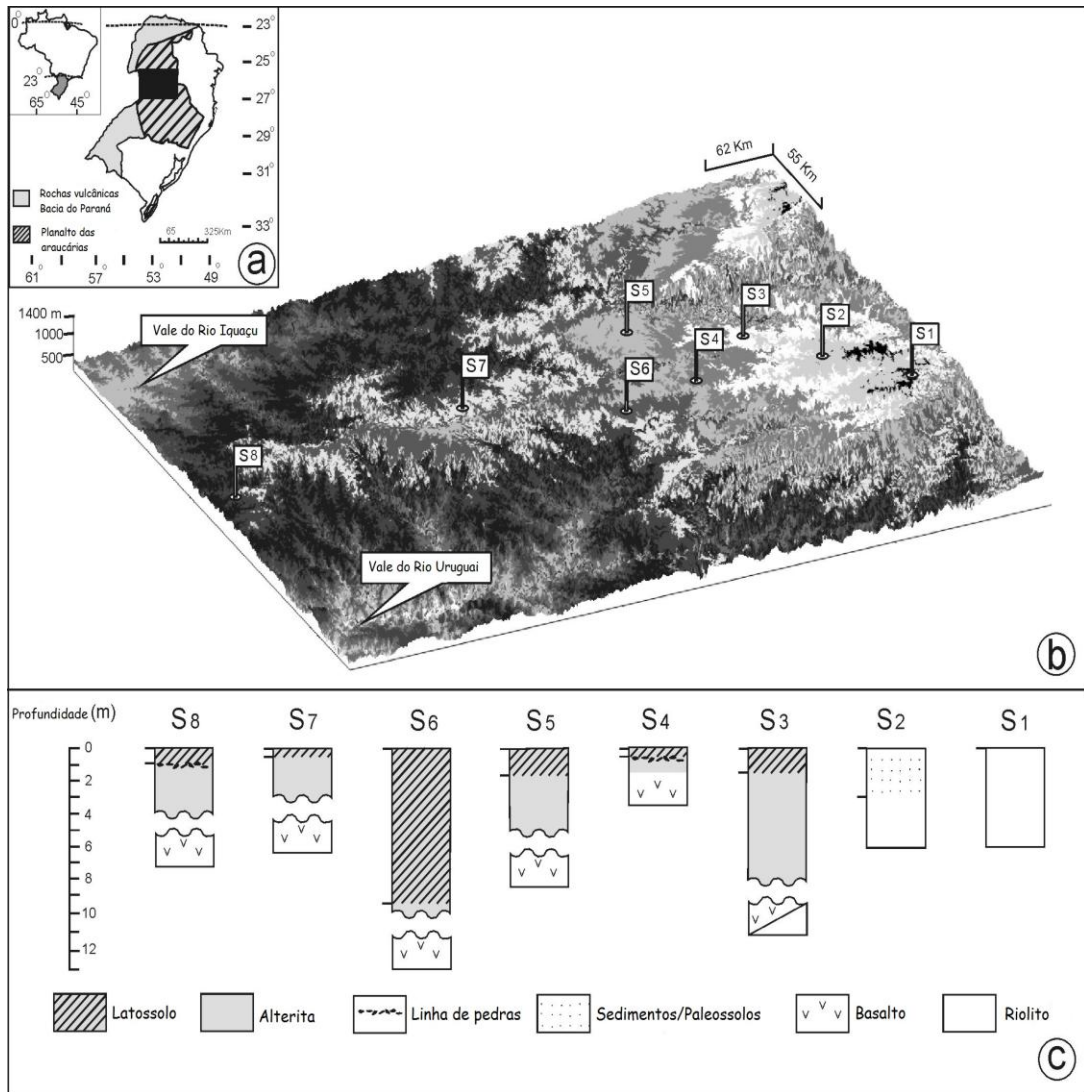


FIGURA 1. Superfícies aplainadas identificadas por Paisani *et al.*, (2013a). No Planalto das Araucárias sobre rochas vulcânicas, entre os estados do PR e SC. (a). SRTM-DEM mostrando as superfícies aplainadas (S1 a S8), dissecadas pelos sistemas hidrográficos dos rios Iguaçu e Uruguai, ambos afluentes do rio Paraná (b). Perfis esquemáticos das principais formações superficiais encontradas nos topos das superfícies aplainadas (c).

Dentre os trabalhos podem ser citados os levantamentos da cobertura superficial em: cabeceira de drenagem (Bragas, 2009; Bertoldo, 2010); em superfícies em elaboração (Paisani & Geremia, 2010; Paisani & Pontelli, 2012); em paleovales de drenagem entulhados (Guerra & Paisani, 2010; Paisani *et al.*, 2012; Paisani *et al.*, 2013a); em ombreiras em elaboração de fundo de vale (Pontelli *et al.*, 2011a; Pontelli *et al.*, 2011b); dentre outros.

A descrição inicial das formações superficiais das oito superfícies geomórficas sugere que essas unidades de relevo seriam remanescentes de superfícies aplainadas, sem inter-relação erosiva entre si. Tais remanescentes apresentam um

aspecto que distingue-os. As superfícies I e II são mantidas por riolito e apresentam formações superficiais como sedimentos, paleossolos e neossolos regolíticos, sugerindo que ambas as superfícies foram submetidas à intensa morfogênese (Paisani *et al.* 2012; 2013b; 2014). Já as superfícies III a VIII são mantidas por substrato basáltico e apresentam solos bem evoluídos com diferentes espessuras, remetendo à pedogênese como processo predominante na formação do relevo ao longo do tempo (PAISANI *et al.*, 2008; PAISANI *et al.*, 2013a).

O que ainda não é suficientemente compreendido é o fato da ocorrência predominantemente de formações superficiais de natureza alóctone, somente na superfície II, enquanto que entre as superfícies III a VIII predominam formações superficiais de natureza autóctone. Não se sabe qual a causa de tal diferenciação numa área mantida pelo mesmo regime climático, alta amplitude térmica e pluviosidade bem distribuída ao longo do ano. É possível que a cobertura superficial na área de transição entre as superfícies contendo formações superficiais autóctones e alóctones possa guardar informações que permitam compreender essa problemática.

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar o grau de evolução pedogenética das formações superficiais das superfícies aplainadas III e IV, situadas nas vizinhanças da superfície aplainada II, a qual registra formações superficiais predominantemente alóctones; visando compreender o papel de formações superficiais autóctones e alóctones como registro do processo de echplanção dinâmica no Planalto das Araucárias.

Diante do exposto alguns objetivos específicos balizaram o presente trabalho: (1) determinar uma área amostral de transição entre as superfícies aplainadas IV, III e II; (2) descrever perfis amostrais da cobertura superficial representativos das superfícies aplainadas IV e III; (3) caracterizar o grau de evolução pedogenética dos materiais das superfícies aplainadas IV e III e compará-los com os das superfícies V; (4) verificar o papel das formações superficiais e substrato geológico no estabelecimento das superfícies aplainadas IV, III e II; (5) conferir se a transição entre as superfícies em questão pode revelar estágio evolutivo vinculado ao modelo de etchplanção.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Explicar a evolução do relevo representa compreender a mudança da gênese das formações superficiais que recobrem as diferentes formas da superfície terrestre, visto que o relevo evolui através de diferentes forças agindo sobre o substrato geológico ao longo do tempo, moldando e gerando formas na paisagem geomorfológica. Tal esculturação expressa a complexa relação existente entre dois processos: rebaixamento vertical contínuo do terreno e o recuo lateral das vertentes (PAISANI *et al.* 2008).

Nesse sentido, buscando subsídios para interpretar e compreender os processos evolutivos atuantes na esculturação das formas de relevo na área de estudo, a revisão bibliográfica a seguir foi organizada levando em conta os objetivos que se pretende alcançar, buscando na bibliografia o que pesquisadores, abordaram sobre os principais assuntos norteadores desta pesquisa, sendo eles: superfícies aplainadas e formações superficiais.

A fundamentação teórica desta dissertação organizou-se em dois tópicos: 1º superfícies aplainadas e modelos geomorfológicos; 2º formações superficiais e processos de formação do solo. No primeiro tópico foram relatados os principais modelos criados por diferentes autores que buscaram explicar os processos atuantes na formação de superfícies de aplainamento. Em um segundo momento foi abordado a definição de formações superficiais para auxiliar na compreensão das diferentes coberturas superficiais que foram encontradas na área de estudo.

### 2.1 SUPERFÍCIES APLAINADAS E OS MODELOS GEOMORFOLÓGICOS

As superfícies geomorfológicas estão associadas a diferentes ciclos de atuação dos processos erosivos e deposicionais, esculpindo a paisagem em distintos tempos geológicos, gerando superfícies relativamente contínuas em nível altimétrico semelhante (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Tais superfícies horizontalizadas resultantes da ação erosiva são destacadas na literatura geomorfológica como sendo testemunhas da esculturação das terras

emersas, consideradas como uma última etapa na evolução do relevo continental (CHRISTOFOLETTI, 1980). As definições para superfícies aplainadas são variadas, bem como as terminologias utilizadas para designá-las, tais como: peneplanos, pediplanos, níveis planálticos, superfícies de aplainamento, superfícies de erosão, superfícies geomorfológicas, dentre outras, variando de acordo com o conhecimento de cada época, ou com as mudanças de paradigmas geomorfológicos.

Os processos que moldam as terras emersas, e em um último estágio aqueles responsáveis pela elaboração de superfícies de aplainamento, motivaram inúmeros estudos por parte de geomorfólogos. De acordo com Salgado (2007) diferentes conceitos foram adotados para interpretação dos processos relacionados à origem das superfícies aplainadas, sendo as mesmas abordadas de acordo com quatro modelos distintos de evolução da paisagem: peneplano, pediplano, superfície primária e etchplano. Modelos estes que trazem uma abordagem coerente com os paradigmas e conceitos de sua época.

Muitos foram os autores que procuraram elucidar a geodinâmica da superfície terrestre criando modelos, com destaque para: Davis (1899); Penck (1924); King (1953) e Büdel (1982). O modelo mais antigo e pioneiro deles foi o de William Morris Davis publicado em 1899, denominado de *ciclo geográfico ideal*. Ele abre caminho na ciência geomorfológica para estudos que buscavam explicar a evolução do relevo e em decorrência disso a formação de superfícies de aplainamento.

A busca pela replicação de superfícies de aplainamento é um tema ainda em aberto na geomorfologia brasileira, destacam-se: De Martone (1943); Ab'Sáber (1954); King (1956); Ab'Sáber (1960); Ab'Sáber & Bigarella (1961); Bigarella *et al.* (1965); Varajão (1991); Valadão (1998); Paisani *et al.* (2008); dentre outros, com a aplicação dos modelos buscando o reconhecimento de superfícies aplainadas.

### 2.1.1 Peneplanície do ciclo geográfico de Davis

Pesquisador norte americano, Willian Morris Davis especialista em geografia física exerceu grande influência na geomorfologia, principalmente ao propor em 1899, um modelo de evolução do relevo designado pelo autor como “o *ciclo geográfico*”. Tal modelo caracteriza-se como o primeiro que busca explicar o processo de evolução do relevo e de formação das superfícies de aplainamento.

O modelo de Davis (1899) sobre os ciclos erosivos foi fundamentado em um caso ideal, com clima úmido e rocha homogênea, para descrever a sequência de mudanças no desenvolvimento das formas do relevo.

Esse modelo concebe que dada paisagem tem sua evolução comandada pela influência dos seguintes fatores: estrutura, processo e tempo. O motor de evolução do relevo é causado por um tectonismo rápido, que inicia uma sequência evolutiva cíclica. Ele tem início quando uma região aplainada é rapidamente e uniformemente soerguida, ou seja, elevada em relação ao nível de base geral, ou seja, os oceanos. Soerguimento esse que determina a estrutura e altitude de dada região (DAVIS, 1899)

Após o rápido soerguimento, segue-se um longo período de calma tectônica. Nesse momento, as forças de deformação dão lugar aos processos erosivos esculpindo as formas de relevo. Tais processos erosivos são comandados pela água dos rios sendo esse considerado o principal agente responsável pela evolução do relevo e em consequência desenvolvimento de superfícies aplainadas (DAVIS, 1899).

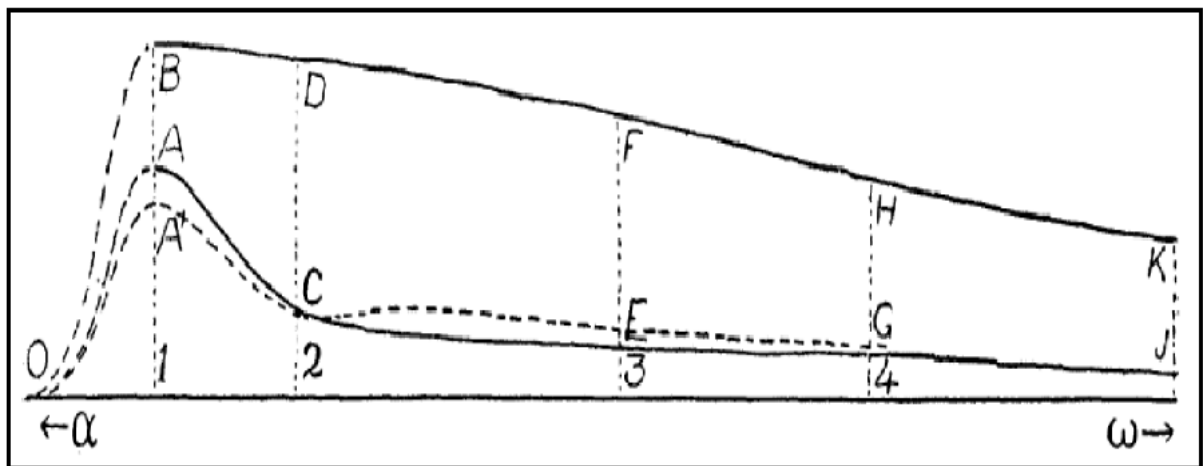


FIGURA 2. O ciclo geográfico ideal (Davis, 1899). A linha reta  $\alpha\omega$  representa a passagem do tempo, enquanto as linhas horizontais acima da linha de base representam a altitude do relevo com relação ao nível de base (oceanos). A tendência mostrada pela figura e sugerida pelo modelo é que com o passar do tempo o relevo tende a ter vertentes menos acentuadas, o terreno mais baixo e levemente ondulado, indiferente da altura inicial. Sendo o ciclo somente interrompido por um novo soerguimento estrutural.

Com o longo período de esculturação das formas de relevo, mesmo as rochas mais resistentes cedem à erosão, sendo que, durante este período um fenômeno

seria comum, o rebaixamento do terreno, também chamado de *downwearing*. Este tempo de esculturação Davis (1899) divide em fases distintas: *juventude*, *maturidade* e *senilidade* (Figura 2).

Após o soerguimento e em condições de quietude tectônica, a *fase de juventude* iniciasse com o processo denudacional. Essa fase dentro do contexto do modelo de Davis pode ser explicada pelo seguinte processo, com o soerguimento aumentou-se a declividade, bem como, a diferença altimétrica entre os topos e o nível de base, favorecendo assim, os processos erosivos através do encaixamento da drenagem nos vales e entalhamento das vertentes. Nesse processo os cursos d'água possuem alta energia, favorecendo o desgaste vertical através da erosão e transporte de material das encostas e leito dos rios, e deposição destes sedimentos na parte inferior das encostas (DAVIS, 1899).

Sabendo que, a diferença de gradiente entre o nível de base e as porções mais elevadas da superfície diminuem, conseqüentemente há também tendência a diminuir a intensidade dos processos erosivos ocasionados pelos cursos d'água, dando início a *fase da maturidade*, sendo esta fase caracterizada pela diminuição na intensidade da erosão linear.

Nesse estágio a drenagem mostra-se mais equilibrada, marcada pela constante perda de energia no sistema devido à diminuição nas rupturas de declive. Sendo assim, ocorre um arredondamento das formas do relevo, as vertentes começam a se alargar, à medida que os rios buscam o equilíbrio através da diminuição da carga de sedimentos transportada, favorecendo o ajuste dos fundos de vale.

Segundo Davis (1899) o recuo das encostas seria seguido pela diminuição de sua declividade. Nesse sentido, e com o passar do tempo, a *fase de senilidade* representa o momento em que o relevo se encontra quase que completamente suavizado. Para esta fase específica, os cursos fluviais se encontram mais organizados, equilibrados, lentos e com baixa energia, devido ao rebaixamento que ocorre ao nível do mar, nesse mesmo tempo o relevo é caracterizado por uma ampla superfície aplainada originada graças a diminuição da diferença de altitude entre os fundos de vale e os interflúvios. Essa planície foi denominada pelo autor de *peneplanície* e apresenta solos profundos e rios maiores de águas calmas.

A fase de senilidade somente será interrompida por um novo soerguimento, dando início a um novo ciclo, podendo ser a mesma região afetada por inúmeros

ciclos erosivos. Portanto, o modelado terrestre sofreria períodos alternados de soerguimento e estabilidade tectônica, sendo que entre meio a esses períodos a dissecação comandaria a formação e o posterior arrasamento das superfícies aplainadas (*peneplanície*), fazendo com que as antigas superfícies não sejam preservadas no relevo.

O autor destaca ainda, que um ciclo não precisa necessariamente ser completo, sendo que um novo soerguimento pode ocorrer a qualquer momento, abortando o ciclo atual e dando início a um novo, que tende a evoluir a partir do litoral em direção ao interior do continente.

Por representar um modelo evolutivo pioneiro, contendo considerações ainda embrionárias dentro do conhecimento científico, esse modelo foi alvo de várias críticas, principalmente no que diz respeito à tectônica. Davis (1899) baseia seu modelo em longos períodos de estabilidade tectônica interrompidos por soerguimentos quase que instantâneos. Outra questão de críticas são as situações tidas pelo autor como “ideais” (estabilidade crustal, clima úmido e rocha homogênea) o que na verdade limitam o emprego do modelo em situações que fogem as dispostas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

### 2.1.2 Superfície Primária de Penck

O alemão Walther Penck foi um dos principais críticos do modelo de Davis sobre as superfícies de erosão, elaborando em 1924 o segundo modelo em ordem cronológica que marcou o conhecimento geomorfológico (SALGADO, 2007). Ao contrário do proposto por Davis (1899), no modelo do “*ciclo geográfico ideal*”, Penck (1924) menciona que o soerguimento da crosta seria lento e ocorreria de forma simultânea à denudação, ou seja, erosão da terra. Disso resultaria uma superfície baixa quase plana, que o autor denominou de superfície primária (*primärrumpf*).

A principal característica do modelo penckniano, assim chamado pela criação do autor Penck (1924), é a crença de que o relevo é formado diante ao contraponto das forças endógenas e exógenas. As endógenas são emanadas do interior do planeta e responsáveis pela distribuição espacial e dinâmica dos soerguimentos e afloramentos rochosos, sendo elas: tectonismo, litologia e estrutura. Enquanto que

os processos exogenéticos atuam através do clima, atividade biológica e antrópica (VALADÃO, 1998).

Os estudos de Penck (1924) foram realizados na Alemanha, no maciço da Floresta Negra, onde o autor reconheceu diferentes níveis topográficos no entorno do maciço. A partir dessas observações o autor propõe que a paisagem geomorfológica seria resultado da ação conjunta do tectonismo e da denudação, em escala de encosta.

Diferentemente do proposto por Davis em seu modelo, para Penck (1924), a deformação tectônica atua por um soerguimento dômico, de movimentos contínuos, que se inicia de maneira lenta, sendo progressivamente acelerado e, em seguida, gradualmente desacelerado. No período inicial o balanço soerguimento/erosão se equivale, originando superfície baixa, denominada pelo autor de *primärrumpf* (superfície primária).

O tectonismo constante de fases distintas tende a ser acelerado, fazendo com que a erosão seja mais significativa, graças ao aumento da distância vertical entre a cúpula e a base da porção elevada da crosta. A dissecação da encosta geralmente é mais intensa na parte central do domo, à medida que a velocidade do soerguimento intensifica, novas regiões são afetadas (PENCK, 1924).

Com o constante soerguimento, novos níveis de base vão sendo gerados, sendo esses considerados como regra geral por Penck (1924), denominados como níveis de erosão, representados pela quebra de gradiente. Em regiões que descem continuamente para o mar, o nível de base coincide com o nível do mar, já em regiões de drenagem interior, depressões do terreno como escarpas, lagos ou cachoeiras, esses são os níveis de base locais.

Desse modo, as inclinações são estabelecidas pelo entalhe dos córregos, sendo mais íngremes quanto maior a taxa de entalhe. Como cada ponto mais baixo dos cursos fluviais constitui um nível de base para o que está a montante, as inclinações mais íngremes são eliminadas mais rapidamente que as suaves.

No processo de evolução proposto por Penck (1924), as vertentes evoluem em escadarias, iniciando por recuo lateral da encosta (*backwearing*) e em seguida o rebaixamento do terreno (*downwearing*), criando um relevo em degraus, formando uma escadaria de *piedmont*, a qual Penck denominou de *piedmonttreppe*. Como última etapa o modelo prevê o desaceleramento do soerguimento e formação de

superfícies aplainadas. Para o autor, recebem o nome de *pediplano*, representando o estágio final de evolução de uma paisagem (Figura 3).

As ideias trazidas por Penck (1924) em seu modelo de evolução do relevo foram em parte utilizadas por Paisani *et al.* (2008) para interpretar as superfícies identificadas na região sudoeste (SW) do Estado do Paraná e no noroeste (NW) do Estado de Santa Catarina, onde se insere a área de estudo deste trabalho.

Nesse contexto, buscando entender a história evolutiva desta região, Paisani *et al.* (2008), interpretou as superfícies identificadas como superfícies incompletamente aplainadas, dispostas em escadaria, formada pelo basculamento da borda da Bacia do Paraná.

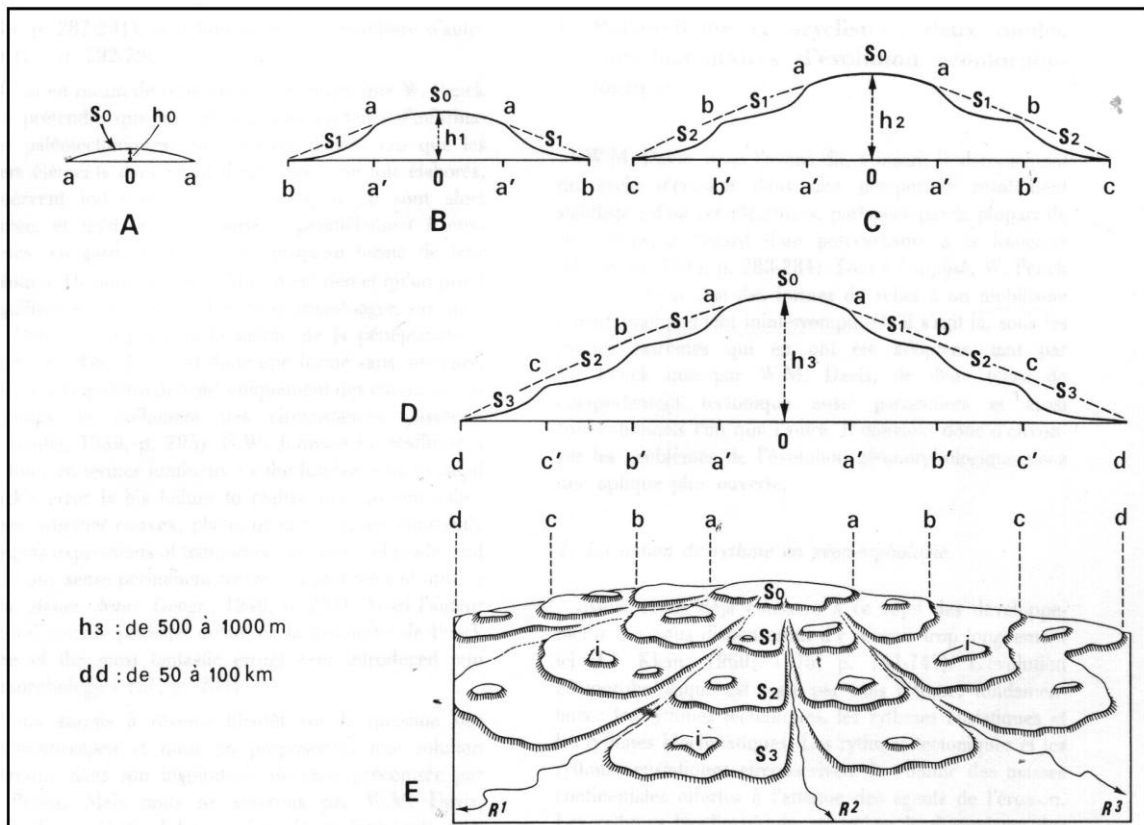


FIGURA 3. Evolução do relevo escalonado proposto por Walther Penck (Klein, 1985). A) S<sub>0</sub> = superfície somital inicial antes do primeiro período de soerguimento; a = nível de base da S<sub>0</sub>; h<sub>0</sub> = altitude inicial da superfície S<sub>0</sub>. B) Após um primeiro período de soerguimento forma-se S<sub>1</sub> = superfície incorporada ao soerguimento que tem em b seu nível de base; h<sub>1</sub> corresponde ao total do soerguimento; a' corresponde à escarpa que delimita S<sub>0</sub> de S<sub>1</sub>. Forma-se o primeiro “degrau” no relevo. C) Após um novo período de soerguimento forma-se o segundo degrau no relevo, representado por S<sub>2</sub>, que tem c por nível de base e está separada da S<sub>1</sub> pela escarpa b'; h<sub>2</sub> corresponde ao total de soerguimento. D) Com um novo período de soerguimento, forma-se o terceiro “degrau” no relevo S<sub>3</sub>. E) Visão tridimensional do relevo em escadaria. R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub> correspondem às redes de drenagem principais.

### 2.1.3 Pediplanação de King

Com o intuito de propor uma síntese das formas de relevo da superfície do globo, Lester C. King, professor de geologia na República da África do Sul, em Julho de 1953 publica o artigo “*Canons of landscape evolution*”, em que propõe o modelo de pediplanação. Representando um desafio ao modelo do “*ciclo geográfico*” de Davis (1899), o modelo de pediplanação diferencia-se principalmente, no que diz respeito ao nível de base e à maneira pela qual as vertentes evoluem.

Enquanto no modelo de Davis (1899) o relevo evolui através de um rebaixamento generalizado e contínuo (*downwearing*), e o nível de base é considerado geral, para King (1953) os níveis de base são locais e infinitos, e a evolução das vertentes baseia-se no recuo paralelo (*backwearing*).

Para King (1953) a paisagem molda-se em função do processo, da fase e da estrutura. Sendo a morfologia do planeta resultante de ciclos de erosão, desencadeados por movimentos tectônicos desde o Mesozóico aos dias atuais. Já a formação das superfícies de aplainamento, ocorrem em regiões submetidas à calma tectônica, bem como condições climáticas áridas ou semiáridas.

O processo de formação de uma superfície aplainada tem início com o soerguimento de uma parte da plataforma continental, podendo ser a nível regional, estabelecendo assim novos níveis de base. Os níveis de base são tratados pelo autor como generalizados, assim qualquer ponto do curso d'água é entendido como referência para os demais pontos localizados a montante.

Com os novos níveis de base locais, a incisão fluvial é favorecida, levando ao rebaixamento do leito dos rios, transportando e em seguida depositando sedimentos acarretando no alargamento dos vales. O movimento da água, para o autor, é regido por leis físicas pela qual é idêntico nas diferentes regiões sobre o globo, entalhando o relevo através da retração lateral das encostas (*backwearing*) (Figura 4).

A esculturação do relevo é comandada pela erosão, transporte e deposição de detritos, sendo esses regidos pela gravidade e pelo trabalho da água. Dando origem a encosta de quatro elementos que é a forma básica para todas as regiões e diferentes climas. As quais subdivididas em segmentos a partir do topo: *waxing slope* (côncavo), *free face* (face livre), *debris slope* (detrítico), *waning slope* (pedimento).

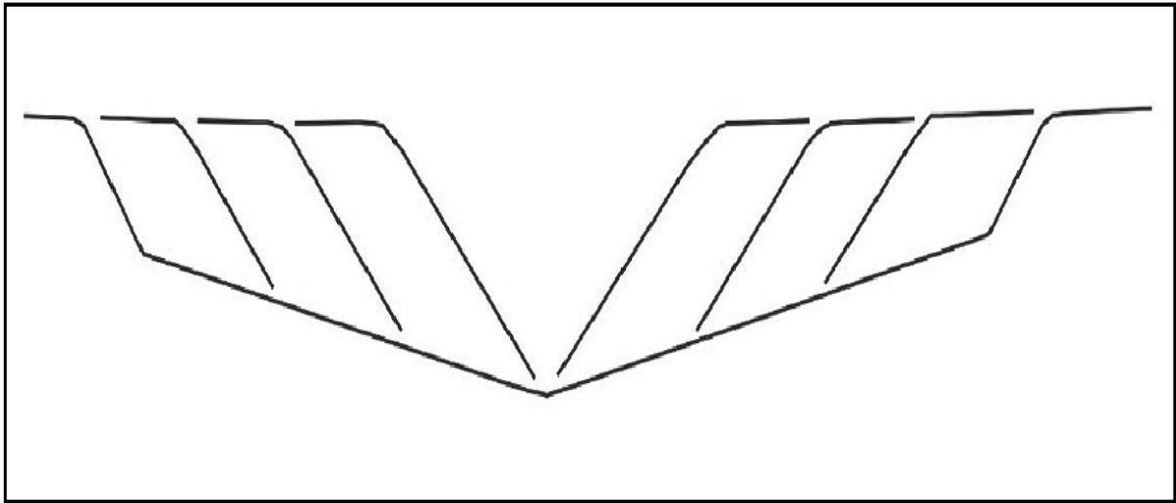


FIGURA 4. Modelo da pediplanação, conforme proposto por L. King (Valadão, 1998). Considerando a evolução das vertentes através do recuo paralelo das encostas.

À medida que as encostas são erodidas, a declividade é preservada, enquanto que em paralelo ocorre a formação de *pedimentos* na base delas. O resultado no relevo seria a formação de duas superfícies em patamares, com idades diferentes. A mais nova formada pelo depósito detrítico de sedimentos movidos de áreas mais elevadas, recebe o nome de *pediplanície* ou *pediplano*, e a mais antiga situada nos topos, sendo testemunhas de um relevo residual, foi designado pelo autor de *inselbergs*.

Os *inselbergs* são entendidos como rochas maciças, duras que resistiram à erosão, ou onde a intensidade de desgaste foi menor. O processo seria reiniciado através de uma nova incisão, formando uma terceira superfície.

No modelo de evolução do relevo proposto por King (1953), o fator clima mostra-se como secundário. Embora os estudos tenham sido realizados na África do Sul, em uma região semiárida, o autor afirma que todas as formas de vertentes evoluem em quaisquer ambientes geográficos e climáticos, e que as diferenças entre as formas de relevo de ambientes com clima úmido, semiárido e ambientes áridos, possuem apenas diferenças de intensidade e velocidade dos processos.

As considerações de King (1953) a respeito da evolução do modelado terrestre, e em último momento a formação de superfícies de aplainamento, em muito se aproxima das considerações de Davis (1899), tanto no conceito de estabilidade tectônica, quanto por não abordar o papel da alteração química das rochas na formação das superfícies de aplainamento (SALGADO, 2007).

Lester King fez também sua contribuição para a geomorfologia brasileira, tendo o fruto de seus esforços publicado em 1956, “*Problemas geomorfológicos do Brasil Oriental*”, produto de sua vinda ao Brasil, e de sua pesquisa que recobriu a maior parte da faixa leste do planalto brasileiro na busca pelo reconhecimento e mapeamento dos principais traços da geomorfologia brasileira. Tal pesquisa teve grande repercussão e influência nas posteriores pesquisas geomorfológicas no país.

#### 2.1.4 Etchplanação de Büdel

A evolução dos estudos geomorfológicos foi notória no século XX, com a valorização do papel do clima na explicação da gênese do relevo terrestre. Este tema foi abordado por Julius Büdel; incansável pesquisador de campo, que foca seus estudos nos sistemas morfogenéticos atuantes desde o Polo até o Equador, com a intenção de melhor compreender o papel dos diferentes climas nos processos que atuam moldando as formas do relevo.

Julius Büdel propôs em 1957 o modelo da *etchplanação*, escrito a partir de suas observações e dos trabalhos realizados no continente africano por E. J. Wayland em 1933, que notou não ser possível aplicar o modelo da *peneplanação*, ao se deparar com superfícies de idades diferentes que coexistiam lado a lado (SALGADO, 2007).

O modelo da *etchplanação* proposta por Büdel inovou por propor dupla superfície de aplainamento, consolidando o papel do intemperismo na análise geomorfológica. Seu modelo de evolução da paisagem se baseia em dois fatores: quietude tectônica e clima tropical semiúmido (VITTE, 2001).

As considerações relatadas a seguir sobre a modelo da *etchplanação*, são baseadas na obra “*Climatic Geomorphology*” publicada em 1982, por Büdel, onde o autor propõem que, embora no relevo atual os processos erosivos sejam os dominantes, as formas que conhecemos hoje primeiramente foram afetadas pelo intenso intemperismo geoquímico das rochas.

Ao estudar a zona periglacial de tundra, Büdel (1982) se depara com vales e amplas superfícies aplainadas relícuais, que para ele compreendem amplos e antigos *etchplains*, incompatíveis com as condições climáticas atuais. Para essas morfologias serem formadas, os processos modernos geralmente são diferentes

daqueles que criaram esta paisagem. O autor destaca que atualmente o clima que favoreceria a formação das superfícies aplainadas está, nos trópicos sazonais, nas paisagens de savana da África, da América do Sul e da Índia, com uma estação úmida e outra seca.

Para Büdel (1982), uma dada região adquire condições propícias à formação de aplainamentos ao estar submetida a clima tropical semiúmido e estabilidade tectônica. Nestas condições o mecanismo de *etchplanação* é iniciado a partir do intemperismo químico intenso, ao qual é atribuído à formação de um espesso manto de alteração de mais de 30 metros, com cor vermelha e aparência argilosa, formado pela alteração das rochas e transformação dos minerais em: caulinita, haloisita e argilominerais relacionados.

Esse espesso manto de alteração, denominado de Latossolo ou Oxissolo, representa um perfil de solo homogêneo, com transição delgada e irregular entre a rocha e o material alterado, além de apresentar zona de decomposição rochosa profunda. Nessas condições, sustentado sobre um manto de intemperismo espesso, o relevo adquire formato plano, denominado *etchplano*.

O intemperismo químico proporciona a alteração das rochas e consequente perda de matéria que sai do sistema, porém, o processo de duplo aplainamento (*doppelt Einebnung*) é essencialmente denudacional ou seja erosivo. Com a ocorrência de um novo soerguimento ou alteração climática, inicia-se o processo denudacional a partir do encaixamento fluvial sobre a superfície aplainada, considerando o nível de base local. O manto de alteração é mobilizado e seus argilominerais colocados em suspensão, formando uma superfície de lavagem, com condições de atuação para os processos mecânicos como a erosão, originando superfícies deposicionais, simultaneamente ao rebaixamento generalizado do terreno.

Com a remoção da zona superior do manto intemperizado, revela-se o contato saprolito/rocha altamente irregular, devido às diferenças litológicas e estruturais do embasamento (Figura 5).

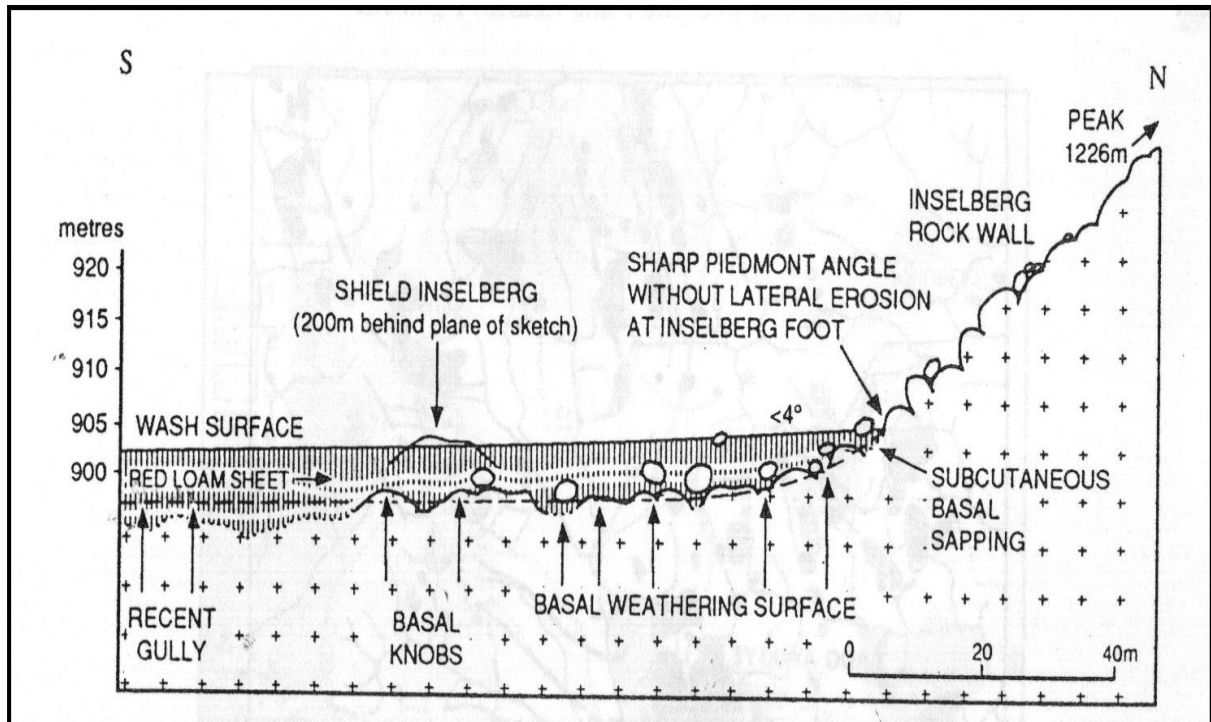


FIGURA 5. Processos de corrosão, evolução do relevo e formação de superfícies aplainadas, proposto por Julius Büdel em 1982 no modelo da *etchplanação* (Thomas, 1965 apud Thomas 1992).

As concepções de evolução do relevo pelo processo de *etchplanação* trazidas por Büdel (1982), nortearam inúmeras pesquisas que buscam interpretar superfícies aplainadas reconhecidas no relevo brasileiro.

Na região SW do Paraná e NW de Santa Catarina, Paisani *et al.* (2008), reconhecem superfícies em escadaria identificadas em zona morfoclimática subtropical úmida. Esses autores adotam em partes as concepções deste modelo visando interpretar a evolução de superfícies aplainadas sobre ação da *etchplanação* nesta dada região, onde se insere a área de estudo deste trabalho.

Neste contexto, reconhecendo que na *etchplanação* durante a estação úmida a erosão atua apenas na porção superficial do solo, enquanto que mesmo na estação seca o front de intemperismo permanecerá úmido, favorecendo a alteração química das rochas de forma intensa, Paisani *et al.* (2013) avaliaram as propriedades pedogeoquímicas e micromorfológicas das formações superficiais destas superfícies geomorfológicas, como uma primeira aproximação na interpretação da evolução das formas nesta região.

## 2.2 FORMAÇÕES SUPERFICIAIS

As formações superficiais podem ser definidas como sendo o conjunto de materiais que recobrem a superfície emersa da crosta terrestre. Esses materiais recobrem total ou parcialmente o substrato geológico, podendo variar de poucos centímetros a vários metros de espessura, e são formados a partir da alteração das rochas e sedimentos (DEWOLF, 1983).

A relação das formações superficiais com o substrato geológico é direta, visto que são originadas a partir da alteração física e química do material de origem, ou seja, do substrato geológico (KER *et al.*, 2012).

Os materiais, que compõem as diferentes formações superficiais encontradas na crosta terrestre, podem ser entendidos como testemunhos dos processos pedológicos e morfogenéticos, responsáveis pela formação e evolução da paisagem (QUEIROZ NETO, 2001).

Sendo assim, quanto à origem, separam-se os materiais da superfície em autóctones, se provenientes da alteração *in situ* do substrato rochoso, ou, alóctone, se materiais ali depositados embora oriundos de outros locais (QUEIROZ NETO, 2001).

Nas formações superficiais autóctones, o material de origem é proveniente da rocha inalterada que, pela ação do intemperismo, se transforma em manto decomposto, denominado de elúvio (KER *et al.*, 2012).

Também conhecido por alterita, o elúvio é representado pelo material resultante do processo de alteração sem movimentação, onde o contato com a rocha matriz não é abrupto, mas sim gradual, demonstrando que aquele material foi formado no local, a partir do substrato geológico ali existente (SUGUIO, 2003).

Enquanto que as formações superficiais alóctones tem por material de origem o regolito, constituído por depósitos superficiais de materiais intemperizados provenientes de outra rocha fonte, sem relação com a rocha subjacente (KER *et al.*, 2012).

Tais materiais provenientes da desagregação mecânica e da alteração química das rochas sofreram remanejamento, transporte e deposição sobre substrato geológico diverso. Esses materiais podem ser das seguintes naturezas: movimentados ao longo da vertente pela ação da gravidade, chamados na literatura de *colúvios* (THOMAS, 1994); materiais que sofreram deslocamento em um curso

d'água canalizado, os *alúvios*; sedimentos que foram transportados pelo vento, *eólicos*; ou ainda materiais transportados pelas geleiras, *glaciares* (CAPUTO, 2013).

Os colúvios representam variedade de depósitos formados por material intemperizado erodido de cotas mais elevadas, sendo que normalmente, correspondem a material maciço, de aspecto areno-argiloso amplamente distribuído pela paisagem, representando uma cobertura com importante registro geomorfológico (SUGUIO, 2003).

Dada a grande importância das formações superficiais como testemunhas dos processos atuantes no nosso planeta ao longo dos anos, o estudo das formações superficiais intensificou-se nas últimas décadas no Brasil, seguindo duas linhas de concentração: a dos pedólogos que concentram-se nas formações por se tratarem dos materiais de origem do solo, enquanto os geomorfólogos as estudam para melhor compreensão do relevo (QUEIROZ NETO, 2001).

Na região sudoeste do Paraná, mais especificamente nas superfícies interplanálticas identificadas por Paisani *et al.* (2008) e área de estudo desta dissertação, duas situações distintas foram reconhecidas com relação às formações superficiais: (a) formações superficiais classificadas como autóctones, caracterizadas por solos ricos em hidróxidos de ferro (Rodrigues, 2011; Pontelli *et al.*, 2011a; Pontelli *et al.*, 2011b; Paisani *et al.*, 2013a); (b) formações superficiais alóctones com aspecto coluvial depositado sobre riolito ou basalto com espessuras variando de centímetros a metros (Pontelli & Paisani, 2012; Paisani & Geremia, 2010; Paisani & Pontelli, 2010; Guerra & Paisani, 2010; Paisani *et al.*, 2012; Guerra & Paisani, 2012; Fachin, 2013; Paisani *et al.*, 2014).

### 2.3 OS PROCESSOS PEDOGENÉTICOS DAS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS

Solos podem ser definidos como sendo coleção de corpos naturais dinâmicos constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, que contém matéria viva, material mineral e orgânico, e se formam a partir da ação biológica e do clima num determinado tempo, sobre as rochas (LEPSCH, 2010).

O solo é constituído de matéria mineral associada à matéria orgânica, contendo ainda proporções variáveis de água com substâncias dissolvidas e ar. Pode-se considerar solo como sendo mistura de materiais sólidos líquidos e

gasosos, cujas proporções de cada material variam em profundidade (COSTA, 2004).

Quando analisados a partir da superfície, os solos consistem em camadas ou seções paralelas denominados horizontes, cuja evolução se dá a partir do material de origem, diferenciando-se com o passar do tempo pela ação do intemperismo (EMBRAPA, 2006).

Um solo é o produto de processos tanto de natureza construtiva como destrutiva. Os processos destrutivos marcam o início da formação do solo com a ação do intemperismo sobre as rochas, bem como pela decomposição da matéria orgânica. Enquanto que os processos construtivos atuam na formação de novos minerais como as argilas (BRADY e WEIL, 2013).

### 2.3.1 Fatores de formação do solo

O conceito de solos como corpos naturais organizados, foi inicialmente proposto no século XIX, através das pesquisas de Dukochaev, que apresenta a ideia de que os solos resultam de ações combinadas dos fatores: *clima, organismos, material de origem e tempo* (BRADY e WEIL, 2013).

No ano de 1941, o *relevo* foi ressaltado como fator adicional à formação do solo pelo norte americano Hans Jenny. O autor sugere equação para representar a formação de um determinado solo. Pela equação é possível verificar a ação de cada um dos fatores de forma mais ou menos acentuada (LEPSCH, 2010).

$$\text{Solo} = f(\text{clima, organismos, material de origem, relevo e tempo}).$$

Deste modo, clima, organismos, material de origem, relevo e tempo constituem os fatores de formação do solo (Figura 6), aos quais muitas vezes se soma a ação antrópica, como potencial agente transformador do solo natural (COSTA, 2004).



FIGURA 6. Fatores de formação do solo: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo (LEPSCH, 2010).

A formação do solo tem início com o *material de origem*, que pode ser entendido como sendo o estado inicial do sistema solo, ao tempo zero de sua formação. Ou ainda o material do qual o atual perfil foi derivado, normalmente remetendo a rocha como material inicial (KER *et al.*, 2012).

Com a exposição das rochas à superfície, tornando-as susceptíveis a ação das intempéries, desencadeia um processo que leva a modificação das características originais e concomitante desintegração da rocha, sendo possível afirmar que o solo se forma pela decomposição direta e contínua da crosta terrestre (LEPSCH, 2010). Porém, não apenas as rochas *in situ* constituem os materiais de origem do solo, ele também pode ser formado a partir de materiais de origem residuais, tais como: detritos coluviais, depósitos aluviais, sedimentos marinhos, depósitos orgânicos ou ainda materiais transportados pelo vento ou pelo gelo (BRADY e WEIL, 2013).

O principal fator que age sobre as rochas causando sua desintegração é o *clima*, através das duas principais variáveis: precipitação e temperatura. Os fatores climáticos determinam a intensidade do intemperismo que age sobre as rochas, acelerando ou retardando os processos de transformação dos minerais presentes no material de origem, influenciando também na profundidade e textura do solo que será formado (KER *et al.*, 2012).

O fator clima é colocado em evidência dada sua importância, visto que, solos diferentes podem ser formados a partir de uma mesma rocha, porém em condições climáticas distintas. Bem como, materiais diferentes podem dar origem a solos similares, quando sujeitos por um longo período de tempo as mesmas condições climáticas (LEPSCH, 2010).

Sabe-se que, a velocidade das reações químicas, dobram a cada 10°C de acréscimo na temperatura, e que a precipitação (água + gás carbônico) é a responsável pela maior parte das reações químicas relacionadas ao intemperismo dos minerais. Assim sendo, em climas áridos ou muito frios, a decomposição das rochas ocorre de forma lenta, dando origem a solos pouco espessos, com menos argilas e mais minerais primários. Enquanto que em clima quente e úmido, mais rápida será a decomposição das rochas, formando solos espessos e com abundância de minerais secundários, principalmente argilominerais e óxidos de Fe e Al (BRADY e WEIL, 2013).

O solo é formado a partir da combinação de fatores abióticos e bióticos. Os fatores bióticos referem-se aos seres vivos, representados pelos animais, vegetais e microorganismos. Juntamente com o clima, os agentes biológicos (vegetais e animais) representam a adição de energia ao sistema, e participam ativamente na formação do solo, tanto na decomposição das rochas em um estado pré-gênese quanto em estados mais avançados de evolução com a adição da matéria orgânica (GUERRA e BOTELHO, 1996).

Embora, a maior influência com relação aos organismos vivos seja da vegetação natural, os microorganismos, bactérias, fungos, líquens, animais e até mesmo o homem aceleram a adição de matéria orgânica e homogeneização dos perfis, ciclagem de nutrientes e formação de agregados do solo. Esses organismos exercem ações físicas e químicas sobre o material de origem e continuam a atuar no perfil de solo (SERRAT *et al.*, 2002).

A matéria orgânica possui papel fundamental nas propriedades do solo, unindo as partículas minerais, atribuindo um aspecto granular e solto ao solo. As minhocas e formigas aceleram a incorporação dessa matéria orgânica ao perfil de alteração, bem como misturam o solo à medida que o escavam, afetando significativamente sua formação (LEPSCH, 2002).

A configuração da superfície do terreno traz o relevo como fator determinante na distribuição dos diferentes tipos de solo na paisagem. O relevo é o fator de

formação que controla a redistribuição de massa e energia no perfil (GUERRA e BOTELHO, 1996).

A topografia influi diretamente na circulação de água no interior do perfil de alteração, regulando a velocidade do escoamento superficial bem como a quantidade de água que infiltra no solo. Dessa forma, o intemperismo acentua-se à medida que a quantidade de água que se infiltra no perfil de alteração aumenta (SERRAT *et al.*, 2002).

### 2.3.2 Processos pedogenéticos

Todos os fatores de formação do solo possuem seus efeitos maximizados quando considerada a escala de tempo geológico, visto que uma vez formados, os solos estão sempre em constante evolução. A idade do solo, portanto, expressa o tempo durante o qual os processos formadores atuaram (GUERRA e BOTELHO, 1996).

O solo é um corpo tridimensional formado pela ação dos fatores de formação e dos processos pedogenéticos. Tais processos pedogenéticos podem ser entendidos como os processos que produzem as modificações que ocorrem no perfil, devido à atuação dos fatores de formação do solo (SERRAT *et al.*, 2002).

Os processos pedogenéticos compreendem as ações desenvolvidas no interior do perfil de alteração, e também as ações desenvolvidas na superfície. Durante a gênese de um solo o material de origem, sofre inúmeras mudanças causadas por quatro grandes processos de formação do solo (Figura 7); *adição, remoção, transformação e translocação*, (KER *et al.*, 2012).

O processo pedogenético de *adição* caracteriza todo material do exterior que chega ao perfil de solo, tal como: ar, água, matéria orgânica. Esses agentes são adicionados ao perfil por movimentos verticais descendentes, movimentos verticais ascendentes e movimentos laterais. A matéria orgânica é o exemplo mais comum da adição, cujas folhas e raízes de plantas em decomposição são incorporadas ao material intemperizado, conferindo importante qualidade física ao solo como a plasticidade (LEPSCH, 2002).

A *remoção* diz respeito aos materiais do perfil de alteração que saem do sistema, por processos de lixiviação, sendo que o agente responsável por esta

remoção de parte do material constituindo do solo é a água. Na remoção os argilo-minerais, sais, óxidos e sílica solúvel são lixiviados para a porção inferior do solo ou são levados pelo escoamento superficial ou sub-superficial (BRADY e WEIL, 2013).

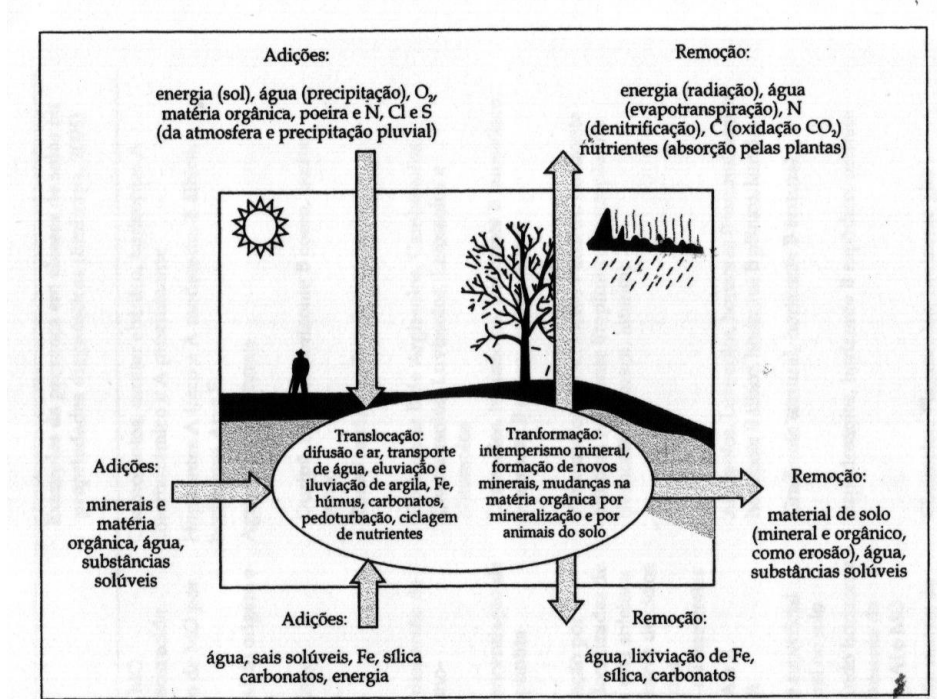


FIGURA 7. Representação esquemática dos processos pedogenéticos segundo o modelo de Simonson (1959) (KER *et al.*, 2012).

Já a *translocação* é a redistribuição dos materiais no interior do perfil de solo. Essa redistribuição é comandada pela água e produz modificações visíveis no volume de materiais presentes no perfil, sendo que os principais materiais translocados são: argilas, cátions básicos, os sais, a sílica e a matéria orgânica (SERRAT *et al.*, 2002).

A translocação é caracterizada pela lenta movimentação de substâncias dentro do perfil. Os materiais tirados de um local do perfil são depositados em outro local pelos seguintes processos: iluviação, calcificação e salinização. Esses processos contribuem para a formação do horizonte B do solo (TEIXEIRA, 2003).

As *transformações* ocorrem quando os constituintes do solo (matéria mineral e orgânica) sofrem modificações físicas e químicas. O material orgânico adicionado ao solo é transformado pela ação dos micro-organismos enquanto o intemperismo transforma os minerais primários em minerais secundários (KER *et al.*, 2012).

Adições, remoções, translocações e transformações, operando sobre a influência dos fatores ambientais (material de origem, clima, organismos, relevo e

tempo), produzem reorganização estrutural da alterita em volumes, originando os horizontes de solo. Esses processos de gênese do solo fornecem informações importantes para compreender a interação entre os solos, a paisagem e o ambiente em que os solos se formam (TEIXEIRA, 2003).

Dentre as abordagens dos processos pedogenéticos de formação de solo, destaca-se a abordagem pedogeoquímica, que trata do comportamento dinâmico dos elementos e as reações químicas que ocorrem no contato rocha alterada e rocha sã (PEDRO, 1969).

### 2.3.3 Intemperismo e os processos pedogeoquímicos

O termo “intemperismo” deriva de *intempérís* e indica que as reações químicas são controladas pelo clima. Na evolução geoquímica da fração mineral dos perfis de alteração o fator clima mostra-se determinante, mesmo quando provenientes do mesmo material de origem, visto que a intensidade das reações químicas é controlada por água e gases (MELFI e PEDRO, 1977).

A ação das *intempérís* sobre as rochas e seus minerais formadores causa a alteração física e/ou química dessas partículas, alterando ou destruindo suas características originais. Esse processo é conhecido como intemperismo, podendo ser de natureza física (intemperismo físico) quando os processos causam desagregação das rochas com separação dos minerais, ou, de natureza química (intemperismo químico), quando os minerais têm suas características químicas alteradas (TEIXEIRA, 2003).

O intemperismo químico é o conjunto de reações que levam à formação dos solos. A fase sólida dos solos é composta de uma fração mineral e uma fração orgânica. A fração mineral é proveniente do material de origem de determinado solo, com distintas mineralogias e comportamentos químicos, diretamente influenciado pelo meio. Essa fração guarda importantes informações quanto ao grau de evolução do solo (LEPSCH, 2011).

Considerando que um mineral é uma partícula inorgânica e natural, com composição química e estrutura definida, os minerais afetados pelo intemperismo podem ser de duas naturezas: minerais primários ou minerais secundários. Os minerais primários tem sua origem a partir da formação da rocha, sendo eles das

rochas de origem presentes nas frações areia e silte do solo. Enquanto que os minerais secundários são resultantes da intemperização dos minerais primários e estão presentes na fração argila do solo (CAPUTO, 2013).

Quando expostos à superfície, os minerais e as rochas estão susceptíveis a ação da água, dos gases ( $O_2$  e  $CO_2$ ) e dos compostos orgânicos. Esta solução ao entrar em contato com a rocha, seja por poros, fissuras ou clivagens dos minerais, age de forma a dissolver inicialmente os constituintes mais solúveis (cátions básicos, alcalinos e alcalinos terrosos). O que resta são os constituintes menos solúveis, que sofrem alteração para entrar em equilíbrio com as condições ambientais existentes (KÄMPF, CURI e MARQUES, 2009).

A intensidade da alteração sofrida pelos minerais depende de diversos fatores: natureza do mineral a ser alterado; características da solução de alteração (pH e concentração) e das condições climáticas (temperatura, umidade e pressão) (MELLO e ALLEONI, 2009).

Quando a solução de alteração entra em contato com um mineral primário, os constituintes entram em solução, onde parte será removida do sistema, enquanto a outra parte será reorganizada formando um novo mineral (secundário). Alguns minerais por serem mais resistentes permanecem no seu estado original como o quartzo (BRADY e WEIL, 2013).

Os minerais que serão formados a partir deste rearranjo de elementos químicos no local da alteração podem ser neoformados ou transformados. Os minerais neoformados foram sintetizados no próprio solo sendo o produto da meteorização dos minerais primários, enquanto que os minerais transformados resultam de alteração da estrutura de certos minerais primários. Os minerais secundários mais frequentes no solo são: argilominerais, óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, carbonatos de cálcio e magnésio (MELFI e PEDRO, 1977).

A abordagem geoquímica dos processos pedológicos possui o intuito de ressaltar a noção de tipo de alteração responsável pela formação de diferentes solos, bem como compreender sua distribuição geográfica através da natureza dos minerais neoformados (PEDRO, 1969).

Nesse sentido destacam-se dois grandes grupos onde predominam diferentes processos de perda geoquímica: a acidólise e a hidrólise. A acidólise predomina nas zonas climáticas mais frias e secas cujo meio é acidificante. Já a hidrólise: ocorre em

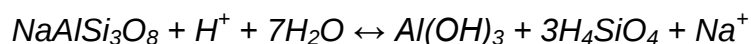
zonas climáticas tropicais e subtropicais úmidas com meio pouco ácido pH entre 5 e 9 (MELFI e PEDRO, 1978).

Nesse contexto, o Brasil por se encontrar em condições climáticas tropicais e subtropicais do globo possui como mecanismo essencial de alteração a hidrólise. Na reação da hidrólise, com a ação da solução de alteração sobre a estrutura química dos minerais formadores das rochas, ocorre a eliminação ou transformação de elementos no perfil de alteração. É a reação do  $H^+$  e o  $OH^{-1}$  da dissociação da água com os minerais, rompendo a estrutura dos minerais e eliminando inicialmente os elementos mais solúveis ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), enquanto que a Si e o Al também são liberados, porém recombina-se formando novos minerais (TEIXEIRA, 2003).

Dada a importância da hidrólise como reação química para silicatos e carbonatos, existem três estágios de evolução e perda de minerais. Esses estágios referem a perda de constituintes químicos que podem ser: parcial (bissialitização e monossialitização) ou total (alitização). Também são utilizados como indicadores do grau de intemperismo de um solo (LEPSCH, 2011).

A hidrólise total acontece em regiões tropicais com condições de pluviosidade alta e drenagem eficiente do perfil. Com o intenso fluxo de água a lixiviação varre o perfil de alteração, permanecendo apenas o Al no sistema, esse processo é chamado de *alitização* (KÄMPF, CURI e MARQUES, 2009).

Na hidrólise total ocorre o rompimento da estrutura dos silicatos, com a liberação de Si na forma de ( $H_4SiO_4$ ) e de cátions básicos ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), estes são colocados em solução e acabam sendo completamente eliminados. Enquanto que, outros elementos como o Al, por apresentar estrutura cristalina mais resistente, irá se acumular no ambiente. Como o exemplo da reação de intemperização da albita em gibbsita (MELFI e PEDRO, 1977; LETSCH, 2011; PEDRO, 1969; MELFI e PEDRO, 1978).



Já na hidrólise parcial, em condições de drenagem menos eficiente, a lixiviação é fraca ou moderada, conseqüentemente a eliminação de cátions básicos é parcial reagindo com elementos menos solúveis (Si, Al e Fe). Esses recombina-se em novas estruturas cristalinas organizadas, os argilominerais (KÄMPF, CURI e MARQUES, 2009).

Os argilominerais, pequenos minerais cristalinos que compõem a fração fina do solo, são coloides eletronegativos com capacidade de adsorção e retenção de água. Podem ser classificados de acordo com os elementos que os compõem e também de acordo com a forma com que os elementos estão organizados em seus cristais (LEPSCH, 2011).

Nas argilas silicatadas o oxigênio está ligado ao silício e ao alumínio. Esses estão arranjados em estruturas laminares (folhas), que quando organizadas umas sobre as outras formam camadas (MELFI e PEDRO, 1977).

Essas lâminas são resultantes da união de tetraedros ou de octaedros, sendo eles dois tipos de arranjo dos íons de oxigênio. No tetraedro quatro íons de oxigênio estão fortemente ligados a um cátion central (silício), já no octaedro a ligação covalente ocorre entre seis íons de oxigênio e um íon de alumínio, ferro ou magnésio (LEPSCH, 2011).

Os tetraedros ou octaedros quando se unem formam lâminas contínuas e muito finas. Quando as lâminas de tetraedros se combinam com outras de octaedros, são formadas camadas. Várias combinações são possíveis na organização das camadas, mas duas são as mais comuns: 1:1 e 2:1. Combinações de lâminas contínuas de Si-O e Al-O/OH formam camadas caracterizadas por vários minerais de argila (CAPUTO, 2013).

A combinação das lâminas de tetraedros e octaedros pode ser de duas formas principais: uma lâmina de tetraedro ligada à outra de octaedro (formando argilominerais do tipo 1:1), ou duas lâminas de tetraedros ligadas a uma de octaedro (formando argilominerais do tipo 2:1) (LEPSCH, 2011).

Quando a predominância dos argilominerais neoformados for do tipo 2:1 na relação Si:Al (dois átomos de Si para um de Al) o processo predominante é a *bissialitização*, enquanto que *monossialitização* é o processo que forma argilominerais do tipo 1:1 (um átomo de Si para um de Al) (MELFI e PEDRO, 1977; LETSCH, 2011; PEDRO, 1969; MELFI e PEDRO, 1978).

Além dos argilominerais (minerais da família dos filossilicatos) como, por exemplo: vermiculita, illita, clorita, caulinita, montmorilonita, entre outros; também os óxido-hidróxidos de ferro e/ou alumínio (minerais da família dos óxidos) compõem a fração argila do solo (BRADY e WEIL, 2013).

Os óxi-hidróxidos são minerais secundários do tamanho argila, cujos oxigênios estão ligados somente ao ferro e/ou alumínio. Esses minerais são

formados em condições de intenso intemperismo químico em que a maior parte da sílica e mesmo os argilominerais são removidos, restando apenas material rico em óxidos. Os principais exemplos são os de alumínio como a gibbsita, e os de ferro como a hematita e goethita (LEPSCH, 2011).

A intensidade e o tempo de ação do intemperismo são os fatores determinantes tanto para saída de materiais do sistema solo, como para a determinação dos processos pedogeoquímicos atuantes. Uma superfície antiga, com baixa a moderada declividade, condições tropicais com alta pluviosidade e temperatura, propiciam a intensa lixiviação dos elementos químicos formando solos altamente intemperizados (MELLO e ALLEONI, 2009).

A formação das feições do solo envolve diferentes processos pedogeoquímicos, sendo alguns deles: pedalização, dessilicação, ferralitização, salinização, alcalinização, elutriação, laterização, dentre outros (KER *et al.*, 2012).

No Brasil, a maioria dos solos encontrados é caracterizada como, solos altamente intemperizados, resultado da intensa alteração dos materiais (laterização), originando solos ricos em ferro e alumínio (MELLO e ALLEONI, 2009).

A laterização é um processo de alteração pedogeoquímica responsável por formar solos altamente intemperizados, resultantes da lixiviação intensa, sendo formações exclusivas de zonas intertropicais, caracterizadas pelo ganho de energia. Nessas ocorre o máximo de intemperismo, graças a muita água e muito calor, formando solos extremamente alterados com grande concentração de hidróxidos de ferro e alumínio (MELLO e ALLEONI, 2009).

O conceito inicial para Lateritas foi criado por Buchanan (1807) “Material argiloso, rico em ferro, originado pelo intemperismo e que endurecia sob ação solar”. Já o conceito mais recente proposto por Schellman (1979), define que laterização é um processo cujo intenso intemperismo químico de rochas sub-aéreas, origina material intemperizado de aspecto duro e acimentado, com conteúdos de Fe e/ou Al elevados, enquanto os de Si são inferiores aos da rocha mãe. Tais perfis são constituídos pela associação de óxidos (goethita, hematita, gibbsita), caulinita e quartzo (SCHELLMANN, 1979).

Ainda segundo Schellmann, (1979), as lateritas são crostas muito antigas decorrentes de um longo período de formação, originadas em condições tropical úmidas, cujo perfil de alteração possui muitos metros de espessura, tendo sido descritas pela primeira vez por Buchanan em relato de uma viagem a Índia em 1802.

A definição de laterita proposta por Schellmann (1979) foi questionada por Bourman e Ollier (2001), por independender da gênese, sendo que para eles a análise química por si só é insuficiente como requisito para sua identificação, sendo necessário compreender a geologia, estratigrafia, geomorfologia, mineralogia e micromorfologia como essenciais na investigação do regolito.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo corresponde à quadrícula situada entre as coordenadas planas UTM 378000E/7078000N a 408000E/7066000N. Abrangendo os municípios de Clevelândia e Palmas, no estado do Paraná, e Abelardo Luz em Santa Catarina.

A individualização da quadrícula levou em consideração a transição existente entre as superfícies incompletamente aplainadas II, com domínio de formações superficiais alóctones e V, com domínio de cobertura superficial autóctone. O setor delimitado estende-se do limite da superfície II, incluindo a III e IV até o limite com a superfície V, ao longo da Serra da Fartura.

Essa quadrícula com área de 360 Km<sup>2</sup> abrange remanescentes das superfícies aplainadas IV, III e II. Nesse local essas superfícies estão dissecadas pela drenagem dos sistemas hidrográficos dos rios Mangueirinha, rio das Lontras e rio Caldeiras (Figura 8).

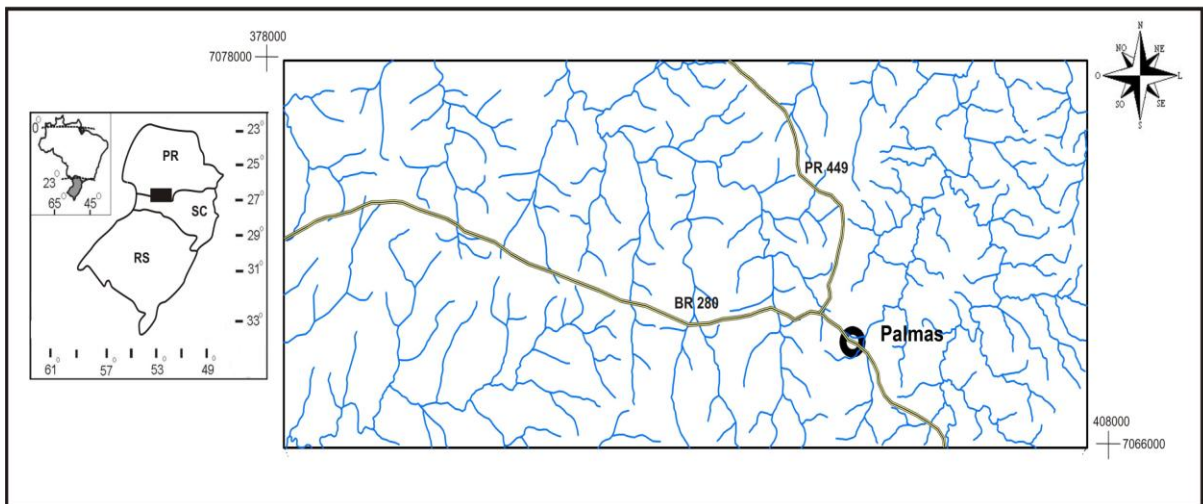


FIGURA 8. Localização da área de estudo. Delimitação definida utilizando cartas topográficas de Palmas-W, Palmas, Santo Antônio e Indumel, na escala 1:50.000 do Exército Brasileiro (1991), disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS

As superfícies aplainadas identificadas por Paisani *et al.* (2008), inserem-se na zona de derrames vulcânicos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, formada por rochas magmáticas de natureza básica, intermediária e ácida (NARDY *et al.* 2008). No setor oeste e sudoeste do Paraná a Formação Serra Geral foi subdividida pelo Serviço Geológico do Paraná – MINEROPAR em unidades estratigráficas, com base na classificação morfológica dos derrames, sendo elas: Formação Covó, Formação Candói, Formação Barracão e Formação Cascavel (MINEROPAR, 2013).

Segundo o mapa geológico em escala de 1:250.000 elaborado pela Mineropar (2013), na área de estudo ocorrem rochas vinculadas a Formação Covó – Membro Palmas e Membro Guarapuava, e Formação Barracão – Membro Flor da Serra (Figura 9) (MINEROPAR, 2013).

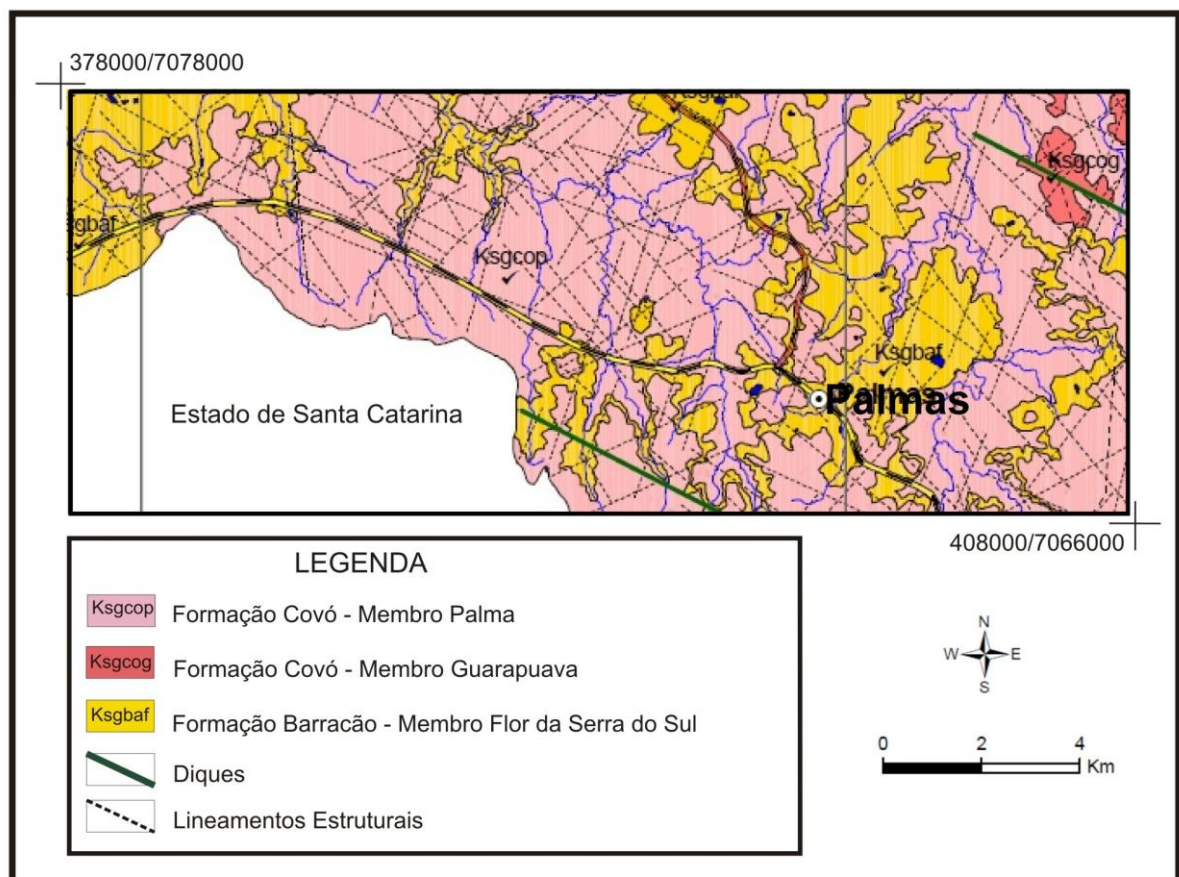


FIGURA 9. Mapa geológico da área de estudo (Mineropar, 2013).

Da extensão total da Formação Covó presente na área, a maior parte condiz ao Membro Palmas, sendo as associações faciológicas para este membro: ignimbrito reomórfico, lava ignimbrítica e fluxos de lava de composição riolítica.

Uma pequena parcela do local de estudo tem sua formação geológica denominada de Membro Guarapuava, sendo que as associações faciológicas para este membro são: fluxos de lava e depósitos de ignimbrito reomórfico com composição de riodacito, quartzo-latito, andasito e vitófiro.

Quanto às associações faciológicas do Membro Flor da Serra são: derrames tabulares de ferro-basalto roxo-esverdeado com entablamento em cunha, sigmoidal e tetragonal, intercalados à brecha vulcanoclástica (MINEROPAR, 2013).

No Membro Palmas e Guarapuava predominam em 87,64% da área os riolitos e riodacitos, sendo estas rochas do tipo ácidas com mais de 65% de  $\text{SiO}_2$ . Enquanto que no Membro Flor da Serra, cerca de 77,27% das rochas são básicas dos tipos basalto toleítico, olivina-basalto e basalto-andesítico (MINEROPAR, 2013).

O substrato geológico da quadrícula de estudo é marcado pela ocorrência de diques. Esta intrusão ígnea tabular vertical, que corta as estruturas das rochas circundantes, está presente no setor sul e nordeste da área (Figura 9).

Lineamentos estruturais ocorrem por toda a extensão da área, topograficamente representada por vales alinhados ou cristas, geralmente indicando a presença de fraturas ou falhas geológicas.

Geomorfologicamente a área de estudo encontra-se inserida no Planalto de Palmas, situado no Terceiro Planalto Paranaense, apresentando dissecação baixa, com classe de declividade predominante menor que 6%. As formas de relevo predominantes são: topos aplainados, vertentes retilíneas e convexas e vales em “U” (MINEROPAR, 2006) (Figura 10).

Segundo o mapeamento de solos da Embrapa (2006), realizado em escala de 1:250.000, os solos predominantes da área de estudo são: Latossolo Vermelho Distroférrico, Latossolo Bruno Distrófico, Neossolo Litólico Húmico, Cambissolo Húmico Alumínico (Figura 11).



FIGURA 10. Paisagem na área de estudo (DAL-BERTI, 2014)

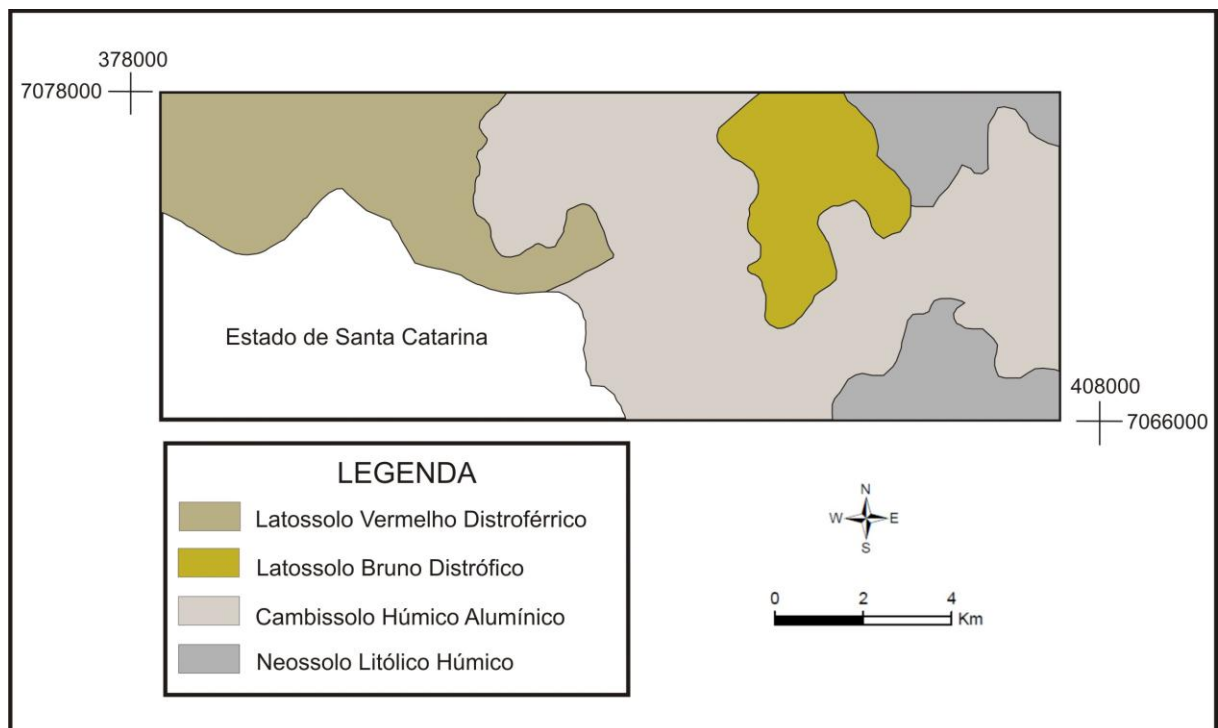


FIGURA 11. Mapa de solo da área de estudo – Adaptado de Embrapa (2007).

O Sudoeste do Paraná está inserido na região fitogeográfica denominada Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta das Araucárias, sendo

esta vegetação característica de clima úmido (LEITE E KLEIN, 1990). A vegetação nativa da área de estudo, hoje em sua grande parte devastada e substituída por cultivos antrópicos, caracteriza-se como Floresta das Araucárias e Campos (MAACK, 1947). A ocorrência dessas formações vegetais é favorecida pelo clima e pelo relevo da área.

O tipo climático predominante na área de estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen, é Cfb, que é caracterizado por clima chuvoso com inverno frio, chuvas bem distribuídas durante o ano todo, e verões amenos. Este clima é denominado de subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e ocorrência de geadas severas e frequentes. Sem estação seca, mas com diminuição na frequência das chuvas nos meses de inverno (entre maio e agosto), e intensificação das ocorrências nos meses de verão (novembro a fevereiro), com médias pluviométricas situadas entre 1.200mm e 1.300mm anuais (Figura 12). A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C, e a dos meses mais frios é inferior a 18°C. A média da umidade relativa do ar fica entre 80 e 85% (IAPAR, 1994).

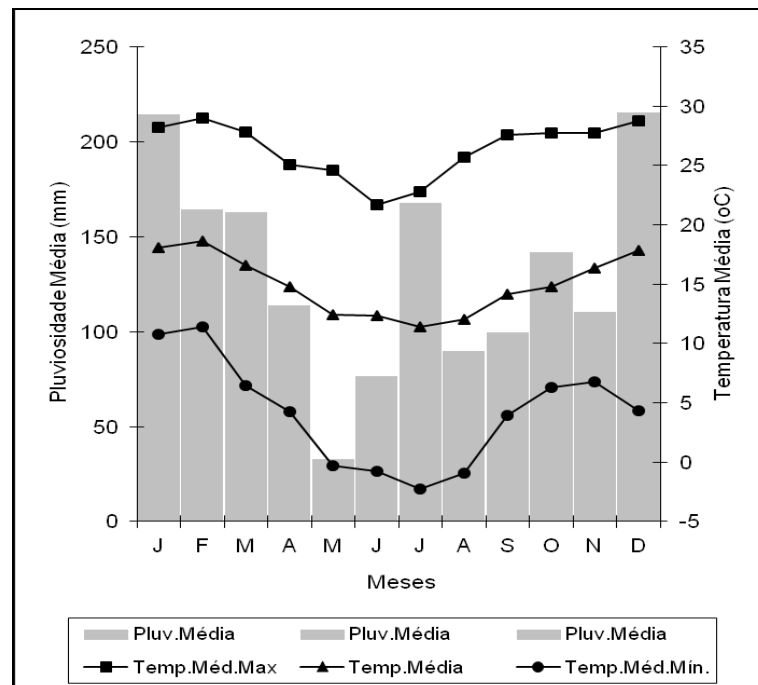


FIGURA 12. Dados meteorológicos de Clevelândia e Palmas (IAPAR, 2014).

## 4 MATERIAL E MÉTODO

A metodologia apresentada compreende as técnicas e procedimentos que foram utilizados para alcançar o objetivo desta pesquisa: caracterizar o grau de evolução pedogenética das formações superficiais das superfícies aplainadas III e IV, visando compreender o papel de formações superficiais autóctones e alóctones como registro do processo de echplanação dinâmica no Planalto das Araucárias.

Para alcançar o objetivo proposto foi seguido um conjunto de procedimentos de gabinete, campo e laboratório, dentre eles: análise geral da paisagem e definição de pontos amostrais através de dados cartográficos e geoprocessamento; descrição das formações superficiais em campo com coleta de amostras para análises; realização de análises laboratoriais para identificar as características físico/químicas das formações superficiais (Figura 13).

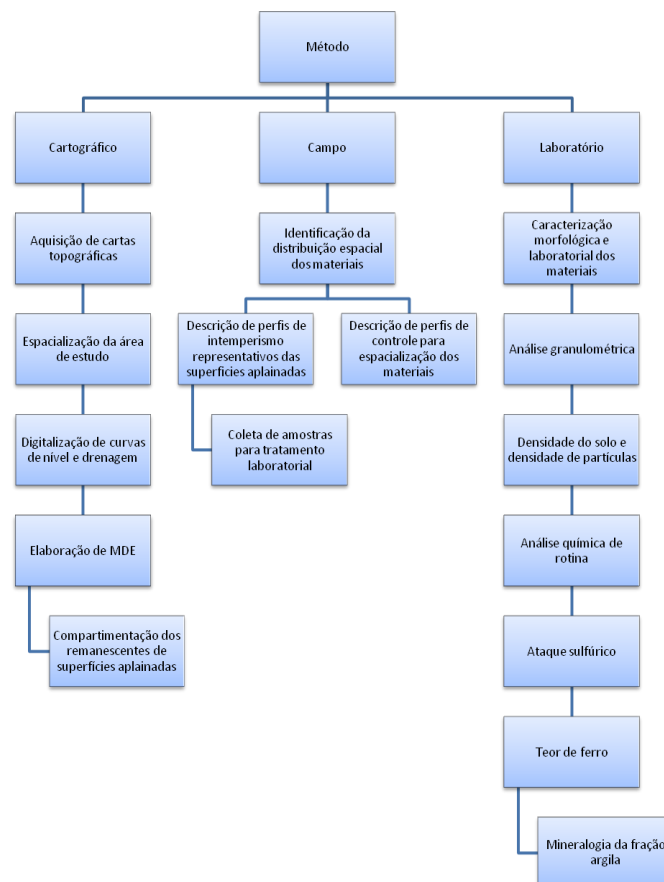


FIGURA 13. Organograma do método seguido na elaboração deste trabalho.

#### 4.1 COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA

A compartimentação fisiográfica, também denominada de compartimentação do terreno, permite através de abordagem multitemática que sejam sistematizadas as informações do meio físico sobre diferentes aspectos (CARDOSO *et al.*, 2009).

Para início da pesquisa foi selecionado material cartográfico da área. As cartas topográficas do Exército Brasileiro em escala 1:50.000 foram obtidas no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, tendo sido utilizadas as seguintes cartas: SG-22-Y-B-I-4 MI – 2863/4, SG-22-Y-B-II-3 MI-2864-3, SG-22-Y-B-V-1 MI-2876-1 e SG-22-Y-B-IV-2 MI-2875/2

Em um primeiro momento as referidas cartas topográficas foram georreferenciadas por meio do software ArcGIS 10 e a quadrícula de estudo selecionada pelo par de coordenadas planas UTM 378000/7066000 a 408000/7078000.

Na sequência procedeu-se a digitalização das informações presentes na carta topográfica. Foram digitalizadas as curvas de nível cotadas a cada 20 metros e a rede hidrográfica, ambas em escala de 1:50.000.

Com o intuito de obter uma análise morfológica do terreno em ambiente digital, adotou-se o uso de modelo digital de elevação (MDE), o qual foi obtido através do tratamento de cartas topográficas. O MDE foi gerado a partir da interpolação de curvas de nível vetorizadas de 20 metros das cartas topográficas em escala de 1:50.000, utilizando-se o interpolador *Topo-to-Raster*.

Para a compartimentação dos remanescentes de superfícies aplainadas optou-se pela metodologia proposta por King (1956) e utilizada por Paisani *et al.* (2008), que define as superfícies a partir de cotas altimétricas. Para este estudo optou-se por equidistâncias de 100m entre as cotas, mantendo a metodologia utilizada por Paisani *et al.* (2008). A diferenciação das superfícies se deu pela escolha da palheta de cores aplicada ao MDE.

#### 4.2 TRABALHO DE CAMPO

Utilizando-se das cartas topográficas, fundamentos teóricos e mapas geológicos específicos da área trabalhada, realizou-se análise geral da paisagem,

buscando identificação de elementos observáveis nesta escala e estabelecer pontos amostrais para verificação em campo.

Em seguida, realizou-se trabalho de campo, sendo percorrida a maior parcela possível da área de estudo, no intuito de escolher perfis que sejam representativos das superfícies analisadas bem como da transição entre elas.

Foram observados 66 pontos de controle, sendo identificado: afloramentos de rocha, depósitos coluviais e perfis de intemperismo.

Dos pontos descritos 4 foram adotados como perfis de referência, realizando-se a descrição morfológica, e os demais serviram para controle e espacialização das formações superficiais (Figura 14).

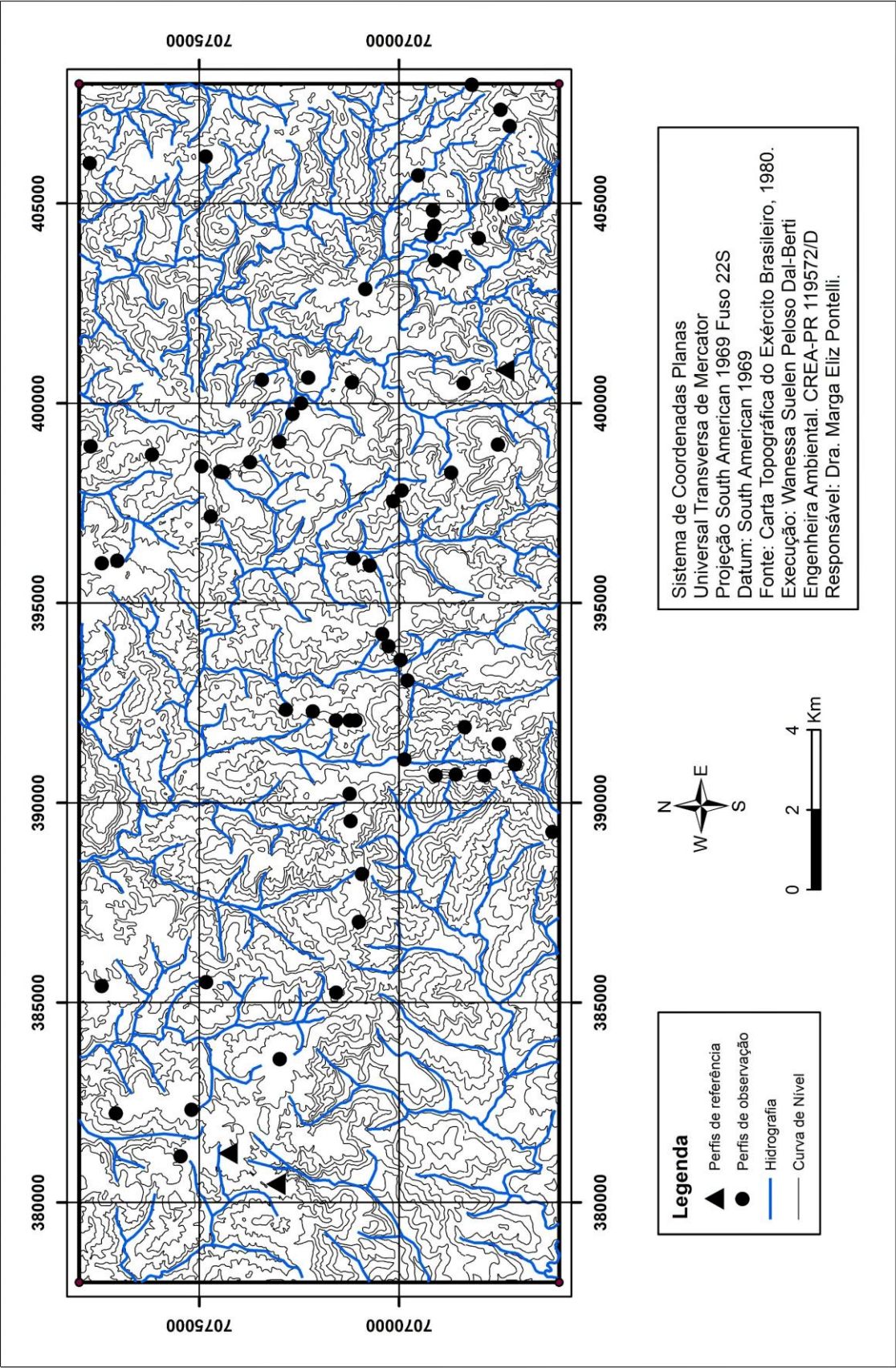


FIGURA 14. Localização dos pontos de descrição/observação.

#### 4.2.1 Descrição dos pontos de controle

A etapa de investigação geomorfológica e pedológica em campo foi realizada simultaneamente através do método do caminhar livre (EMBRAPA, 1995). Com observação dos pontos previamente selecionados em gabinete, para reconhecimento geral da área e descrição das formações superficiais.

Nesta etapa de campo a identificação das formações superficiais aconteceu por meio da descrição de seções expostas em cortes de estradas, gradagem ao longo dos percursos e compartimentos pré- estabelecidos.

O número de perfis descritos e as distâncias entre eles foram determinadas conforme variações espaciais das classes de solos, sendo tais variações identificadas por mudança de textura, drenagem, estrutura, profundidade, cor, etc. dos horizontes diagnóstico.

#### 4.2.2 Descrição dos perfis de referência

O levantamento de campo com descrição das formações superficiais permitiu a escolha dos perfis que seriam utilizados como referência. A escolha de tais perfis se deu por meio de sua representatividade no contexto da superfície geomorfológica em que se encontram localizados. Buscou-se perfil representativo para cada uma das superfícies estudadas (III e IV), bem como as transições entre estas superfícies com as de maior proximidade (V e II).

Desta forma, através de dados planialtimétricos fornecidos pelo GPS Garmin modelo 67EXS, com erro de 5 metros, e com o auxílio das cartas topográficas disponíveis para a região em escala de 1:50.000, foram selecionados dentre os perfis de controle descritos, quatro perfis como referências para este mapeamento. Sendo eles:

- Perfil 13 (Trevo Fazenda Pagliosa) – transição superfície V para IV;
- Perfil 1 (Fazenda Pagliosa) – representativo superfície IV;
- Perfil 4 (Coamo) - transição superfície IV para III;
- Perfil 11 (Transportadora) – representativo superfície III.

Para tais perfis foram realizadas descrições pedológica em campo obtendo-se características físicas dos horizontes e coleta de material para análises laboratoriais.

A descrição teve início com a limpeza da seção utilizando-se de procedimentos pedológicos, que consistem na identificação dos horizontes a partir das seguintes características: a) cor (de acordo com a Carta de Munsell); b) textura; c) estrutura pedológica; d) espessura dos volumes em cm; e) transições; f) macroporosidade (presença de raízes, atividade biológica); g) presença de óxidos; h) cerosidade (SANTOS *et al.*, 2013).

Após o reconhecimento e descrição macroscópicas procedeu-se a coleta de amostras para análises em laboratório. A coleta para análise granulométrica foi realizadas de maneira sistemática 10 em 10 cm, do contato com a rocha alterada até o topo do perfil. As amostras foram armazenadas e transportadas em sacos plásticos transparentes, cada qual com sua identificação da profundidade de coleta.

Das amostras coletadas em campo para realização da granulometria, certa quantidade do material foi encaminhado para a realização das demais análises, sendo elas: a) análise química de rotina; b) análise mineralógica; c) ataque sulfúrico; d) ferro livre, amorfo e total.

As descrições morfológicas realizadas em campo, juntamente com as informações obtidas através de análise granulométrica e análise química de rotina, permitiram o estabelecimento dos horizontes de solo bem como as nomenclaturas para classificá-los conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Os levantamentos de campo contaram com recursos do Convênio 205/2012 – Fundação Araucária, recursos próprios e auxílio do Campus de Francisco Beltrão para veículo de campo.

## 4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

### 4.3.1 Análise granulométrica

As amostras de solos, após serem coletadas em campo e levadas ao laboratório, foram submetidas à secagem à sombra, visando dar o mínimo de homogeneidade às amostras no tocante ao teor de umidade (EMBRAPA, 1997).

A primeira das determinações é a determinação física também conhecida por análise granulométrica, com o intuito de obter a textura, a partir do percentual dos tamanhos das partículas que compõem determinado material (EMBRAPA, 1997).

Tal análise é feita após a secagem, destorroamento e queima da matéria orgânica presente na amostra. Em seguida usou-se de técnicas convencionais de peneiramento para a fração grossa ( $>0,053$  mm) e de pipetagem para a fração fina ( $<0,053$  mm), sendo que a fração fina foi dividida em silte e argila, através de separação das partículas por solução defloculante (EMBRAPA, 1997).

No presente trabalho foi realizada a análise granulométrica dos quatro perfis completos, com frequência de amostras de 10 em 10 cm de profundidade, buscando compreender as relações entre fração grossa e fração fina ao longo do perfil de alteração.

Os resultados da granulometria foram plotados em gráfico de linhas do Excel para verificar os teores de areia, silte e argila no solo, nas diferentes profundidades de cada perfil, bem como no diagrama textural (Figura 15) para obtenção das classes texturais.

Tais análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Formações Superficiais (Unioeste – FB) e contou com recurso do PROAP – PPGG/FB.

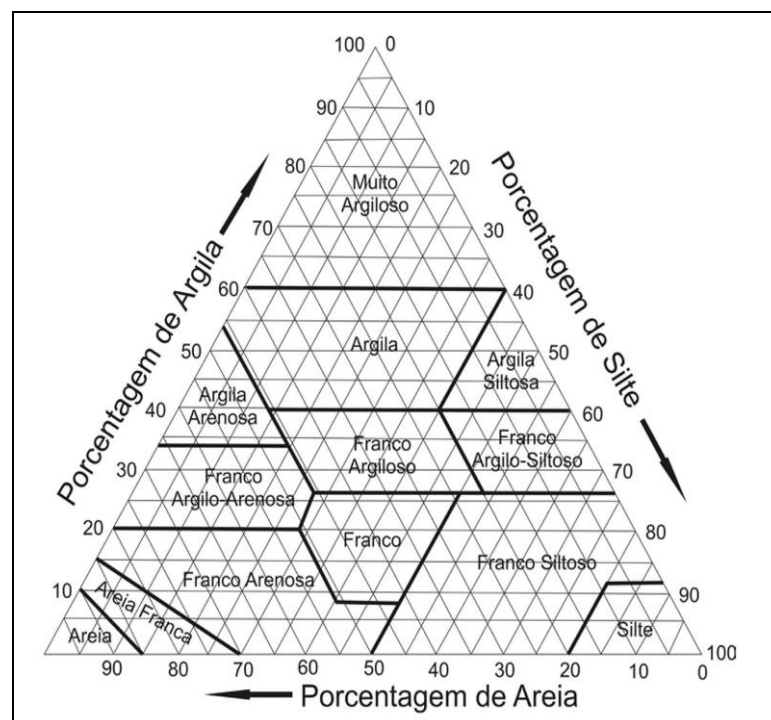


FIGURA 15. Diagrama textural (SANTOS *et al.*, 2013).

#### 4.3.2 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total

A densidade de partículas do solo é uma das propriedades físicas do solo frequentemente determinada em rotina de laboratório para o cálculo da porosidade total do solo.

O método usado para coleta das amostras foi do anel de Koperck, e para realização da análise o método do balão volumétrico com medição do volume de sólidos em bureta conforme descrito por Embrapa (1997).

As amostras foram coletadas para análises conforme a individualização dos horizontes, nas seguintes profundidades para cada perfil:

- Perfil 1 – Seis amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes Ap, AB, BA, B1, B2 E BC: 10, 40, 60, 90, 140 e 180cm.
- Perfil 4 – Seis amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes Ap, AB, BA, B E BC: 25, 55, 95, 150 e 220cm.
- Perfil 11 – Quatro amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes AB, BA, B1 e B2: 30, 80, 120 e 200cm.
- Perfil 13 - Seis amostras coletadas para análise nas seguintes profundidades respectivamente aos horizontes Ap, B1, B2, B3 e B4: 60, 105, 140, 175, 220 e 250cm.

As análises de densidade e cálculo da porosidade total, foram realizadas no Laboratório de Análises de Formações Superficiais (Unioeste – FB) e contou com recursos do laboratório.

#### 4.3.3 Análise química de rotina

Os dados da análise química de rotina são utilizados para auxiliar na classificação pedológica do perfil de alteração, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS, bem como para a determinação dos principais elementos formadores de determinado solo (EMBRAPA, 2006).

As amostras foram coletadas para análise conforme a individualização dos horizontes, nas seguintes profundidades para cada perfil:

- Perfil 1 – Duas amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes Ap e B1: 20 e 180cm.
- Perfil 4 – Quatro amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes Ap, AB, BA e B: 20, 40, 70 e 120cm.
- Perfil 11– Cinco amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes A, AB, BA, B1 e B2 : 0-20, 40-50, 80-90, 110-120 e 180-190.
- Perfil 13 - Seis amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes Ap, B1, B2, B3, B4 e C1: 40-50, 60-70, 100-110, 140-150, 170-180 e 220-240cm.

As amostras foram preparadas no laboratório de Análises de Formações Superficiais da Unioeste – Francisco Beltrão e encaminhadas parte ao Laboratório de Análises de Solo, Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras e outra parte ao Laboratório de Análises de Solos UTFPR/IAPAR. As análises foram financiadas pelo Projeto Fundação Araucária Convênio 205/2012.

#### 4.3.4 Ataque sulfúrico

O princípio da análise de ataque sulfúrico baseia-se no tratamento da amostra de solo com ácidos fortes, no intuito de dissolver os minerais secundários constituintes das frações finas do solo, possibilitando a identificação e quantificação de seus elementos formadores (IBGE, 2007).

Tal amostragem permite a determinação das relações moleculares entre os constituintes de maior importância na mineralogia do solo: sílica/alumínio ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Ki}$ ) e sílica/óxidos de ferro e alumínio ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Kr}$ ), e assim avaliar o estágio de intemperização do solo (MONIZ, 1975; LEPSCH, 2011).

Foram realizadas análises das seguintes amostras e suas respectivas profundidades:

- Perfil 1 – Sete amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes AB, BA, B1, B2, BC, CB e C: 20-50, 50-80, 80-130, 130-180, 180-230, 230-300 e 300-460 cm.
- Perfil 4 – Cinco amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes AB, BA, B, BC e C: 40, 70, 120, 170, 220-300 cm.
- Perfil 11– Seis amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes AB, BA, B1, B2, e C: 30-40, 70-80, 120-130, 150-160, 190-200, 250-330 cm.
- Perfil 13 - Oito amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes Ap, B1, B2, B3, B4, C1 e C: 40-90, 90-160, 160-200, 200-250, 250-370, 370-410, 410-490 e 500-550 cm.

As amostras foram preparadas no laboratório de Análises de Formações Superficiais da Unioeste – Francisco Beltrão e encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo, Departamento de Ciência de Solo da Universidade Federal de Lavras. Estas análises foram financiadas pelo PROAP/CAPES – Programa de Pós Graduação em Geografia.

#### 4.3.5 Mineralogia da fração argila, silte e areia

Essa análise é utilizada para determinar os argilominerais produzidos pelo intemperismo, auxiliando, portanto, na identificação do grau de evolução dos minerais secundários (KER, 1998).

A técnica empregada para esta análise é a de difração de raios-X, pois além de identificar e determinar o grau de cristalinidade, do tamanho do cristal, quantifica também os minerais presentes na amostra. A área dos picos, em geral, estima-se a quantidade de determinado mineral (KER, 1998).

Foram realizadas análises das seguintes amostras e suas respectivas profundidades:

- Perfil 1 – Três amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes B1, B2 e C: 100, 150 e 200 cm.
- Perfil 4 – Duas amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta

respectivamente aos horizontes B e C: 130 e 270 cm.

- Perfil 11– Seis amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes AB, BA, B1, B2(topo), B2(base), e C: 30-50, 70-80, 110-120, 150-160, 170-180, 250-330 cm.
- Perfil 13 - Oito amostras analisadas nas seguintes profundidades de coleta respectivamente aos horizontes B1, B2, B3, B4(topo), B4(base), C1, C2(topo) e C2(base): 90-100, 180-190, 210-220, 260-270, 320-330, 370-410, 420-490 e 500-550 cm.

Todas as amostras foram preparadas no laboratório de Análises de Formações Superficiais da Unioeste – FB e em seguida as referente aos Perfis 1 e 4 foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná, financiadas com recursos próprios, enquanto as amostras Perfil 11 e Perfil 13 foram tratadas no Laboratório de Difractometria de raios X na Universidade Federal de Viçosa, com recursos provenientes do Projeto Fundação Araucária (Convênio 205/2012).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 AS SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E AS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS NA ÁREA DE ESTUDO

O relevo na área de estudo, tende a concentrar as maiores altitudes no compartimento leste, em direção à calha do Rio Chopinzinho, enquanto que as superfícies interplanálticas situadas nas menores cotas altimétricas encontram-se oeste (Figura 16).

A análise geral da paisagem em ambiente digital a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), gerado com dados altimétricos das cartas topográficas, apresentou na área de estudo 5 classes hipsométricas classificadas com equidistância de 100 m. Tais classes correspondem a 5 dos 8 remanescentes de superfícies aplainadas identificadas por Paisani *et al.* (2008).

Analizando o modelo digital de elevação, nas unidades geomorfológicas desse recorte, percebe-se que as superfícies foram fortemente dissecadas. Destaca-se a ação predominante dos tributários do sistema hidrológico do rio Chopinzinho, que apresentam direção geral da drenagem sul-norte (Figura 16). Uma pequena porção da área de estudo, localizada a sudoeste, é drenada por afluentes do rio Chapecó, estando os cursos d'água com sentido norte-sul (Figura 16).

Em relação às superfícies identificadas, verifica-se que em recorte com escala de detalhamento maior que a utilizada por Paisani *et al.* (2008), as superfícies em escadaria identificadas pelos autores, num primeiro momento, condizem com o relevo da área (Figura 14). De oeste para leste tem-se: Superfície VI - 2ª Superfície Interplanáltica (801-900m); Superfície V - 1ª Superfície Interplanáltica (901-1000m); Superfície IV - 2º Patamar Extenso (1001-1100m); Superfície III - 1º Patamar Extenso (1101-1200m) e Superfície II – Planaltos (1201-1300m).

No setor nordeste da área de estudo a superfície IV predomina com maior representatividade, recobrando maior parte do setor, com apenas algumas áreas isoladas representadas por remanescentes da superfície III (Figura 16). O relevo neste setor apresenta-se fortemente dissecado pela rede de drenagem dos rios Mangueirinha e Caldeiras, concentrando em cotas mais elevadas pequenos platôs com altitudes superiores a 1100 metros.

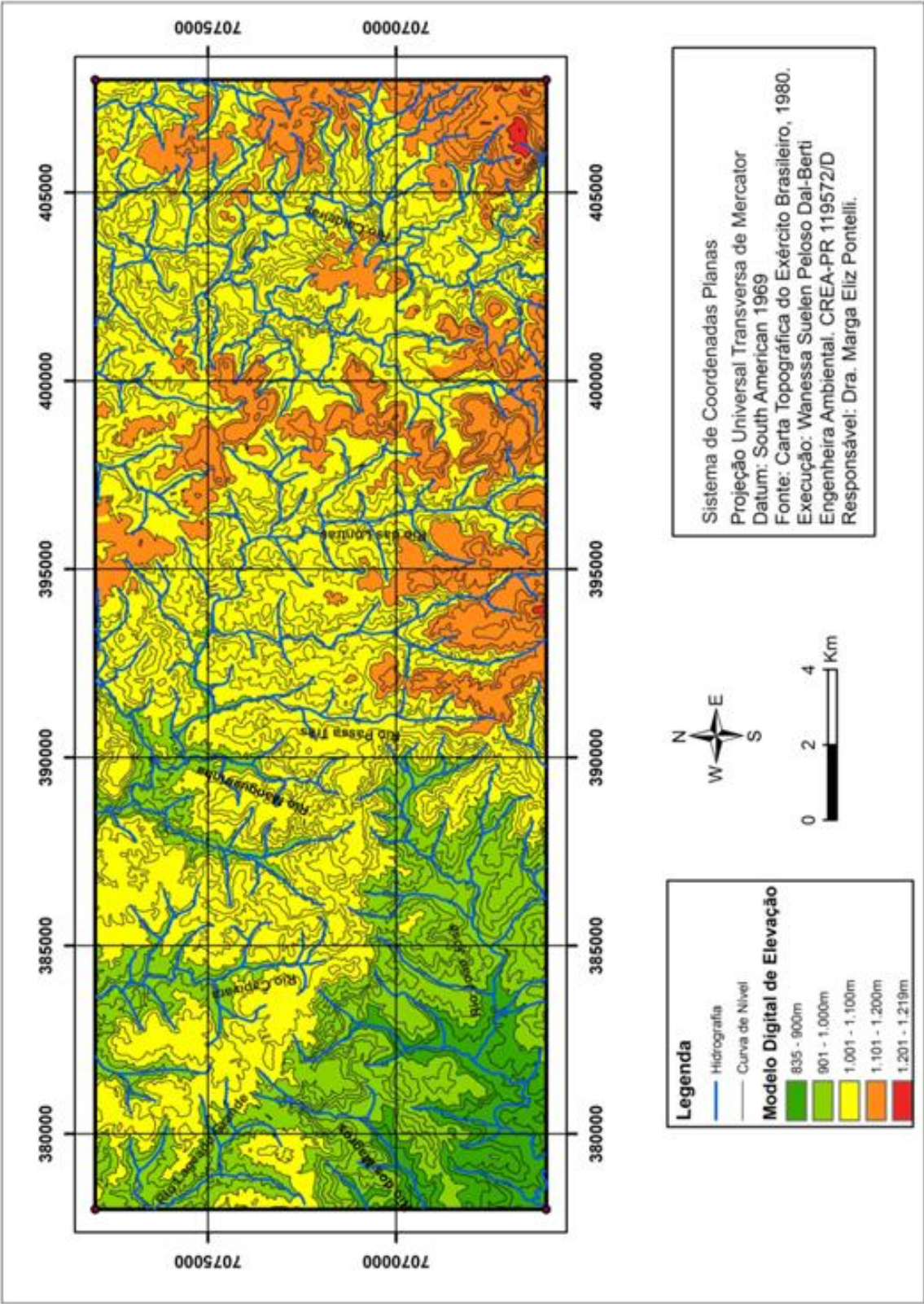


FIGURA 16. Modelo digital de elevação da área de estudo.

Já na porção sudeste o relevo é fortemente dissecado pela drenagem do rio Caldeiras (Figura 16), predominando remanescentes da superfície III recobrando a maior parcela da área de estudo. Também neste setor observam-se pequenos remanescentes de superfície II, restritos aos picos mais elevados cujas cotas altimétricas são superiores a 1.200 metros. A superfície IV mostra-se menos significativa em questão de espacialização do que no setor nordeste, apresentando-se como remanescentes em transição com a superfície III.

No setor sudoeste destaca-se o relevo dissecado pela rede de drenagem do rio João. É neste setor onde podem se encontrar remanescentes das superfícies interplanálticas VI e V. Estas superfícies recobrem a maior parcela do setor sudoeste da área de estudo, dando aos poucos lugar à superfície IV, o que mostra que o relevo tem suas cotas altimétricas aumentadas de oeste para leste.

O último compartimento, o setor noroeste mostra-se dissecado pela drenagem dos rios Lageado Grande, rio Capivaras e rio Mangueirinha. Neste setor predomina a superfície IV, com poucos remanescentes da superfície V restritos às áreas próximas aos cursos d'água.

No que diz respeito às superfícies geomórficas, o modelo digital de elevação mostra que a passagem de uma superfície para outra é gradual e não abrupta.

Os trabalhos de campo realizados no setor de estudo o qual engloba as superfícies II a VI, permitiram o cadastramento de 66 pontos de descrição/observação de materiais caracterizados como formações superficiais e rocha. Desse total de pontos, quatro foram selecionados como perfis de referência, dada sua representatividade no contexto das superfícies geomorfológicas. Os 62 pontos restantes foram utilizados como perfis de controle/observação, os quais permitiram pensar a distribuição de ocorrência das formações superficiais na área.

O registro das informações em campo permitiu a individualização de cinco setores na área de estudo, cujas formações superficiais mostraram-se semelhantes (Figura 15). O setor 1, localizado a noroeste da quadrícula de estudo, apresentou predominância de perfis de intemperismo com mais de 4 metros de espessura e solos bem desenvolvidos sobre rocha basáltica. O *solum* corresponde ao Latossolo Vermelho Distroférrico segundo Embrapa (2007). Nos pontos observados neste setor a elevação varia entre 1000 e 1100m, correspondendo à superfície geomórfica IV (Figura 17).

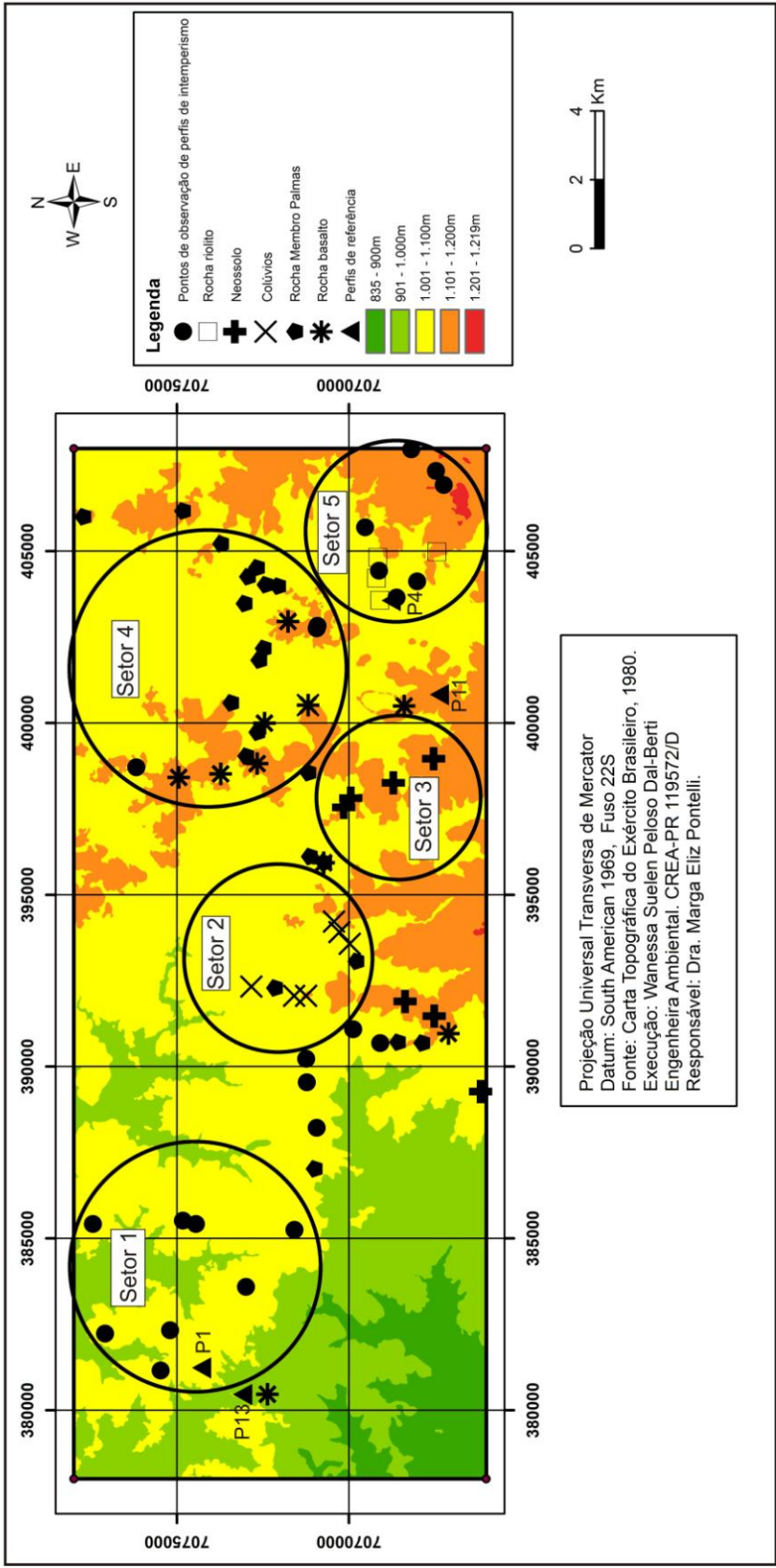


FIGURA 17. Espacialização das formações superficiais por setores.

Para leste da quadrícula, as formações superficiais mudam de autóctones, no Setor 1, para alóctones, com afloramentos de material coluvial comuns, permitindo a individualização do Setor 2. O substrato rochoso também varia, passando de basalto toleítico para rocha de cor mais avermelhada. Essa pode ser tanto basalto-andesítico da Formação Barracão – Membro Flor da Serra do Sul, como também riolito maciço da Formação Covó – Membro Palmas, que apresenta cor cinza avermelhado escuro (Mineropar, 2013). O Setor 2 se individualiza em setores cujas elevações estão entre 1000 e 1100m (Figura 15), superfície geomórfica IV.

No Setor 3 (Figura 17) predominam formações superficiais constituídas por Neossolos Litólicos Húmicos e Cambissolos Litólicos Húmicos (Embrapa, 2007), em relevo muito dissecado pela drenagem, com elevações variando entre 1100 e 1200 metros. Estas elevações do terreno correspondem a superfície geomórfica III (Figura 14).

O Setor 4 (Figura 17) caracteriza-se pelo predomínio de afloramentos rochosos que apresentam alternância entre basaltos da Formação Barracão (Membro Flor da Serra do Sul) e rochas da Formação Covó, tanto os riolitos do Membro Palmas, quanto os andesitos do Membro Guarapuava. Isso é possível porque ao norte da cidade de Palmas, o mapeamento da Mineropar (2013) mostra ocorrência de riolitos interdigitados com rochas do Membro Guarapuava. Entre os litotipos que compõem o membro Guarapuava estão os andesitos (Mineropar, 2013).

Já o Setor 5 (Figura 17) apresentou ocorrência de derrame ácido (riolito) como substrato rochoso, paralelo a perfis de intemperismo menos espessos e evoluídos que os descritos no Setor 1.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS DOS PERFIS DE REFERÊNCIA

Considerando a ocorrência de cinco superfícies geomorfológicas na área de estudo, quatro perfis de intemperismo foram adotados como de referência para este estudo (Figura 14), sendo eles: Perfil 13 (representativo da transição entre as superfícies V e IV), Perfil 1 (referência da superfície IV); Perfil 4 (representativo da transição entre as superfícies IV e III); Perfil 11 (referência da superfície III). Para

estes materiais foram obtidas as características macromorfológicas, químicas (macronutrientes e ataque sulfúrico) e mineralógicas (DRX).

### 5.2.1 Perfil de referência da superfície IV – Perfil 1

O perfil de alteração representante da superfície geomorfológica IV situa-se em corte de estrada secundária, nas proximidades da Fazenda Pagliosa, Município de Clevelândia (PR) (Figura 18).

A janela correspondente ao perfil mostrou 4 m e 60 cm de extensão vertical, incluindo *solum* e alterita. Destes 460 cm, 180 cm estão expostos em corte de estrada (Figura 18), o restante do perfil de alteração foi descrito através de tradagem manual com trado holandês.

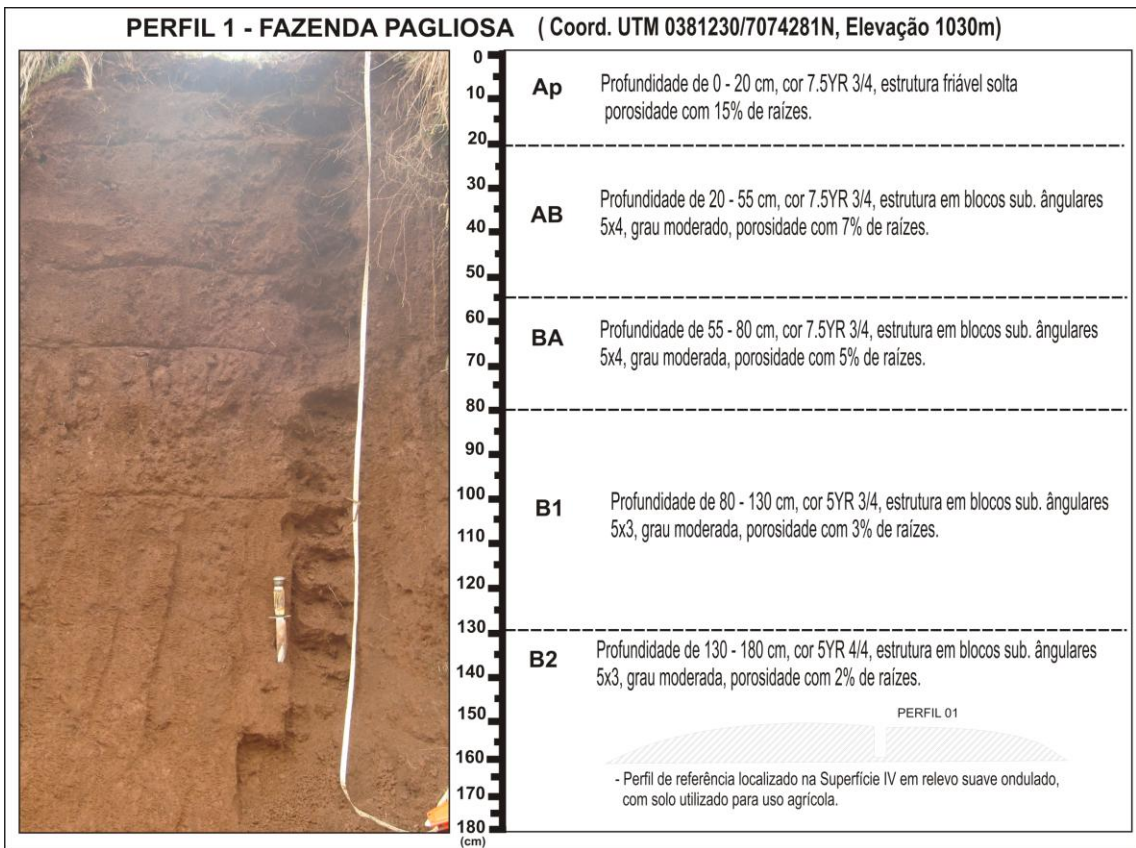


FIGURA 18. Perfil 1 – Aspecto do material exposto em corte de estrada e principais volumes identificados.

#### 5.2.1.1 Características macromorfológicas

As propriedades físicas do material descrito (Tabela 1), associado às características granulométricas (Figura 19), permitiram a individualização dos horizontes principais (A e B, com subdivisões), bem como horizontes transicionais (AB e BA).

A caracterização macromorfológica do volume mais superficial (0 a 20cm de profundidade), revelou material com estrutura friável, solta, tamanho pequeno e presença de 15% de raízes (Tabela 1). A cor apresenta-se como bruno escuro (7.5YR 3/4) quando seca, passando a bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2) quando úmida. A consistência mostra-se solta, tanto no material seco quanto úmido, sendo material ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. A relação da densidade das partículas e do solo mostra material com porosidade total de 64,73% (Tabela 1). Os percentuais granulométricos obtidos neste volume (75% de argila, 15% de silte e 10%) indicam textura muito argilosa (Figura 19). As características de posição superficial no perfil (Figura 18), associados aos atributos físicos (Tabela 1), remetem para horizonte A, do tipo Ap (Embrapa, 2006).

Tabela 1. Propriedades macromorfológicas do Perfil 1

| Horizonte | Prof (cm) | Cor        |           | Textura | Estrutura |       | Consistência |       |       |       | Ds   | Dp   | Porosidade Total (%) |
|-----------|-----------|------------|-----------|---------|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|------|------|----------------------|
|           |           | Seca       | Úmida     |         | Tipo      | Grau  | Seca         | Úmida | Plast | Pegaj |      |      |                      |
| Ap        | 0-20      | 7.5 YR 3/4 | 5 YR 3/2  | MA      | Sb.A      | Solta | S            | S     | LPI   | LP    | 0,85 | 2,41 | 64,73                |
| AB        | 20-55     | 7.5YR 3/4  | 2.5YR 3/3 | MA      | Sb.A      | Mod   | LD           | MF    | LPI   | LP    | 0,84 | 2,41 | 65,14                |
| BA        | 55-80     | 7.5YR 3/4  | 2.5YR 3/3 | MA      | Sb.A      | Mod.  | LD           | MF    | LPI   | LP    | 0,84 | 2,32 | 63,79                |
| Bt1       | 80-130    | 7.5YR 3/4  | 2.5YR 3/3 | MA      | Bl.P      | Mod.  | D            | MF    | LPI   | LP    | 0,9  | 2,46 | 63,41                |
| Bt2       | 130-180   | 5 YR 3/4   | 5YR 3/3   | MA      | Sb.A      | Forte | LD           | MF    | LPI   | LP    | 0,87 | 2,77 | 68,59                |
| BC        | 180-230   | 5YR 3/4    | 2.5YR 3/3 | MA      | Sb.A      | Mod.  | D            | MF    | LPI   | LP    | 0,9  | 2,39 | 62,34                |
| CB        | 230-300   | 5 YR 4/4   | 2.5YR 3/2 | MA      | Sb.A      | Mod.  | D            | MF    | LPI   | LP    | -    | -    | -                    |
| C1        | 300-320   | 5YR 3/4    | 2.5YR 3/2 | MA      | Sb.A      | Mod.  | LD           | MF    | LPI   | LP    | -    | -    | -                    |
| C2        | 320-400   | 2.5 YR 3/6 | 2.5YR 3/3 | S       | Sb.A      | Mod.  | D            | MF    | LPI   | LP    | -    | -    | -                    |

MA: muito argilosa; A: argilosa; MD: média; S: siltosa; Sb.A: blocos subangulares; Bl.P: Blocos Prismáticos; Mod: moderada; M: macia; LD: ligeiramente dura; D: Dura; MD: muito dura; S: solta; Fr: friável; MF: muito firme NPI: não plástica; LPI: ligeiramente plástica; LP: Ligeiramente pegajosa.

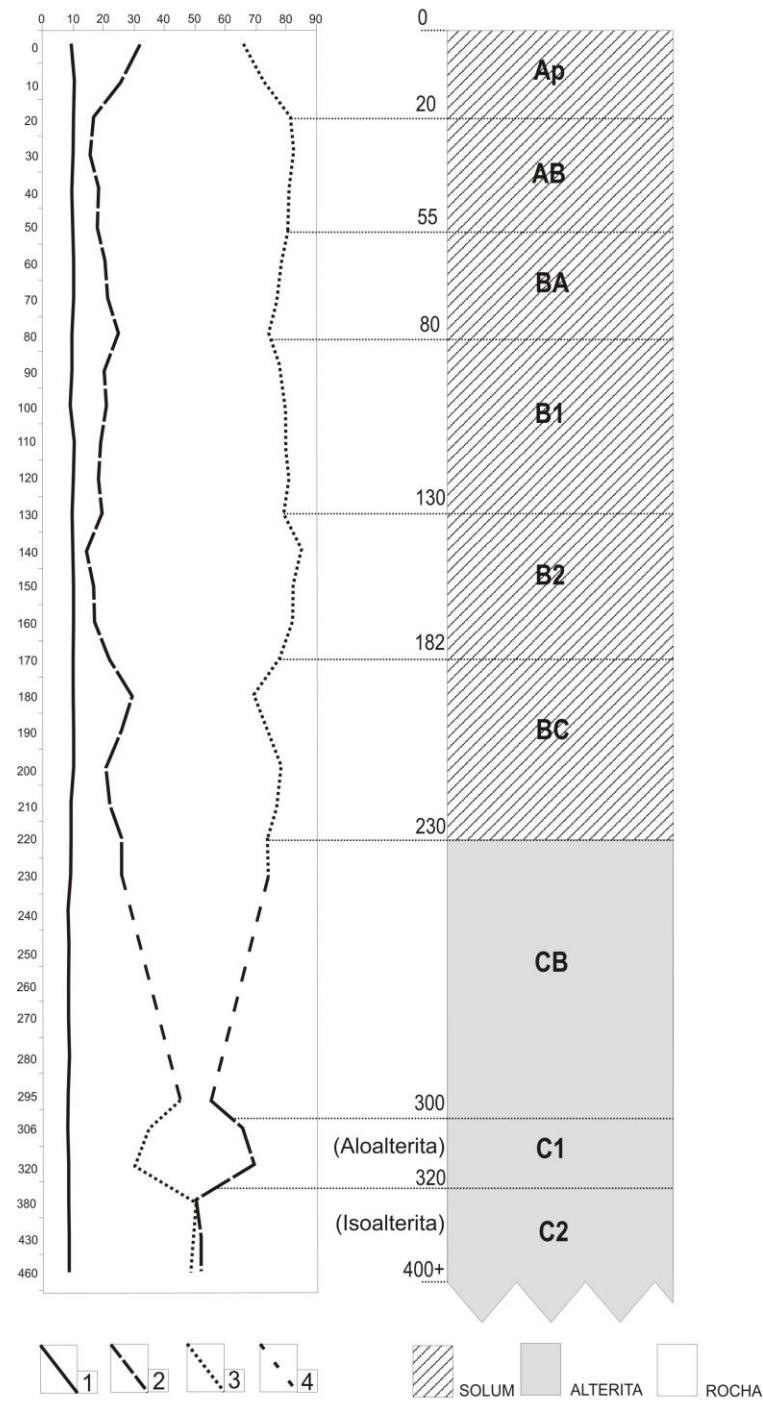


FIGURA 19. Perfil 1 distribuição granulométrica e representação esquemáticas dos horizontes (1.areia, 2.Silte, 3.Argila, 4. Lacuna sem amostragem).

O segundo volume, de 20 a 55 cm de profundidade, apresenta variação nas características físicas se comparado ao material entre 0 e 20cm (Tabela 1). A estrutura apresenta-se em blocos subangulares de grau moderado, e a consistência passa de ligeiramente dura, quando seca, a muito firme quando úmida. A cor apresenta-se como bruno escuro (7.5YR 3/4) quando seca, passando a bruno

avermelhado escuro (2.5 YR 3/3) quando úmida. As características granulométricas do volume 2 (Figura 19), mostram teor de argila com ligeiro acréscimo, passando a percentual de 80%, enquanto que o silte decresce para 10%, e o teor de areia se mantém em torno de 10%.

A porosidade total de 65,14% do volume entre 20 a 55 cm, associado à concentração de 7% de raízes e a estrutura em blocos sub angulares, indicam que este volume é de transição entre A e B, portanto horizonte AB (EMBRAPA, 2006).

O material subjacente, entre 55 a 80 cm de profundidade, mostra propriedades próximas às do horizonte AB, porém com diminuição da concentração de raízes para 5%, bem como da porosidade total para 63,79% (Tabela 1). As características granulométricas neste volume indicam leve decréscimo de 80% para 76% de argila, enquanto o teor de silte aumenta de 10% para 14%. O percentual de areia se mantém constante, em torno de 10% (Figura 18). O decréscimo dos percentuais de raízes e porosidade total permite caracterizar este material como horizonte BA (Tabela 1; Figuras 18 e 19).

Entre 80 e 180 cm de profundidade individualizam-se dois volumes, 4 e 5 (Figura 16), cujas características indicam material correspondente a horizonte B, subdividido em B1 e B2. Entre 80 e 130 cm individualiza-se horizonte B1 com material que apresenta estrutura em blocos prismáticos, de grau forte e consistência dura, quando seco (Tabela 1). Neste volume as raízes ocorrem em apenas 3%. De 130 a 180 cm registra-se variação da cor para mais vermelha (5YR 3/4), e da estrutura passando a blocos subangulares, de grau moderado a forte. A textura mantém-se muito argilosa em toda extensão do horizonte B (Figura 19).

A partir de 180 cm observa-se diminuição sutil da porosidade e presença de litorelíquias na cor 10YR 5/8. A granulometria também apresenta variação, com leve aumento de silte e diminuição de argila (Figura 19), embora ainda se constitua com textura muito argilosa. Essas características indicam se tratar de material de transição entre os horizontes B e C, ou seja, horizonte BC.

Em 230 cm o percentual de litorelíquias aumenta para 2% e sua cor varia para 10YR 4/8. Estas características mostram horizonte transicional CB.

A partir de 300 cm de profundidade o material apresenta textura siltosa, alteração na cor para mais clara e consistência dura (Tabela 1), indicando horizonte C (Figura 19). Inicialmente o material do horizonte C mostra-se como aloalterita (C1), passando a isoalterita (C2) a partir de 320 cm de profundidade.

### 5.2.1.2 Características químicas: macronutrientes e ataque sulfúrico

A análise química de rotina foi realizada em materiais representantes dos horizontes Ap e B1, visando a determinação dos macronutrientes para fins de classificação do solo (EMBRAPA, 2006).

Os valores da análise química de rotina indicam solo com pH menor que 4,3 (Tabela 2), considerado extremamente ácido pelos critérios da Embrapa (2006). Dentre os cátions básicos (Ca, Mg, Na e K), observa-se comportamento geral de diminuição em profundidade, com destaque para os teores mais elevados de magnésio (Mg) no horizonte Ap (Tabela 2). Aliás, a diminuição em profundidade é observada em todos os parâmetros obtidos da química de rotina, a exceção do alumínio (Al) e, respectivamente, do percentual de alumínio - m (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 1.

| Hor        | Prof.<br>(cm) | M.O.<br>(gdm <sup>-3</sup> ) | pH  | K                  | P    | Ca   | Mg                   | Al   | SB   | CTC<br>(t)            | CTC<br>pH 7 | V    | m     |
|------------|---------------|------------------------------|-----|--------------------|------|------|----------------------|------|------|-----------------------|-------------|------|-------|
|            |               |                              |     | mg/dm <sup>3</sup> |      |      | cmol/dm <sup>3</sup> |      |      | cmolc/dm <sup>3</sup> |             | %    |       |
| <b>Ap</b>  | 0-20          | 28,14                        | 3,9 | 0,10               | 3,28 | 0,30 | 1,40                 | 2,05 | 1,80 | 3,85                  | 11,5        | 15,6 | 53,25 |
| <b>Bt1</b> | 80-130        | 24,12                        | 3,9 | 0,03               | 1,32 | 0,20 | 0,20                 | 2,27 | 0,43 | 2,70                  | 9,43        | 4,56 | 84,07 |

Hor = horizontes; Prof = profundidade; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; CTC(t) = capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

A capacidade de troca catiônica do solo menor do que 27 cmolc/dm<sup>3</sup> indica presença de argila de atividade baixa (Tb), associado a presença de minerais secundários tipo caulinita, óxidos de ferro e de alumínio (Curi e Kampf, 2012). Os valores de saturação por bases (V%) são baixos, indicando caráter distrófico do solo. O índice de saturação por alumínio cresce em profundidade, mantendo-se acima de 50% em ambos os horizontes, o que caracteriza caráter aluminico desse solo (Embrapa, 2006).

Os dados observados na análise química dos macronutrientes (Tabela 2) indicam tratar-se de materiais com estágio avançado de intemperismo, atendendo as especificações químicas mínimas para classificar solos muito evoluídos quimicamente, por exemplo, Latossolos. No entanto, quando se analisa os atributos físicos do horizonte B, verifica-se organização pedológica apresentando estrutura

em blocos prismáticos de grau forte e consistência dura quando seco, passando a subangular, de grau moderado a forte (Tabela 1). Essa característica de estrutura exclui a caracterização de Latossolos, indicando tratar-se de Nitossolo Bruno Distrófico, caráter alumínico (EMBRAPA, 2006), apesar de não ter sido registrado cerosidade comum.

Para melhor caracterização do grau de alteração dos materiais no perfil de alteração foi realizada análise total das argilas pelo ataque sulfúrico. Desta análise são obtidos os teores dos elementos mais comumente encontrados na composição química da fração argila do solo ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{FeO}_3$ ). Desses teores totais se obtém os índices de intemperismo a partir das relações moleculares  $K_i$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e  $K_r$  ( $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ ) (MONIZ, 1975; LEPSCH, 2011; CURI & KAMPF, 2012).

Observa-se no perfil de alteração 1 valores de  $K_i < 1,5$ , diminuindo em profundidade e com valores mínimos registrados nos horizontes transicionais BC e CB (Tabela 3). Esses valores apontam para predomínio da caulinita ( $K_i \geq 0,75$ ) em detrimento da gibbsita ( $K_i \leq 0,75$ ) (CURI & KAMPF, 2012). No horizonte C, o  $K_i$  sugere a presença de argilominerais do grupo da esmectita (MONIZ, 1975).

Ao longo de todo o perfil observa-se valores de  $K_r \geq 0,75$ , indicando materiais cauliniticos (MELLO *et al.*, 2009). Os teores de óxidos de ferro do perfil variam de 22 a 24% (Tabela 3), interpretado pela Embrapa (1999) como alto teor de ferro. Solos com teores de óxidos de ferro entre 18 e 36% são definidos como férricos (EMBRAPA, 1999).

Tabela 3. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo Perfil 1.

| Hor | Prof. (cm) | $\text{SiO}_2$ % | $\text{Al}_2\text{O}_3$ % | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ % | $\text{TiO}_2$ % | $\text{P}_2\text{O}_5$ % | $K_i$ | $K_r$ |
|-----|------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|-------|-------|
| AB  | 20-50      | 20,31            | 23,97                     | 22,43                     | 4,680            | 0,144                    | 1,44  | 0,90  |
| BA  | 55-80      | 19,98            | 24,41                     | 23,62                     | 5,196            | 0,166                    | 1,39  | 0,86  |
| B1  | 80-130     | 20,75            | 24,37                     | 22,77                     | 4,968            | 0,138                    | 1,45  | 0,91  |
| B2  | 130-180    | 21,02            | 25,45                     | 22,11                     | 4,965            | 0,130                    | 1,40  | 0,90  |
| BC  | 180-230    | 20,50            | 26,41                     | 23,77                     | 6,273            | 0,136                    | 1,32  | 0,84  |
| CB  | 230-300    | 18,73            | 26,03                     | 24,52                     | 1,761            | 0,134                    | 1,22  | 0,76  |
| C   | 300-460    | 29,45            | 22,34                     | 23,43                     | 4,626            | 0,098                    | 2,24  | 1,34  |

No conjunto, os resultados da análise de ataque sulfúrico remetem a material altamente intemperizado, podendo ser classificado segundo critérios da Embrapa (2006) como Nitossolo Bruno Distroférico Alumínico. Apesar disso, é curioso o comportamento geral de diminuição em profundidade de ambos os índices, o que indicaria maior alteração nos horizontes transicionais BC e CB, em contrapartida aos horizontes superiores. Teoricamente, em perfil que tenha evoluído em profundidade, de maneira gradativa ao longo do tempo, seria de esperar que os materiais dos horizontes mais superficiais apresentassem valores indicando maior desenvolvimento químico e pedogenético.

#### 5.2.1.3 Características mineralógicas

No perfil de alteração 1 foram submetidas amostras de materiais representativas dos principais horizontes (B1, B2 e C) para análise mineral qualitativa por difratometria de raios-X de argila. Realizando-se as determinações do pó total prensado e o tratamento para identificação de argilominerais (natural, aquecida a 550°C e solvatada com etilenoglicol).

Ao longo do perfil registra-se presença do mineral primário tipo quartzo (Figura 20; Apêndice A). Entre os minerais secundários aparecem aluminossilicatos tipo 1:1 – caulinita e possível presença de 2:1 – vermiculita. Entre os óxido-hidróxidos, ocorrem os de ferro – hematita e goethita; ferro-titânio – ilmenita, como possível presença; alumínio – gibbsita e de titânio – anatásio (Figura 18; Apêndice A).

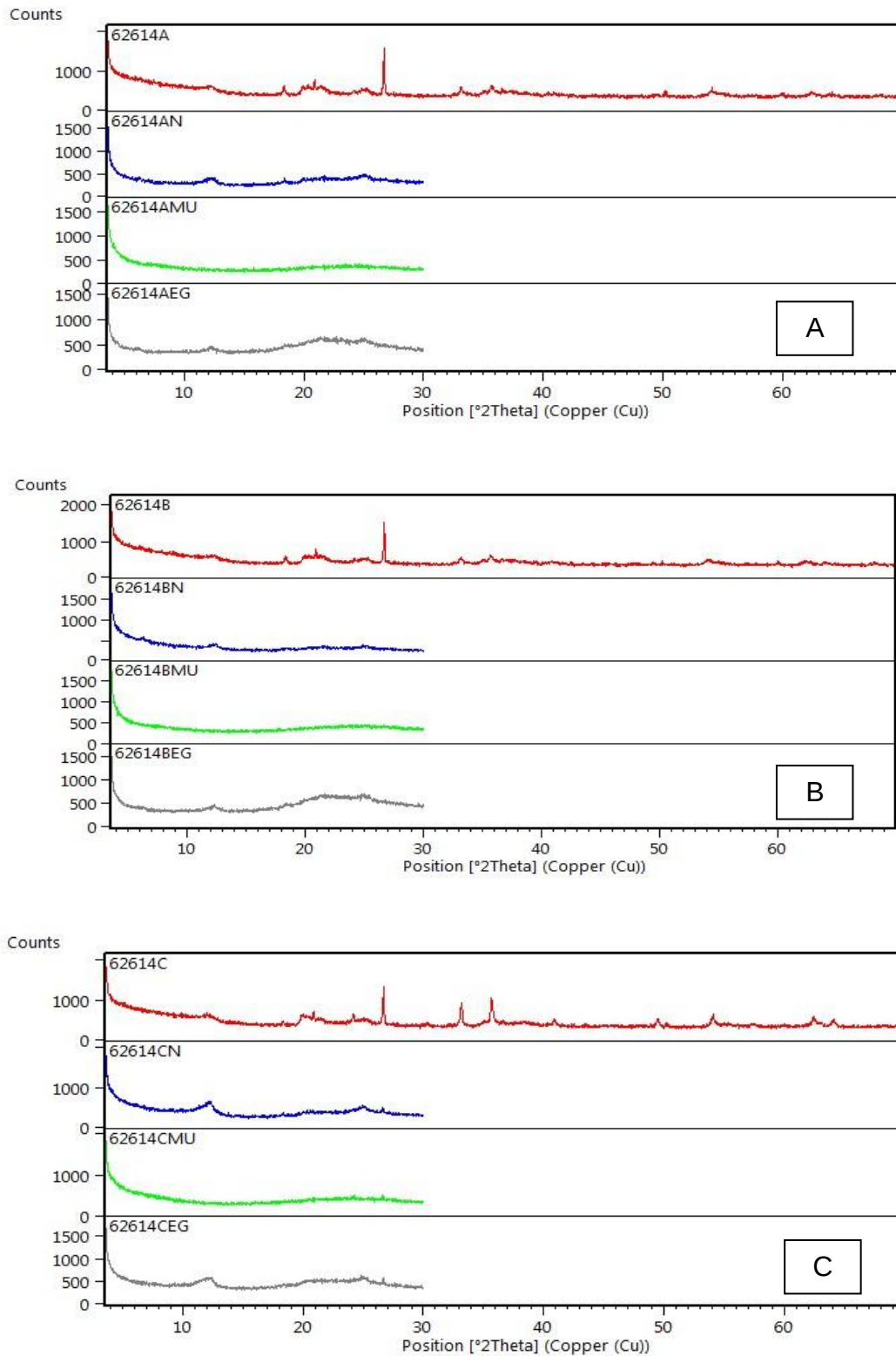


FIGURA 20. Mineralogia dos principais horizontes do perfil de alteração 1 (A= horizonte B1; B= hrizonte B2; C= horizonte C).

A composição mineralógica revelada pela análise mineral qualitativa por difratograma de raios-x corresponde ao agrupamento de minerais comuns registrados em perfis de alteração com estágio avançado do intemperismo químico, apesar da possível presença de argilominerais do grupo dos 2:1 - vermiculita. Vermiculitas são minerais secundários que apresentam grande resistência ao intemperismo, sendo muito registrada na matéria mineral de Latossolos Brunos do Planalto Meridional Brasileiro a partir da alteração de feldspatos (AZEVEDO & VIDAL TORRADO, 2009). A coexistência de vermiculitas com a gibbsita é atribuída à maior quantidade de hidróxido de alumínio presente em ambiente subtropical (RESENDE *et al.*, 2005).

#### 5.2.2 Perfil representativo da transição entre as superfícies IV e III – Perfil 4

O perfil de alteração selecionado como transição entre as superfícies geomórficas IV e III situa-se em corte de estrada secundária, nas proximidades da Cerealista Coamo, sítio urbano de Palmas (PR). A janela correspondente ao perfil apresenta 300 cm de extensão vertical, incluindo *solum* e alterita, sendo que a real extensão da alterita pode ser maior, considerando não ter sido possível atingir o contato com a rocha sã. Destes 300 cm, 220 cm estão expostos em corte de estrada, o restante do material foi descrito através de tradagem utilizando-se trado holandês (Figura 21).

##### 5.2.2.1 Características macromorfológicas

Através das características físicas (Tabela 4) e granulométricas (Figura 21), foi possível individualizar os seguintes horizontes principais (A, B e C), bem como os horizontes transicionais (AB, BA, BC e CB).

O horizonte A, com 25 cm de espessura (Figura 21), apresenta cor preta (10YR 2/1), estrutura em blocos subangulares de grau fraco, presença de 40% de raízes e porosidade total de 64,5% (Tabela 4). A textura define-se como média (49% de argila, 46% de silte e 5% de areia). A transição para o horizonte subjacente é clara, pela cor e estrutura (Tabela 4; Figura 21).

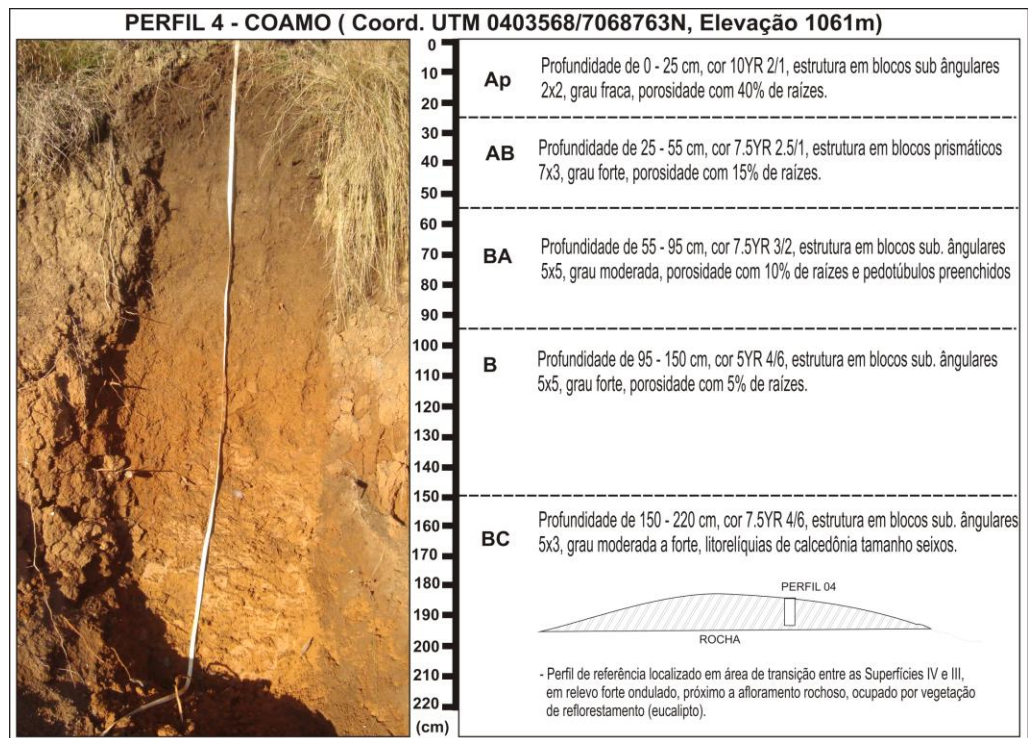


FIGURA 21. Aspecto geral do perfil 4 e principais características físicas.

Entre 25 a 55 cm de profundidade individualiza-se horizonte de transição AB, de cor preta (7.5YR 2.5/1), estrutura de blocos prismáticos com grau forte e porosidade de 58% (Tabela 4). Neste volume, a textura passa muito argilosa (Figura 20). A cor e a mudança de estrutura marcam transição clara para o horizonte BA (Figura 21).

Os materiais no horizonte BA (55 a 95 cm) apresentam cor bruno escuro (7.5YR 3/2), estrutura em blocos subangulares de grau moderado, textura muito argilosa e porosidade de 60,8% (Tabela 4). Registra-se, neste volume, presença de pedotúbulos preenchidos (Figura 23). A transição para o volume subjacente é clara, pela cor e textura.

No horizonte B a cor é bruno avermelhado (5YR 4/6), a estrutura em blocos subangulares apresenta grau forte e a porosidade fica em 55,4%. A textura passa a argilosa (Tabela 4; Figura 22). Transição gradual para o horizonte BC pela cor (Figura 21).

O horizonte BC apresenta estruturação em blocos subangulares de grau moderado a forte, cor bruno forte (7.5YR 4/6) e textura média (Tabela 4). Registra-se presença de litorrelíquias de calcedônia tamanho seixos, sugerindo registro de

drame ácido a intermediário.. Transição gradual para o horizonte CB pela cor e textura.

Tabela 4. Propriedades macromorfológicas do Perfil 4.

| Horizonte | Prof<br>(cm) | Cor         |              | Textura | Estrutura |       | Consistência |       |       |       | Ds   | Dp   | Pt<br>(%) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|---------|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|------|------|-----------|
|           |              | Seca        | Úmida        |         | Tipo      | Grau  | Seca         | Úmida | Plast | Pegaj |      |      |           |
|           |              |             |              |         |           |       |              |       |       |       |      |      |           |
| A         | 0-25         | 10YR 2/1    | 10YR 2/3     | MD      | Sb.A      | Fraco | LD           | S     | NPI   | NP    | 0,67 | 1,89 | 64,55     |
| AB        | 25-55        | 7.5YR 2.5/1 | 7.5 YR 2.5/3 | MA      | Bl.P      | Forte | LD           | S     | LPI   | NP    | 0,91 | 2,15 | 57,67     |
| BA        | 55-95        | 7.5YR 3/2   | 7.5 YR 2.5/3 | MA      | Sb.A      | Mod.  | LD           | Fr    | LPI   | LP    | 0,85 | 2,17 | 60,82     |
| B         | 95-150       | 5YR 4/6     | 5YR 3/4      | A       | Sb.A      | Forte | LD           | Fr    | LPI   | LP    | 0,99 | 2,22 | 55,4      |
| BC        | 150-220      | 7.5YR 4/6   | 5YR 3/4      | MD      | Sb.A      | Forte | LD           | Fr    | LPI   | LP    | 0,98 | 2,37 | 58,64     |
| CB        | 220-240      | 5YR 4/6     | 5YR 4/6      | A       | Sb.A      | Mod.  | D            | MF    | LPI   | LP    | -    | -    | -         |
| C         | 240-300      | 5YR 5/6     | 5YR 4/6      | S       | Sb.A      | Mod.  | MD           | MF    | PI    | LP    | -    | -    | -         |

MA: muito argilosa; A: argilosa; MD: média; S: siltosa; Sb.A: blocos subangulares; Bl. P: blocos prismáticos; Mod: moderada; M: macia; LD: ligeiramente dura; D: Dura; MD: muito dura; S: solta; Fr: friável; MF: muito firme NPI: não plástica; LPI: ligeiramente plástica; PI: Plástica; NP: não pegajosa; LP: Ligeiramente pegajosa.

MA: muito argilosa; A: argilosa; MD: média; S: siltosa; Sb.A: blocos subangulares; Bl. P: blocos prismáticos; Mod: moderada; M: macia; LD: ligeiramente dura; D: Dura; MD: muito dura; S: solta; Fr: frável; MF: muito firme NPI: não plástica; LPI: ligeiramente plástica; PI: Plástica; NP: não pegajosa; LP: Ligeiramente pegajosa.

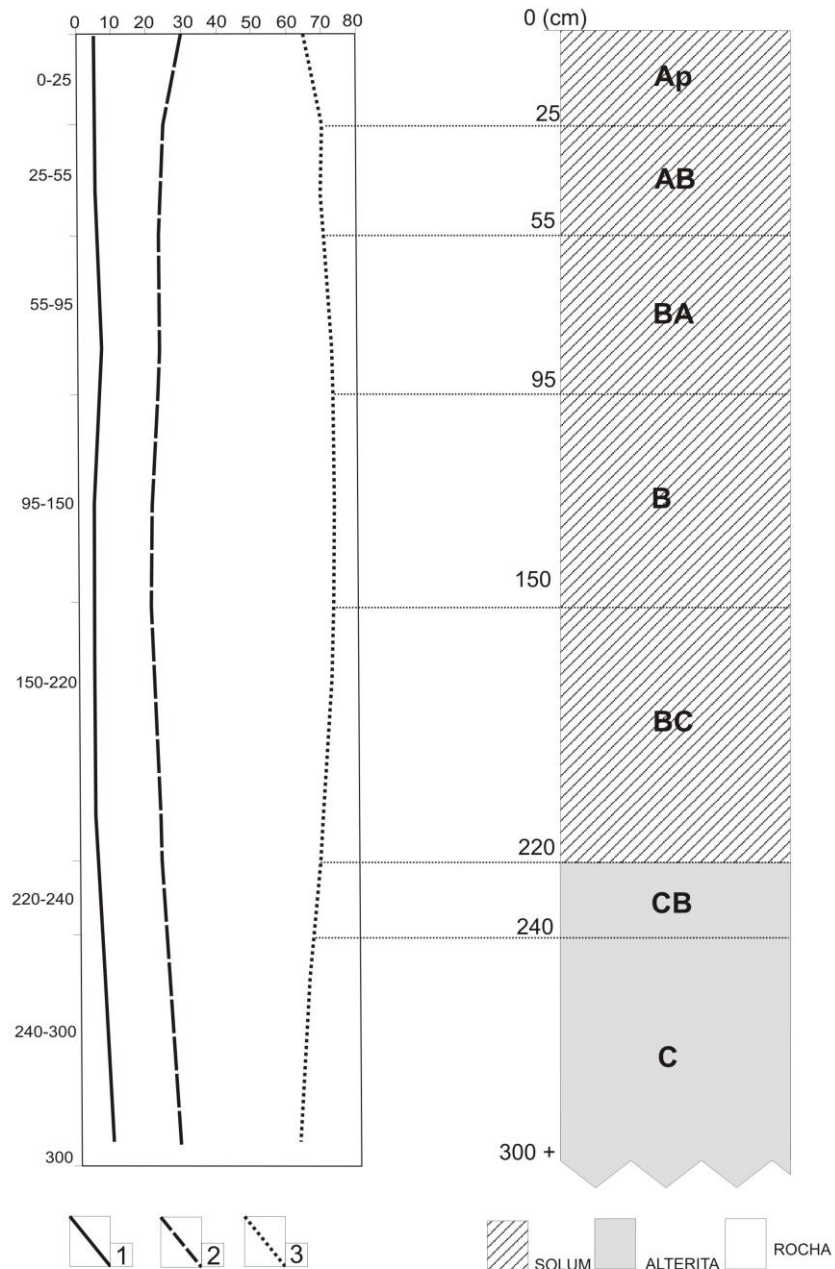


FIGURA 22. Perfil 4 distribuição granulométrica e representação esquemática. (1: Areia; 2: Silte; 3: Argila).

Entre 220-240 cm de profundidade o horizonte CB mostra-se com cor bruno avermelhado (5YR 4/6), textura argilosa e estrutura subangular moderada (Tabela 4).

A partir de 240 cm de profundidade a cor tende a ficar mais clara em profundidade, vermelho amarelado (5YR 5/6), e a textura siltosa, típica de horizonte C (Tabela 4).



FIGURA 23. Aspecto de pedotúbulo preenchido no perfil de alteração 4.

#### 5.2.2.2 Características químicas: macronutrientes e ataque sulfúrico

As determinações dos macronutrientes para os materiais do perfil de alteração 04 foram realizadas para as seguintes profundidades: 0-25, 25-55, 55-95 e 95-150 cm, correspondentes aos horizontes A, AB, BA e B, respectivamente (Figuras 21 e 22).

A análise química revela material com pH variando entre 4,3 – 5,0 (Tabela 5), classificado como fortemente ácido (EMBRAPA, 2006). Solos com acidez elevada tendem a apresentar redução em bases (EMBRAPA, 2010), como é possível perceber no material analisado, cuja soma das bases trocáveis (SB) é muito baixa, aproximadamente 0,22 cmolc/dm<sup>3</sup> (Tabela 5). Esta baixa quantidade de bases disponíveis no perfil revela saturação por bases (V%) que varia de 0,58%, no volume superficial (0-25 cm), aumentando gradativamente até o máximo de V%=1,24% no horizonte B (95-150 cm).

Baixos índices de saturação por bases indicam pequenas quantidades de cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ ) saturando as cargas negativas dos colóides, e que a maioria delas está sendo neutralizada por  $\text{H}^{+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ . Estas características permitem classificar o solo como Distrófico ( $\text{V}\% \leq 50\%$ ) (EMBRAPA, 2006).

Tabela 5. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 4.

| Hor | Prof.<br>(cm) | pH  | K                  | P    | Ca                   | Mg   | Al   | SB                    | CTC<br>(t) | CTC<br>pH 7 | V    | m     |
|-----|---------------|-----|--------------------|------|----------------------|------|------|-----------------------|------------|-------------|------|-------|
|     |               |     | mg/dm <sup>3</sup> |      | cmol/dm <sup>3</sup> |      |      | cmolc/dm <sup>3</sup> |            | %           |      |       |
| A   | 0-25          | 4,5 | 22                 | 2,91 | 0,10                 | 0,06 | 4,40 | 0,22                  | 4,62       | 37,51       | 0,58 | 95,24 |
| AB  | 25-55         | 4,7 | 14                 | 1,71 | 0,10                 | 0,10 | 3,90 | 0,24                  | 4,14       | 24,15       | 0,98 | 94,20 |
| BA  | 55-95         | 4,9 | 8                  | 1,71 | 0,10                 | 0,10 | 3,70 | 0,22                  | 3,92       | 24,13       | 0,91 | 94,39 |
| B   | 95-150        | 5,0 | 6                  | 2,00 | 0,10                 | 0,10 | 2,70 | 0,22                  | 2,92       | 17,35       | 1,24 | 92,47 |

Hor = horizonte; Prof = profundidade; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; CTC(t)= capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; P-Rem= fósforo remanescente

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo diminui gradativamente nos volumes subsuperficiais, sendo no geral menores que 25 cmolc/dm<sup>3</sup> (Tabela 5). Valores de CTC menores que 27 cmolc/dm<sup>3</sup> indicam presença de argila de atividade baixa (Tb) nesses volumes, associado a presença de minerais secundários tipo caulinita, óxidos de ferro e de alumínio (Curi e Kampf, 2012). O índice de saturação por alumínio é alto, estando acima dos 90% em todo o perfil, o que indica caráter alumínico desse solo (Embrapa, 2006).

Os macronutrientes presentes no solo do perfil 04 (Tabela 5) indicam estágio de intemperismo evoluído, ainda que se registre espessura do horizonte B (55 cm) menor do que a espessura do BC (70 cm) (Figura 22). Apesar disso, as características observadas atendem aos requisitos mínimos para Latossolo Bruno Distrófico, caráter alumínico (EMBRAPA, 2006).

A análise total das argilas pelo ataque sulfúrico mostra valores de Ki e Kr diminuindo gradativamente em profundidade (Tabela 6). Tanto os valores de Ki ≥ 0,75, como os de Kr > 0,75, sugerem presença de caulinita na matéria mineral do solo (Curi e Kampf, 2012).

Tabela 6. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo Perfil 4.

| Hor | Prof. (cm) | %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> | Ki   | Kr   |
|-----|------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------|------|------|
| AB  | 25-55      | 21,55             | 20,90                           | 11,71                            | 3,852             | 0,136                           | 1,75 | 1,29 |
| BA  | 55-95      | 23,32             | 24,20                           | 11,28                            | 3,921             | 0,134                           | 1,64 | 1,26 |
| B   | 95-150     | 23,20             | 24,21                           | 12,45                            | 3,816             | 0,142                           | 1,63 | 1,23 |
| BC  | 150-220    | 24,28             | 25,36                           | 12,77                            | 4,113             | 0,134                           | 1,63 | 1,23 |
| C   | 220-300    | 22,27             | 27,89                           | 14,06                            | 3,981             | 0,148                           | 1,36 | 1,03 |

### 5.2.2.3 Características mineralógicas

As características mineralógicas dos materiais do perfil 4 foram obtidas para os volumes B, a 130 cm de profundidade, e C (270 cm), realizando-se as determinações do pó total prensado e o tratamento para identificação de argilominerais (natural, aquecida a 550°C e solvatada com etilenoglicol).

Na matéria mineral correspondente ao horizonte B registra-se presença de mineral primário quartzo (Figura 24 e Apêndice B). Entre os minerais secundários ocorrem aluminossilicatos tipo 1:1 – caulinita e 2:1 – vermiculita, como possível presença. Ainda aparecem óxidohidróxidos de alumínio – gibbsita e de titânio – anatásio (Figura 24 e Apêndice B).

A mineralogia presente no material do horizonte C não varia em relação ao que predomina no horizonte B, exceto pela ausência do óxido de titânio – anatásio (Figura 24 e Apêndice B). Observa-se neste horizonte presença de picos de caulinita que indicam melhor cristalização desse mineral se comparados aos picos registrados para o horizonte B (Figura 24 e Apêndice B).

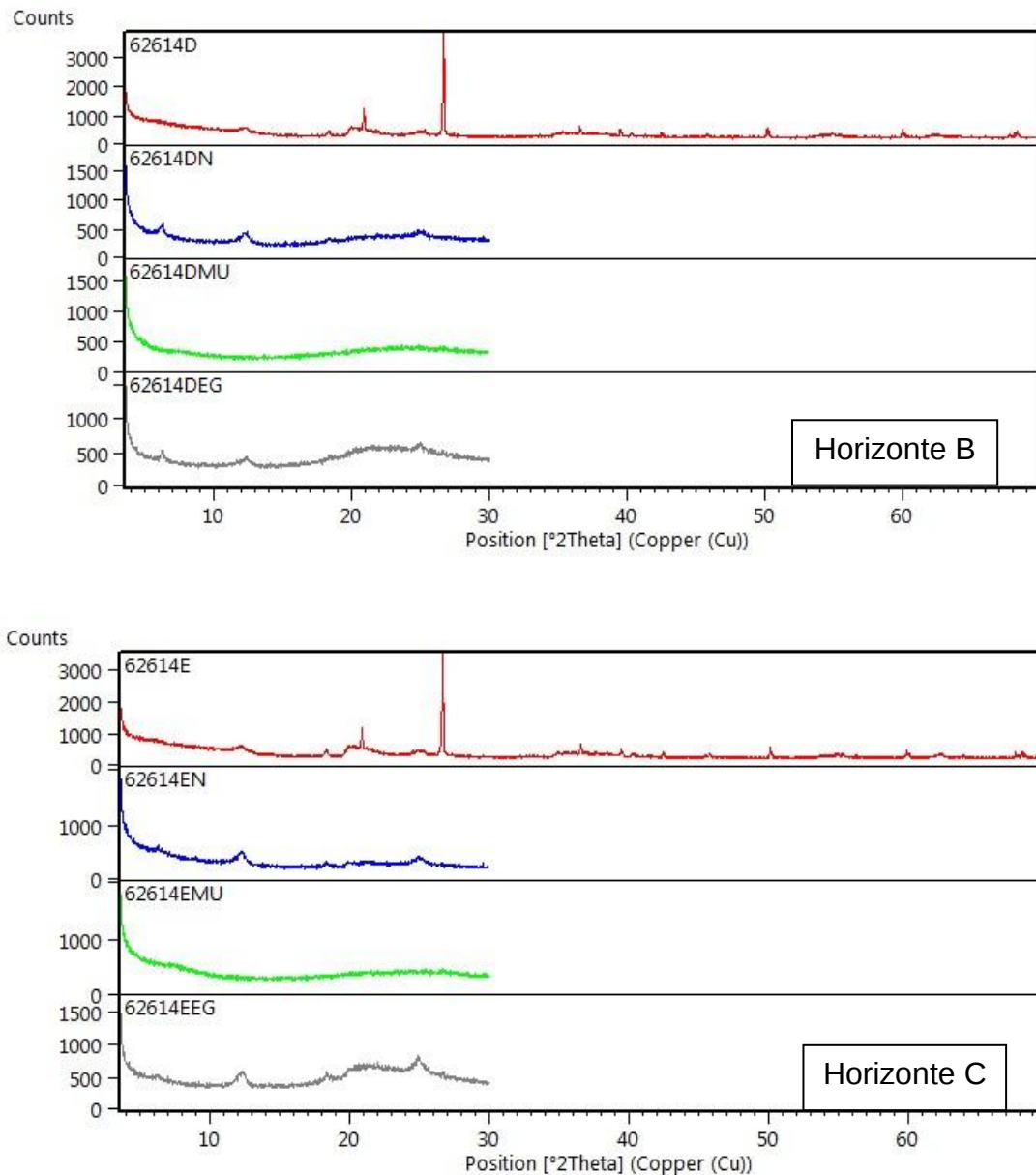


FIGURA 24 – Mineralogia do perfil de alteração 4.

### 5.2.3 Perfil de referência representativo da superfície III – P11

O perfil de alteração descrito na superfície III (Perfil 11) situa-se no interior de propriedade particular onde funciona uma transportadora, próxima ao sítio urbano de Palmas (PR). A janela correspondente ao perfil apresentou 330 cm de extensão vertical, incluindo *solum* e alterita. A extensão real da alterita pode ser maior, considerando não ter sido atingido o contato com a rocha sã. Destes 330 cm de

perfil de alteração, 250 cm estão expostos no talude, o restante do material foi descrito através de tradagem utilizando-se trado holandês (Figura 25).

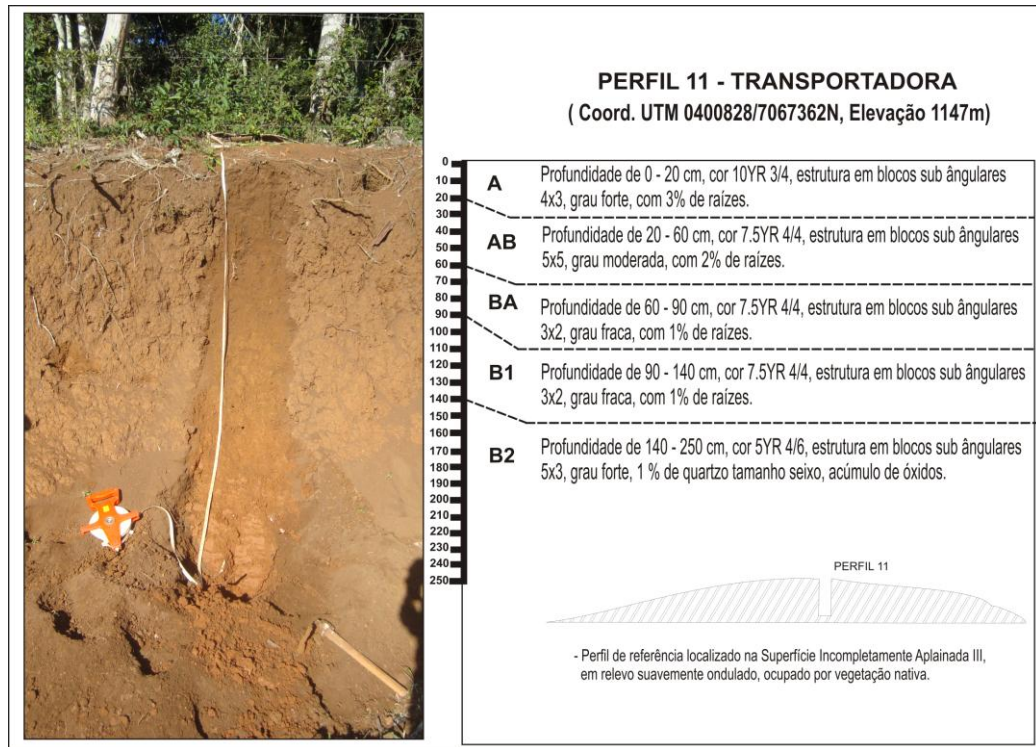


FIGURA 25. Aspecto geral e características físicas do Perfil 11.

#### 5.2.3.1 Características macromorfológicas

De acordo com as características físicas (Figura 25; Tabela 7) e granulométricas (Figura 26), foi possível individualizar os horizontes principais A, B e C, com subdivisões, bem como os horizontes transicionais AB e BA.

Nos primeiros 20 cm do perfil observa-se cerca de 3% de raízes distribuídas em material cuja estrutura é de blocos sub angulares, tamanho 4x3 cm e grau forte (Tabela 7; Figura 25). Esse material apresenta cor bruno amarelado escuro (10YR 3/4) quando seca, passando a bruno escuro (5YR 3/1) quando úmida. A consistência mostra-se ligeiramente dura quando seca, muito friável quando úmida e ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa (Tabela 7). Observa-se apenas cerca de 5% de areia, contra 44% de silte e 51% de argila, o que resulta em textura argilosa (Tabela 7).

Tabela 7. Propriedades macromorfológicas do Perfil 11.

| Horizonte | Prof<br>(cm) | Cor       |          | Textura | Estrutura |       | Consistência |       |       |       | Ds   | Dp   | Pt<br>(%) |
|-----------|--------------|-----------|----------|---------|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|------|------|-----------|
|           |              | Seca      | Úmida    |         | Tipo      | Grau  | Seca         | Úmida | Plast | Pegaj |      |      |           |
| A         | 0-20         | 10 YR 3/4 | 5 YR 3/1 | A       | Sb.A      | Forte | LD           | MF    | LPI   | LP    | -    | -    | -         |
| AB        | 20-60        | 7.5YR 4/4 | 5 YR 3/2 | A       | Sb.A      | Mod   | D            | F     | MP    | LP    | 0,86 | 2,61 | 67,04     |
| BA        | 60-90        | 7.5YR 4/4 | 5 YR 3/2 | A       | Sb.A      | Fraca | LD           | MF    | MP    | NP    | 0,94 | 2,33 | 59,65     |
| B1        | 90-140       | 7.5YR 4/6 | 5 YR 3/3 | A       | Sb.A      | Mod.  | D            | MF    | MP    | LP    | 1,05 | 2,75 | 61,81     |
| B2        | 140-250      | 5 YR 4/6  | 5 YR 3/4 | A       | Sb.A      | Forte | D            | MF    | MP    | LP    | 1,13 | 2,73 | 58,6      |
| C         | 250 -330     | 5YR 4/4   | 5 YR 4/4 | Md      | Sb.A      | Mod.  | LD           | MF    | P     | LP    | -    | -    | -         |

MA: muito argilosa; A: argilosa; MD: média; S: siltosa; Sb.A: blocos subangulares; Mod: moderada; M: macia; LD: ligeiramente dura; D: Dura; MD: muito dura; S: solta; Fr: friável; MF: muito firme NPI: não plástica; LPI: ligeiramente plástica; PI: Plástica; NP: não pegajosa; LP: Ligeiramente pegajosa.

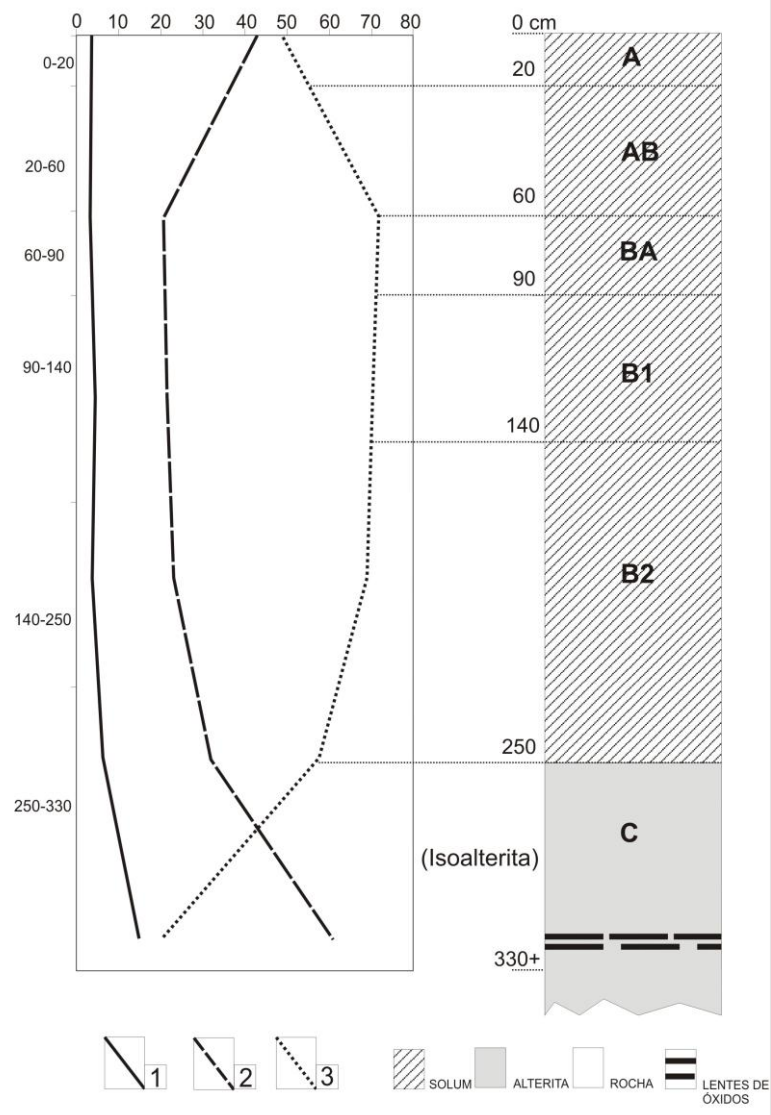


FIGURA 26. Perfil 11 distribuição granulométrica ao longo do perfil e representação gráfica dos horizontes (1: Areia; 2: Silte; 3: Argila).

O conjunto de características morfológicas deste volume superficial, principalmente cor, presença de raízes e posição no perfil permitem individualizá-lo como horizonte A (EMBRAPA 2006). A transição para o volume inferior se dá de forma gradual pela cor e pela diminuição de raízes.

Entre 20 a 60 cm de profundidade a cor do material seco passa a bruno (7.5YR 4/4) e, quando úmido, bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2). A estrutura permanece em blocos subangulares, porém de tamanho maior (5x5 cm) e grau moderado. A consistência a seco é dura, friável quando material úmido e muito plástica a ligeiramente pegajosa quando molhado. A porosidade total é de 67,04% (Tabela 7), a textura se mantém argilosa, embora ocorra aumento relativo no teor de argila em relação ao horizonte superficial (Figura 26).

O conjunto de características morfológicas observadas no volume entre 20 e 60 cm de profundidade indicam tratar-se de horizonte transicional AB. Desse horizonte verifica-se transição gradual para o volume subjacente pela mudança no tamanho e no grau da estrutura (Tabela 7).

O terceiro volume, horizonte BA (Figura 26), apresenta apenas 30 cm de espessura (60 a 90 cm de profundidade), com materiais cujas propriedades permanecem semelhantes às do horizonte AB (Tabela 7). Registra-se apenas a estrutura em blocos subangulares de tamanho menor (3X2cm) e com grau fraco, bem como diminuição da porosidade total para 59,65 (Tabela 7) e apenas 1% de raízes. A transição para o horizonte B se dá de forma clara pelo tamanho e grau da estrutura, bem como pela cor (Tabela 7).

O horizonte B, entre 90 a 250 cm de profundidade, apresenta-se subdividido em função da variação de porosidade total, do grau da estrutura e da cor (tabela 7). Entre 90 e 140 cm a cor passa a bruno forte (7.5YR 4/6) quando seco, e os blocos subangulares se mostram maiores (5X3cm), com grau moderado. De 140 a 250 cm ocorre variação da cor, tendendo a bruno avermelhado (5YR 4/6), da plasticidade, ficando plástica e ligeiramente pegajosa, bem como do grau forte dos blocos subangulares (Tabela 7). Registra-se presença de mineral quartzo, tamanho seixo, e fragmento de calcedônia. A transição deste horizonte para o inferior se dá de forma clara pela textura (Tabela 7).

A partir de 250 cm inicia-se a alterita (horizonte C), com textura média (22% de argila, 63% de silte e 15% de areia) (Figura 24). Na profundidade de 300 cm registra-se concentração de óxidos e presença de água livre, sugerindo impedimento de drenagem.

#### 5.2.3.2 Características químicas: macronutrientes e ataque sulfúrico

A análise química de rotina revela material fortemente ácido, cujo pH (potencial hidrogeniônico) se mantém entre 4,4 e 4,7 ao longo do *solum*. Entre os elementos químicos, chama atenção o elevado teor de K e Al em relação aos demais elementos (Tabela 8). É comum a alta concentração alumínio em solos muito ácidos - pH 4 a 5 (CURI e KAMPF, 2012).

Tabela 8. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 11.

| Hor | Prof.<br>(cm) | pH  | K                  | P    | Ca                   | Mg   | Al   | SB                    | CTC<br>(t) | CTC<br>pH 7 | V    | m    |
|-----|---------------|-----|--------------------|------|----------------------|------|------|-----------------------|------------|-------------|------|------|
|     |               |     | mg/dm <sup>3</sup> |      | cmol/dm <sup>3</sup> |      |      | cmolc/dm <sup>3</sup> |            |             | %    |      |
| A   | 0-20          | 4,4 | 42                 | 2,60 | 0,10                 | 0,06 | 4,10 | 0,27                  | 4,37       | 26,9        | 0,99 | 93,8 |
| AB  | 20-60         | 4,6 | 10                 | 1,13 | 0,10                 | 0,10 | 3,50 | 0,23                  | 3,73       | 33,6        | 0,67 | 93,8 |
| BA  | 60-90         | 4,4 | 8                  | 1,71 | 0,10                 | 0,10 | 3,00 | 0,22                  | 3,22       | 19,3        | 1,14 | 93,1 |
| B1  | 90-140        | 4,4 | 10                 | 1,71 | 0,10                 | 0,10 | 2,50 | 0,23                  | 2,73       | 17,3        | 1,30 | 91,5 |
| B2  | 140-250       | 4,7 | 10                 | 2,91 | 0,10                 | 0,10 | 0,40 | 0,23                  | 0,63       | 8,10        | 2,79 | 63,4 |

Prof = profundidade; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; CTC(t)= capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio;

A soma das bases trocáveis (SB) se mantém abaixo de 0,27 cmolc/dm<sup>3</sup>, enquanto que a saturação por bases (V%) varia de 0,99% na profundidade de 20 cm, aumentando gradativamente até o máximo de 2,79% no horizonte B2. Índices de saturação por bases  $\leq 50\%$  permitem classificar o solo como Distrófico (EMBRAPA, 2006).

Os valores da CTC efetiva 4,37 cmolc/dm<sup>3</sup> na profundidade de 20 cm, a 0,63 cmolc/dm<sup>3</sup> na profundidade de 190cm indicam presença de argila de atividade baixa (Tb), associado a presença de minerais secundários tipo caulinita, óxidos de ferro e de alumínio (Curi e Kampf, 2012).

O teor de alumínio trocável (m%) mostra-se muito alto no perfil de alteração com valores acima de 90% nos horizontes A, AB, BA e B1, passando a apenas 63,49% no horizonte B2. Esses percentuais indicam tratar-se de solo com caráter aluminico (EMBRAPA, 2006).

Valores de pH menores que 5, intensa remoção de cátions básicos com resultante acúmulo de alumínio indicam solos altamente intemperizados (MELLO & ALLEONI, 2009). Considerando estas características, para critérios de classificação os materiais do perfil 11 podem ser definidos com características Latossólicas (EMBRAPA, 2006).

Considerando que os óxidos de Fe e de Al exercem marcante influência nos atributos dos solos altamente intemperizados (MELLO & ALLEONI, 2009), os atributos químicos também foram analisados pela análise do ataque sulfúrico. Esse tratamento fornece as percentagens dos principais óxidos da fração argila do solo, permitindo se obter os índices Ki e Kr.

Analisando os resultados do ataque sulfúrico percebe-se que os óxidos de ferro e de alumínio apresentam maiores percentuais se comparados aos demais analisados (Tabela 9). Tanto o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  quanto o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  aumentam em profundidade, obtendo os maiores percentuais no horizonte C (250-330cm). Já o  $\text{SiO}_2$  apresenta maior concentração no horizonte B, atingindo 21,76% no B1, decrescendo para cerca de 10% no horizonte C.

Tabela 9. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo P11.

| Hor | Prof. (cm)     | % $\text{SiO}_2$ | % $\text{Al}_2\text{O}_3$ | % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | % $\text{TiO}_2$ | % $\text{P}_2\text{O}_5$ | Ki   | Kr   |
|-----|----------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|------|------|
| AB  | 20-60          | 19,30            | 20,06                     | 21,50                     | 7,420            | 0,212                    | 1,64 | 0,97 |
| BA  | 60-90          | 19,85            | 22,37                     | 23,01                     | 7,420            | 0,345                    | 1,51 | 0,91 |
| B1  | 90-140         | 21,76            | 23,52                     | 23,11                     | 7,240            | 0,261                    | 1,57 | 0,97 |
| B2  | 140-250 (topo) | 20,38            | 24,02                     | 24,36                     | 7,248            | 0,291                    | 1,44 | 0,87 |
| B2  | 140-250 (base) | 20,08            | 25,32                     | 25,37                     | 7,388            | 0,333                    | 1,35 | 0,82 |
| C   | 250-330        | 10,62            | 26,93                     | 31,68                     | 7,072            | 0,810                    | 0,67 | 0,38 |

Os índices Ki ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e Kr ( $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ), normalmente são usados para avaliar o grau de intemperização do solo (LEPSCH, 2011). Nas amostras analisadas nota-se que ambos os índices sofrem decréscimo nos valores do topo para a base, o que demonstra que os horizontes superficiais apresentam maior grau de evolução mineralógica. Isso permite inferir que a ação do intemperismo foi mais intensa nos horizontes superficiais e que possivelmente a matéria mineral seja composta por argilominerais do tipo caulinita (LEPSCH, 2011).

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do perfil mostram valores que variam entre 21 e 31% (Tabela 9). Segundo critérios da Embrapa (2006), solos com teores de óxidos de

ferro entre 18 e 36% são classificados como férricos. Sendo assim, o material do perfil 11 apresenta características de Latossolo Bruno Distroférico.

#### 5.2.3.3 Características mineralógicas

No perfil representativo da superfície III (P11 – Figura 25) a constituição mineralógica da matéria mineral do solo foi estabelecida para os horizontes AB (30-50), BA (70-80), B1 (110-120), B2 – topo (150-160), B2 – base (170-180) e C (250-330) (Figura 26).

Nas frações areia e silte a mineralogia apresenta-se bastante uniforme, constituindo-se, basicamente, por óxidos de silício, ferro, alumínio e titânio, a exceção do horizonte AB onde se registra pico de mineral do grupo das zeólitas - phillipsita (Figura 27). É comum a ocorrência de minerais do grupo das zeólitas em preenchimento de amígdalas de rochas basálticas e em riolitos (DEER *et al.*, 2004).

Os óxidos de silício estão presentes nas três formas de cristalização - quartzo, tridimita e cristobalita, especialmente na fração areia (Figura 27). Geralmente associado ao mineral cristobalita, a tridimita (polimorfo da cristobalita e do quartzo) pode ocorrer em rochas vulcânicas ácidas de alta temperatura (entre 870° e 1470°), como é o caso de riolitos, traquitos, andesitos e dacitos (KLEIN e HURLBUT Jr., 2003). Segundo esses autores, em temperaturas maiores que 1470° forma-se a cristobalita e, quando menores que 870°, ocorre a cristalização do quartzo.

Dentre os óxidos de ferro registram-se picos tanto àqueles de origem primária - magnetita-magenita e ilmenita, principalmente na fração areia, quanto aos de gênese secundária - hematita, goetita e seu polimorfo, a lepidocrocita (Figura 27). Os de origem secundária, especialmente a goetita e hematita, mostram picos mais definidos na fração silte do *solum* (horizontes AB, BA, B1 e B2, topo e base; Figura 27).

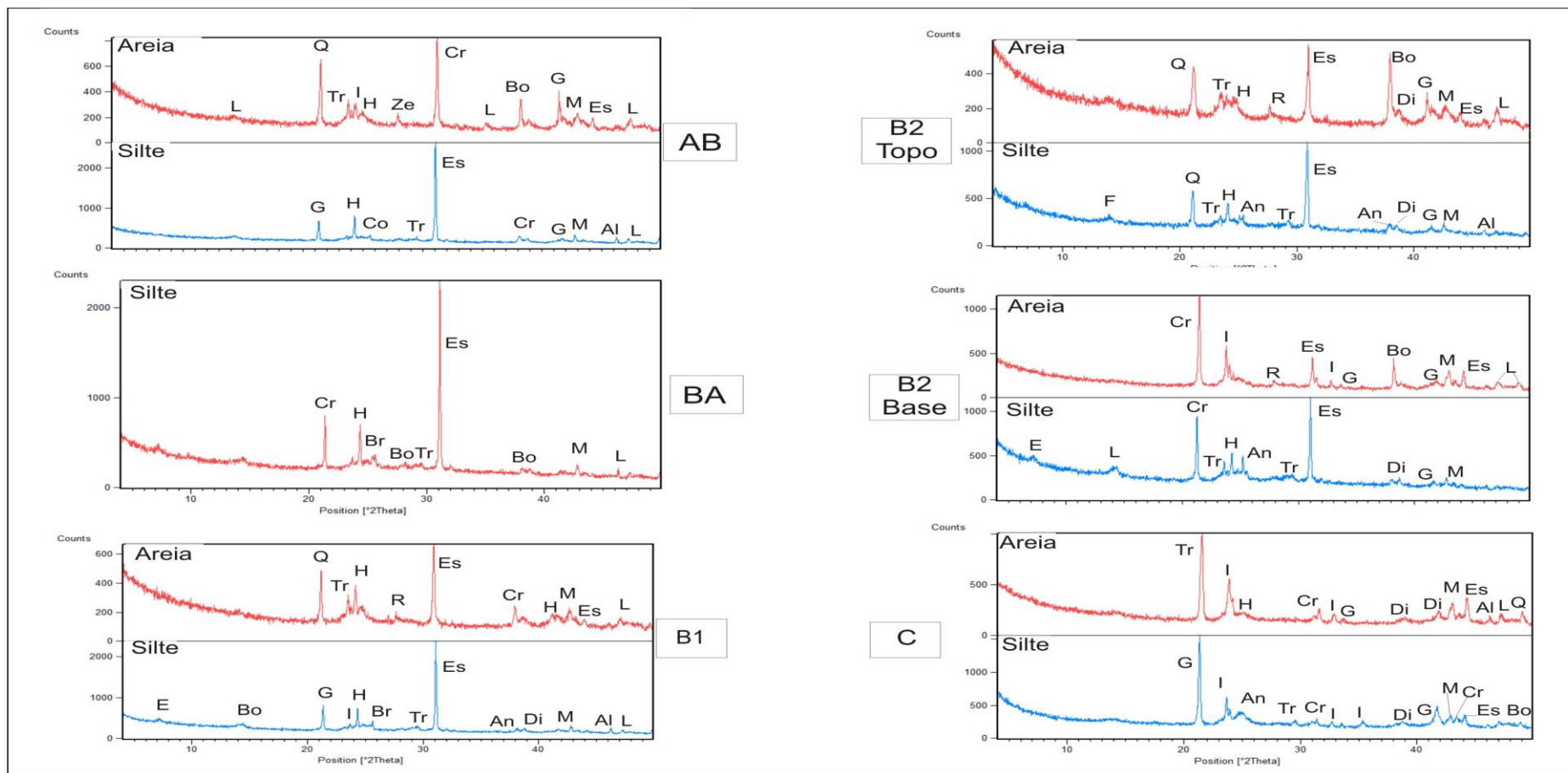


Figura 27. Mineralogia das frações areia e silte – P11. (AB, BA...= horizontes; An: anatásio; Al:aluminita; Bo: boehmita; Br: brookita; Cr: cristobaltia; Di: diásporo; Es: espinélio; G: goetita; H: hematita; I: ilmenita; L: lepidocrocita; M: magnetita; Tr: tridimita; Ze: zeólitas)

Em toda a extensão do perfil, nas duas frações (areia e silte) registra-se presença do mineral espinélio, bem cristalizado, bem como dos minerais brookita, diásporo e boehmita (Figura 27). A boehmita, óxido-hidróxido de alumínio, com picos mais desenvolvidos do que o diásporo, com picos relativamente pequenos, aparecendo quase como traço.

É comum referência do mineral espinélio como acessório nas rochas básicas e ultra-básicas, ocorrendo associado a outros minerais (ROMAN, 2013). Por serem minerais resistentes à alteração, geralmente aparecem nos solos como mineral opaco (GILL, 2014). No litoral de São Paulo, espinélios de Fe-Ti – titanomagnetitas, foram registrados em diques de composição básica a intermediária (GUARDA e GUARDA, 2001).

Minerais secundários de óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) originados pela alteração de outros minerais titaníferos são registrados com picos pequenos em todo o perfil, a partir do horizonte BA (Figura 25). Inicialmente cristalizado no sistema ortorrômbico, ocorre como brookita (GILL, 2014) na fração silte dos horizontes BA e B1. Nos demais horizontes (B2 e C) ocorrem como anatásio (Figura 27).

Na fração argila, os diferentes tratamentos utilizados para os materiais nos horizontes do perfil 11 (natural; saturação com K; K+aquecimento – 350° e 550°C; saturação com Mg; Mg+glicol) mostram presença de aluminossilicatos, do grupo 1:1 - caulinita e diquita, bem como 2:1 - vermiculita hidróxi-Al entre camadas (VHE), além de oxi-hidróxido de alumínio – boehmita e mineral do grupo da zeólitas. Este último é registrado em todo o perfil apenas nos tratamentos com potássio (Figura 28).

A largura a meia altura (LMA) associado a expressividade dos picos entre 20 e 25  $\Theta$  (teta) da caulinita indicam, em geral, mineral mal cristalizado (Figura 28). A deficiência na cristalinidade da caulinita é associada, entre outros fatores, pela presença de Ti e Fe no sistema. Quanto maior a quantidade de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , piores cristalizações da caulinita, ao passo que maiores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  favorecem a formação de óxido-hidróxidos de alumínio (RESENDE *et al.*, 2005). Picos bem formados de oxi-hidróxido de alumínio - boehmita ocorrem ao longo de todos os horizontes do *solum*, exceto na alterita onde se observa a má cristalização desse mineral.

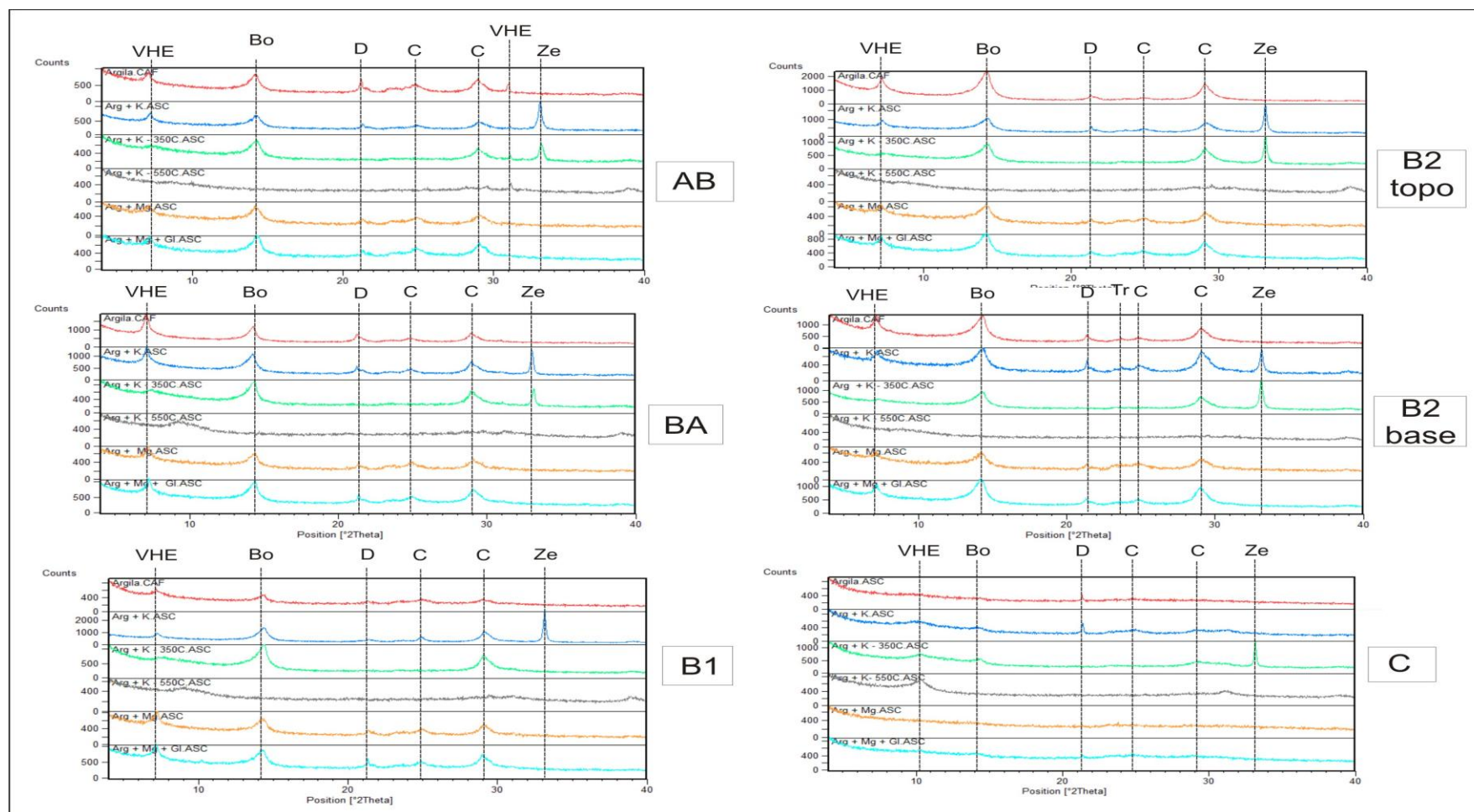


Figura 28. Mineralogia da fração argila – P11. (VHE: vermiculita hidro-Al entre camadas; Bo: boehmita; D: diquita; C: caulinita; Ze: zeólitas; Tr: tidimita).

Na alterita também aparecem picos mal cristalizados de quartzo, provavelmente precipitado a partir da sílica em solução (Figura 26).

#### 5.2.4 Perfil representativo da transição entre as superfícies V e IV – Perfil 13

O perfil de alteração descrito em área de transição entre as superfícies geomórficas V e IV situa-se em corte de estrada na rodovia que liga as cidades de Clevelândia e Palmas, nas proximidades do trevo de entrada para a Fazenda Pagliosa. A janela correspondente ao perfil mostrou 550 cm de extensão vertical, incluindo *solum* e alterita, até o contato com a rocha sã. Dos 550 centímetros de perfil de alteração, 330 cm estão expostos em corte de estrada, o restante foi descrito através de tradagem manual utilizando-se trado holandês, onde foi possível identificar os seguintes horizontes principais (A, B e C) com subdivisões (Figura 29).

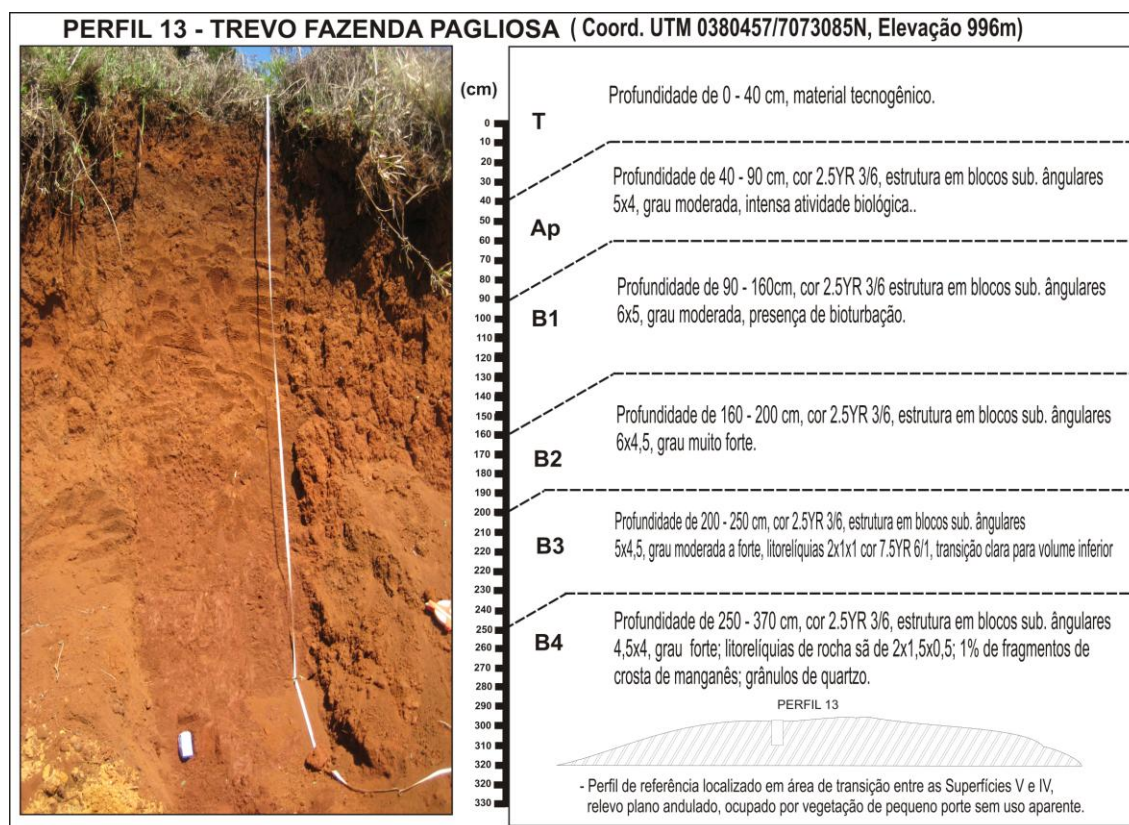


FIGURA 29. Aspecto geral e características físicas do Perfil 13.

#### 5.2.4.1 Características macromorfológicas

O horizonte superficial, representado de 0 a 40 cm de profundidade, apresentou em campo características morfológicas que levam a interpretar esse material como depositado pela ação antrópica na área (Figura 29). Suas características físicas e granulométricas foram desconsideráveis para este estudo, por não representar a gênese do solo em condições naturais.

No volume de 40 a 80 cm de profundidade, a estrutura apresenta-se em blocos subangulares de tamanho 5x4 e grau moderado. A consistência passa de ligeiramente dura quando seca, a friável quando úmida e o material apresenta características ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. A cor apresenta-se como vermelho escuro (2.5YR 3/6) quando seca, passando a bruno avermelhado escuro (5 YR 2.5/2) quando úmida, e a textura muito argilosa (Tabela 10). Registra-se em campo intensa presença biológica neste volume, o que permite interpretar como horizonte A. A transição para o material inferior é clara, marcada pelo tamanho dos blocos subangulares.

A partir dos 90 cm de profundidade o material apresenta características de horizonte B, que se estende até os 370 cm de profundidade (Figura 29; Tabela 10). Ao longo de todo esse volume a cor se mantém vermelho escuro (2.5YR 3/6) quando material seco e bruno avermelhado escuro (5YR 2.5/2) quando úmido e a textura muito argilosa, com gradativo decréscimo da argila em profundidade. Também se observa a diminuição gradativa da porosidade em profundidade no horizonte B, chegando a 37,4% no horizonte B4 (Tabela 10).

Variação no tamanho ou no grau de estruturação do solo permitiu subdividir o horizonte B em 04 volumes (Tabela 10; Figura 30). Entre 90 e 160 cm o horizonte B mostra estrutura em blocos de tamanho maior (6X5) do que o volume anterior, individualizando o horizonte B1. Também se observa presença de bioturbação neste volume. O horizonte B2 (160-200 cm) é marcado pela diminuição do tamanho dos blocos subangulares, com grau muito forte, enquanto o horizonte B3 (200-250 cm) caracteriza-se pela presença de litorelíqueas, tamanho 2x1x1cm e cor cinzenta (7,5YR 6/1), com manchas amarelo avermelhadas - 7,5YR 6/6 (Tabela 10). Dos 250 cm até 370 tem-se horizonte B4 que é marcado pela diminuição dos blocos subangulares (4,5x4cm) e presença de litorelíquias de rocha sã, no tamanho 2x1,5x0,6cm.

Tabela 10. Propriedades macromorfológicas do Perfil 13.

| Horizonte | Prof<br>(cm) | Cor        |             | Textura | Estrutura |       | Consistência |       |       |       | Ds<br>(g/cm3) | Dp<br>(g/cm3) | Pt<br>(%) |
|-----------|--------------|------------|-------------|---------|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|---------------|---------------|-----------|
|           |              | Seca       | Úmida       |         | Tipo      | Grau  | Seca         | Úmida | Plast | Pegaj |               |               |           |
| T         | 0-40         | -          | -           | -       | -         | -     | -            | -     | -     | -     | -             | -             | -         |
| Ap        | 40-90        | 7.5YR 3/4  | 5 YR 2.5/2  | MA      | Sb.A      | Mod   | LD           | Fr    | LPI   | LP    | 0,91          | 1,68          | 45,83     |
| B1        | 90-160       | 7.5YR 3/4  | 2.5YR 2.5/3 | MA      | Sb.A      | Mod.  | LD           | Fr    | LPI   | LP    | 1,02          | 1,75          | 41,82     |
| B2        | 160-200      | 2.5YR 3/6  | 2.5YR 2.5/4 | MA      | Sb.A      | Forte | D            | MF    | LPI   | LP    | 1,04          | 1,77          | 41,08     |
| B3        | 200-250      | 2.5YR 3/6  | 2.5YR 2.5/4 | MA      | Sb.A      | Forte | LD           | MF    | LPI   | LP    | 1,04          | 1,63          | 36,21     |
| B4        | 250-370      | 2.5YR 3/6  | 2.5YR 2.5/4 | A       | Sb.A      | Forte | D            | Fr    | PI    | LP    | 1,13          | 1,82          | 37,44     |
| C1        | 370-41       | 7.5 YR 4/6 | 5YR 4/4     | S       | Sb.A      | Mod.  | MD           | MF    | PI    | LP    | -             | -             | -         |
| C2        | 410-550      | 5YR 3/4    | 7.5YR 5/6   | S       | Sb.A      | Mod.  | LD           | Fr    | PI    | NP    | -             | -             | -         |

MA: muito argilosa; A: argilosa; MD: média; S: siltosa; Sb.A: blocos subangulares; Mod: moderada; M: macia; LD: ligeiramente dura; D: Dura; MD: muito dura; S: solta; Fr: friável; MF: muito firme NP: não plástica; LPI: ligeiramente plástica; PI: plástica; NP: não pegajosa; LP: Ligeiramente pegajosa; PE: pegajosa.

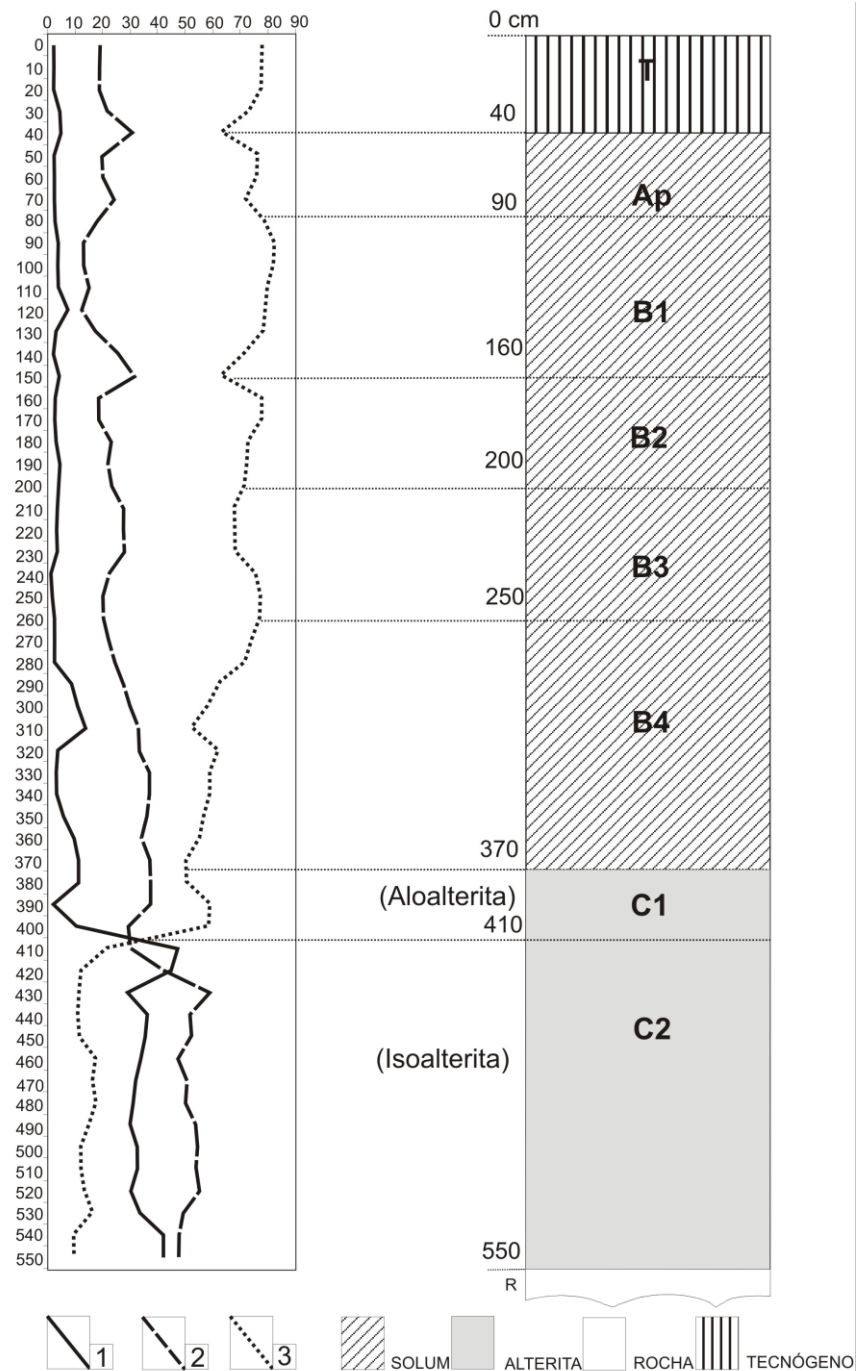


FIGURA 30 Perfil 13 distribuição granulométrica e representação esquemática dos horizontes (1: Areia; 2: Silte; 3: Argila).

A diminuição gradativa da argila no horizonte B culmina com textura argilosa no B4 (Tabela 10). Entre 360 e 370 cm de profundidade tem-se presença de óxido de manganês, tamanho areia muito grossa, o que indica passagem do horizonte B para alterita (Figura 30).

O material entre 370 e 410 cm de profundidade apresenta características de aloalterita (horizonte C1), com textura siltosa e matriz cor bruno forte - 7.5 YR 4/6

(Tabela 10; Figura 30). Ocorrem sinais de hidromorfia em todo o volume, com manchas vermelho amareladas (5YR 4/6) e cerca de 2% de litorelíqueas com diâmetro 1,5 cm.

A partir de 370 cm a cor da matriz tende a bruno amarelada (2.5R 3/6) em profundidade, com mosqueamento nos tons vermelho claro (2,5YR 6/6), bruno amarelado (10YR 5/6) e vermelho amarelado (5YR 4/6). Registra-se fragmentos de óxido de manganês tamanho areia grossa, bem como litorelíqueas rosadas com 2 cm de diâmetro, entre 430 e 460 cm. A partir de 470 cm de profundidade o material mostra-se hidromórfico, variegado em tons esverdeados, ocorrendo água livre a partir de 490 cm de profundidade e concentração de óxidos de manganês. A 550 cm de profundidade ocorre rocha dura impedindo a drenagem.

#### 5.2.4.2 Características químicas: macronutrientes e ataque sulfúrico

A análise química de rotina realizada em materiais correspondentes aos volumes A (40-50 cm e 60-70 cm), B1 (100-110 cm e 140-150 cm), B2 (170-180 cm) e B3 (220-240 cm) indica acidez não ultrapassando 5 (Tabela 11), considerada alta pelos critérios da EMBRAPA (2006). Solos com elevada acidez tendem a apresentar déficit de bases, como se percebe no material analisado, cuja soma das bases trocáveis (SB) é menor que  $0,25 \text{ cmolc/dm}^3$ , muito baixa segundo EMBRAPA (2006).

Ainda que a soma de bases seja muito baixa, chama atenção os teores mais elevados de potássio (K) dentre o conjunto dos cátions básicos (Ca, Mg e K), especialmente no topo do horizonte A e no horizonte B (Tabela 11). A baixa quantidade de bases disponíveis no perfil revela saturação por bases (V%) que varia de 0,75% na profundidade de 60-70 cm, até o máximo de 4,18% no horizonte B2 (170-180 cm). Estes valores indicam, pelos parâmetros da EMBRAPA (2006) solo com características distróficas ( $V\% \leq 50\%$ ).

Tabela 11. Análise química de rotina – macronutrientes do Perfil 13.

| Hor     | Prof.<br>(cm) | pH  | K                  | P    | Ca                   | Mg  | Al  | SB                    | CTC<br>(t) | CTC<br>pH 7 | V    | m     |
|---------|---------------|-----|--------------------|------|----------------------|-----|-----|-----------------------|------------|-------------|------|-------|
|         |               |     | mg/dm <sup>3</sup> |      | cmol/dm <sup>3</sup> |     |     | cmolc/dm <sup>3</sup> |            |             | %    |       |
| A(topo) | 40-50         | 4,4 | 20                 | 0,28 | 0,1                  | 0,1 | 2,7 | 0,25                  | 2,95       | 21,6        | 1,16 | 91,53 |
| A(base) | 60-70         | 4,4 | 10                 | 0,00 | 0,1                  | 0,1 | 2,4 | 0,23                  | 2,63       | 30,0        | 0,75 | 91,25 |
| B1      | 100-110       | 4,5 | 8                  | 0,28 | 0,1                  | 0,1 | 0,7 | 0,22                  | 0,92       | 10,0        | 2,19 | 76,09 |
| B1      | 140-150       | 4,9 | 6                  | 0,84 | 0,1                  | 0,1 | 0,3 | 0,22                  | 0,52       | 6,52        | 3,30 | 57,69 |
| B2      | 170-180       | 4,9 | 8                  | 0,84 | 0,1                  | 0,1 | 0,2 | 0,22                  | 0,42       | 5,27        | 4,18 | 47,62 |
| B3      | 220-240       | 4,8 | 10                 | 1,71 | 0,1                  | 0,1 | 0,2 | 0,23                  | 0,43       | 10,0        | 2,24 | 46,51 |

Hor= horizonte; Prof = profundidade; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica total, a pH 7,0; CTC(t)= capacidade de troca catiônica efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio;

Com exceção da base do horizonte A, os demais volumes mostram valores de capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC total) menores do que 27 cmolc/dm<sup>3</sup> (Tabela 11), indicando presença de argila de atividade baixa (Tb). Esses valores indicam presença de minerais secundários no solo do tipo caulinita, óxidos de ferro e de alumínio (Curi e Kampf, 2012).

O índice de saturação por alumínio é alto, estando acima dos 50% nos horizontes A e B1, o que indica caráter alumínico desse solo até 150 cm de profundidade. Nos horizontes B2 e B3, apesar de acima de 40%, não caracteriza material alumínico (Embrapa, 2006).

Os macronutrientes presentes no solo do perfil 13 (Tabela 11) indicam estágio de intemperismo evoluído, ainda que se registre caráter alumínico apenas nos primeiros 150 cm do perfil (Tabela 11; Figura 28). No conjunto, as características observadas atendem aos requisitos mínimos para a classificação de Latossolo Bruno Distrófico (EMBRAPA, 2006).

O resultado da análise de ataque sulfúrico mostra as percentagens dos principais óxidos da fração argila do solo, permitindo se obter os índices Ki e Kr. Quando analisado os resultados percebe-se que os óxidos de ferro e de alumínio mostram-se em maior quantidade se comparados aos demais (Tabela 12). Em geral

o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mostra aumento gradativo do percentuais em profundidade, enquanto o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  apresenta-se, no conjunto, com teores mais elevados no horizonte B, embora o máximo de sua concentração está no topo do horizonte C2 (isoalterita). Já os valores do  $\text{SiO}_2$  mostram-se entre 20,38 e 24,50% até o horizonte C1, quando passa a menos de 10% de concentração no C2 (Tabela 12).

Tabela 12. Teores dos elementos e relações moleculares da fração argila no perfil de intemperismo P13.

| Hor          | Prof.<br>(cm) | % $\text{SiO}_2$ | % $\text{Al}_2\text{O}_3$ | % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | % $\text{TiO}_2$ | % $\text{P}_2\text{O}_5$ | Ki   | Kr   |
|--------------|---------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|------|------|
| A            | 40-90         | 20,38            | 24,55                     | 22,75                     | 5,392            | 0,172                    | 1,41 | 0,89 |
| B1           | 90-160        | 21,75            | 25,72                     | 21,11                     | 5,596            | 0,184                    | 1,44 | 0,94 |
| B2           | 160-200       | 23,49            | 24,67                     | 21,87                     | 7,440            | 0,184                    | 1,62 | 1,03 |
| B3           | 200-250       | 21,98            | 27,28                     | 22,85                     | 5,592            | 0,184                    | 1,37 | 0,89 |
| B4           | 250-370       | 24,50            | 26,91                     | 23,59                     | 6,560            | 0,156                    | 1,55 | 0,99 |
| C1           | 370-410       | 22,52            | 23,77                     | 24,55                     | 7,536            | 0,168                    | 1,61 | 0,97 |
| C2<br>(topo) | 410-490       | 9,95             | 27,65                     | 30,57                     | 4,980            | 0,486                    | 0,61 | 0,36 |
| C2<br>(base) | 500-550       | 9,29             | 21,25                     | 35,31                     | 5,308            | 0,558                    | 0,74 | 0,36 |

Os índices Ki ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e Kr ( $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ), normalmente são usados para avaliar o grau intemperização do solo podendo estabelecer limite entre materiais muito ( $\text{Ki}<2,0$ ) e pouco ( $\text{Ki}>2,0$ ) intemperizados (MONIZ, 1975).

No perfil analisado nota-se que ambos os índices sofrem variação nos valores do topo para a base, não seguindo tendência de acréscimo ou decréscimo, embora todos os valores de Ki estejam abaixo de 2,0, o que sugere material muito intemperizado (LEPSCH, 2011).

Da profundidade de 40 a 410cm os volumes apresentam valores de Ki variando entre 1,61 a 1,37 e valores de Kr entre 1,03 e 0,89 remetendo a material caulínítico ( $\text{Kr}>0,75$ ). A partir de 410cm o material apresenta grande diferença nos valores de Ki e Kr se comparado com o material subjacente, apresentando valores mais baixos 0,74 e 0,36 respectivamente, sugerindo se tratar de material oxídico ( $\text{Kr}>0,75$  (Tabela 12).

Do ponto de vista de classificação do solo segundo critérios da Embrapa (2006),  $\text{Ki}<2,2$  é parâmetro para identificação de horizonte latossólico, enquanto os

teores de óxidos de ferro entre 18 e 36% são considerados férricos. Logo, o material do perfil corresponde a Latossolo Bruno Distroférrico.

No entanto, do ponto de vista de comportamento dos percentuais ao longo de perfil de alteração, os resultados do ataque sulfúrico permitem interpretar que os volumes não aparentam ter relação evolutiva entre si, levando a entender que não se trata de material alterado *in situ*. Por outro lado, essa variabilidade na distribuição dos óxidos ao longo do perfil, especialmente os percentuais muito baixos de  $\text{SiO}_2$  na isoalterita também pode estar indicando que a alteração teria transgredido limites de derrames com composição química diferenciada.

#### 5.2.4.3 Características mineralógicas

Embora o perfil 13 se constitua como setor de transição entre as superfícies V e IV (Figura 15), sua espessura maior que 500 cm de profundidade exigiu maior detalhamento de pontos para a constituição mineralógica da matéria mineral do solo, sendo eles: B1 (90-100 cm), B2 (180-190 cm), B3 (210-220 cm), B4 – topo (260-270 cm), B4 - base (320-330 cm), C1 (370-410 cm), C2 - topo (420-490 cm) e C2 - base (500-550 cm) (Figura 29). Assim como no perfil 11, aqui foram verificadas a mineralogia nas frações areia, silte e argila com seus diferentes tratamentos.

De modo geral a mineralogia das frações areia e silte se mostra variável, aparecendo óxidos de silício, ferro, alumínio e titânio ao longo de todo o perfil, bem como comportamentos bem individualizados dos picos para o material do horizonte B e C (Figura 31).

Diferente do que é registrado no perfil 11, aqui os óxidos de silício estão presentes apenas como cristobalita, aparecendo exclusivamente na fração areia. Pequenos picos de tridimita são registrados ao longo do horizonte B, exclusivamente na fração silte. O quartzo não é registrado no perfil 13 (Figura 31).

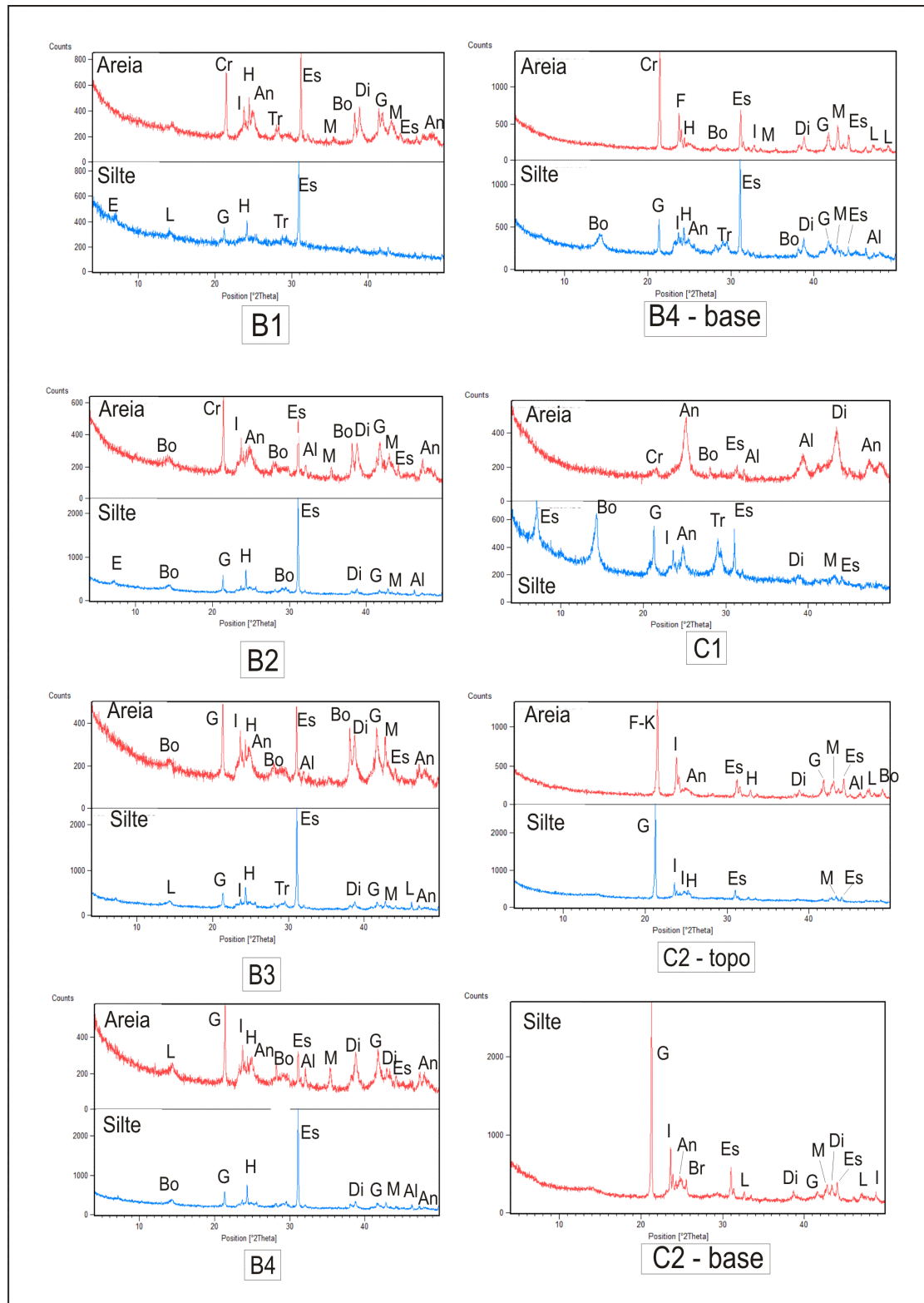


FIGURA 31. Mineralogia das frações areia e silte – P13. (AB...C= horizontes; An: anatásio; Al:aluminita; Bo: boehmita; Br: brookita; Cr: cristobaltia; Di: diásporo; Es: espinélio; F: feldspato; G: goetita; H: hematita; I: ilmenita; L: lepidocrocita; M: magnetita; Tr: tridimita).

Ocorrem picos de óxidos de ferro primários como magnetita e ilmenita, principalmente na fração areia, e secundários - hematita, goetita e seu polimorfo, a lepidocrocita (Figura 31). Esse último com picos pequenos. Os picos de hematita são melhor definidos do que os de goetita em todo o horizonte B. Já na alterita a goetita indica melhor cristalização (Figura 31).

Em toda a extensão do perfil 13 registram-se picos grandes de mineral espinélio nas duas frações e em toda extensão do horizonte B, e picos menores no horizonte C (Figura 31). Espinélio corresponde a óxido de alumínio e magnésio que pode ocorrer como acessório em rochas básicas como basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos (GUARDA e GUARDA, 2001). Esses minerais são resistentes a decomposição química (ROMAN, 2013) aparecendo, portanto, como minerais opacos no solo (GILL, 2014).

Igualmente ao comportamento do espinélio, o mineral diásporo apresenta picos mais altos e largos na fração areia e pequenos no silte, em toda extensão do horizonte B e na aloterita (C1). Na isoalterita (C2) picos de diásporo ocorrem muito pequenos (Figura 31). Diásporo corresponde a óxido de alumínio hidratado, similar a gibbsita e boehmita, geralmente de cor amarela (GILL, 2014).

Picos pequenos de brookita, mineral secundário de óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), são observados em todo o perfil, com maior ocorrência no horizonte B (Figura 31).

Os mesmos tratamentos realizados na determinação dos minerais para a fração argila do perfil 11 (natural; saturação com K; K+aquecimento – 350° e 550°C; saturação com Mg; Mg+glicol), também foram utilizados para o P13. Observa-se similaridade de minerais no horizonte B do perfil 13 (Figura 32) com os registrados no perfil 11 (Figura 28), tanto em termos de tipo quanto de cristalinidade. A exceção é a presença de tridimita (Figura 32) o que não foi registrado no perfil 11.

Contrário ao que ocorre em termos de minerais na alterita do P11, no horizonte C (1 e 2-topo) do perfil 13 observa-se continuidade de ocorrência de minerais com mesma expressão dos picos registrada no horizonte B. Apenas na base do horizonte C2 ocorre mudança, ainda que seja em sua grande parte apenas de tamanho dos picos (Figura 32). Ocorre na base do horizonte C2 mineral 2:1 interestratificado, grupo das ilitas-muscovitas, bem como zeólitas, do tipo laumontita. Laumontita constitui-se em alumínio de cálcio hidratado, encontrado em amígdalas de rochas ígneas (DEER, 2004; GILL, 2014).

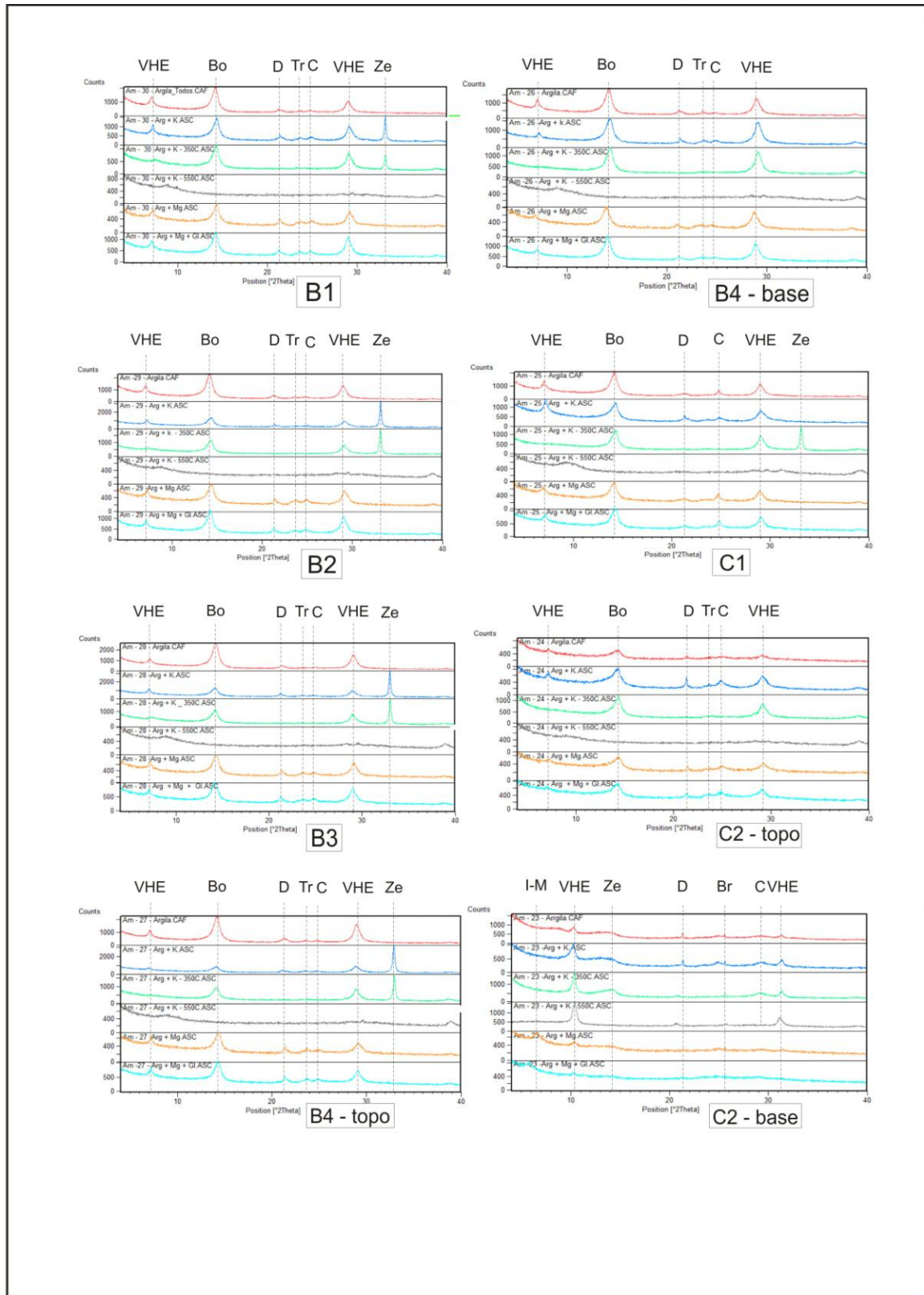


FIGURA 32. Mineralogia da fração argila – P13. (VHE: vermiculita Al-OH entre camadas; I-M: ilita-muscovita; Bo: boehmita; D: diquita; C: caulinita; Ze: zeólitas; Tr: tridimita).

### 5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O levantamento das formações superficiais nas superfícies geomorfológicas V, IV e III, mostrou quatro principais setores com predomínio de ocorrência de formações superficiais: afloramento rochoso, neossolos, colúvios e perfis de intemperismo (Figura 25).

Os afloramentos rochosos foram identificados em todas as superfícies, porém o substrato rochoso sofre variação. Na superfície V o substrato rochoso, segundo mapeamento da Mineropar (2013), é da Formação Barracão – Membro Flor da Serra. Essa informação foi confirmada em campo, tendo sido registrado afloramento de rocha correspondente a derrames básicos tabulares de ferro-basalto.

Nas superfícies IV e III o campo revelou variação na litologia, com alternância de afloramentos rochosos de basalto com os afloramentos de rocha cor avermelhada. Segundo a Mineropar (2013) esta área corresponde a transição entre Membro Flor da Serra e Membro Palmas, com rochas variando do básico para o ácido (Figura 25).

A partir de altitudes de 1.200m foram identificados vários pontos de afloramento de rocha ácida (riolito), em formato de laje, o que para o levantamento da Mineropar (2013) corresponde a Membro Guarapuava.

Os neossolos ou solos regolíticos foram identificados em vários pontos de controle da superfície III, apresentando poucos centímetros de horizonte A diretamente sobre a rocha. Considerando o modelo digital de elevação para a quadrícula, percebe-se que a área onde os neossolos foram identificados apresenta alta dissecação pela rede de drenagem. Isso mostra a clássica relação entre desenvolvimento do solo e a esculturação da paisagem, em que solos mais desenvolvidos são os mais antigos.

Os colúvios estão presentes na superfície IV e V, variando de poucos centímetros para vários metros de espessura. A posição topográfica dos colúvios, quando analisado em escala de quadrícula revela que estes se encontram em zonas de depósito da erosão do remanescente de superfície mais elevada (Figura 33). É o caso dos materiais do P13, cujos resultados geoquímicos sugerem materiais com diferentes graus de intemperismo sotopostos no mesmo perfil de solo.

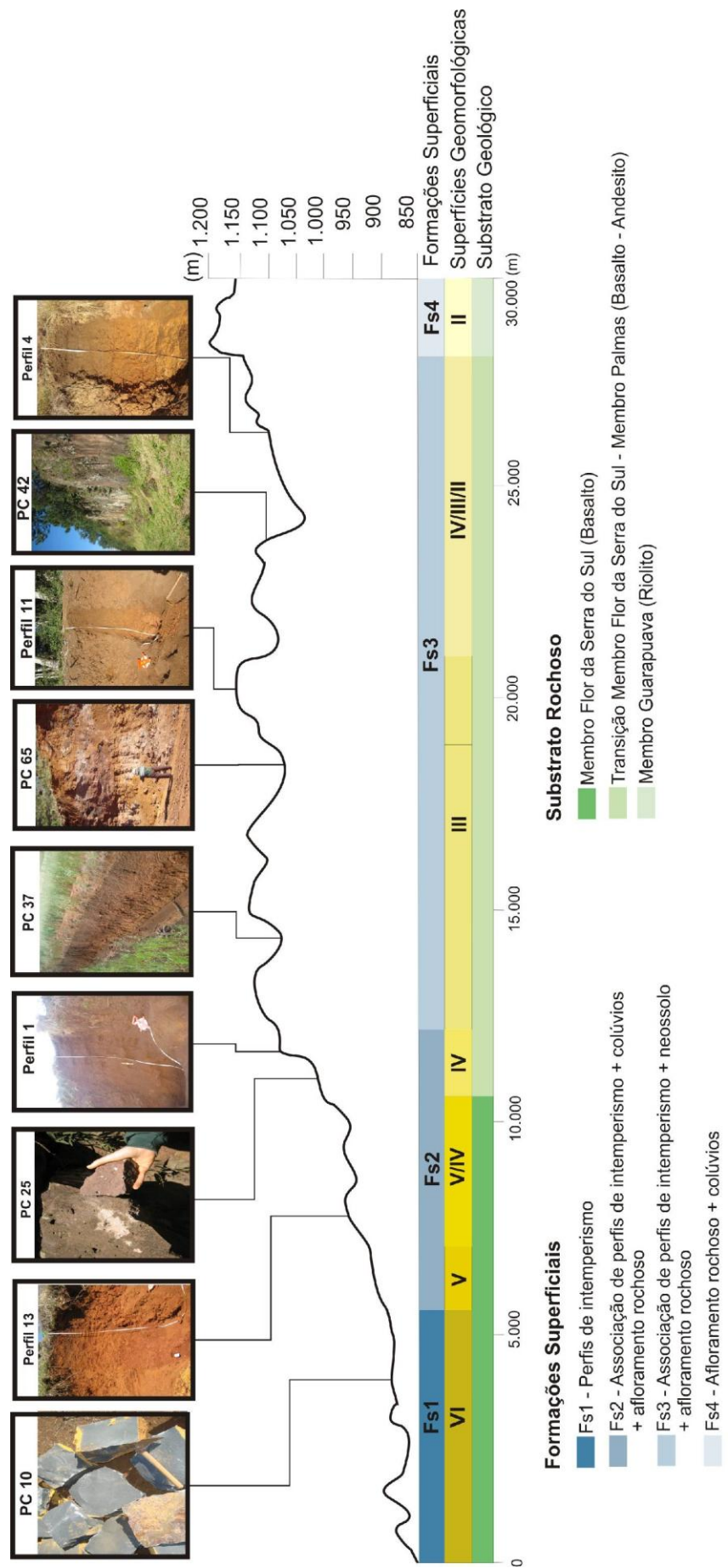


FIGURA 33. Perfil topográfico sobre as superfícies geomorfológicas no Planalto das Araucárias.

Os materiais dos perfis de intemperismo identificados nas superfícies geomorfológicas estudadas (V, IV e III) apresentaram características morfológicas bastante similares indicando, no geral, estágio de alteração elevado. Dos quatro perfis representativos analisados, três se enquadram na classe dos Latossolos, com variação apenas de distrófico para distroférico, e um apresenta-se na classe Nitossolo Distroférico Alumínico.

Em todos os perfis o pH das soluções é menor que 5,0, sendo classificado como fortemente ácido (EMBRAPA, 2006), a concentração de bases é baixa e o teor de alumínio é elevado. Cabe lembrar que o pH do solo é um atributo que expressa as condições modernas, no caso dos últimos milênios. Essas características associadas aos valores de CTC, sugerem constituição mineralógica dos materiais como caulinita. No entanto, quando analisadas as distâncias interplanares dos picos registrados nos difratogramas de raios-x de argilas, em seus diferentes tratamentos, nota-se presença de quantidades substanciais de minerais 2:1HE – vermiculita Al-OH entre camadas, com diminuição da cristalinidade em profundidade. É provável que o Al-OH seja responsável pela redução dos valores da CTC dos perfis (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009). Esse fato já foi demonstrado por KER e RESENDE (1990) para solos brunos do Planalto das Araucárias em Santa Catarina.

A presença de vermiculita Al-OH indica que o material, no perfil, foi submetido a regime climático diferente do atual, apresentando ciclos bem marcados de umedecimento e secagem (Mello *et al.*, 2009). Este fato já foi verificado por Paisani *et al.* (2013) na superfície geomorfológica de Mariópolis (VI) e no Planalto de Palmas/Água Doce (Paisani *et al.*, 2015).

Os índices moleculares Ki e Kr apresentam-se relativamente baixos em todos os perfis analisados, sugerindo atuação elevada do intemperismo químico nos materiais. Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre os perfis são bastante homogêneos, com exceção do Perfil 04, cujas concentrações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são menores que 14%, e as de  $\text{TiO}_2$  abaixo de 4%. Isso confirma a ocorrência de substrato rochoso riolítico que, pela natureza ácida, apresenta baixas concentrações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e de  $\text{TiO}_2$  em sua composição química. Já no perfil P11 a concentração de  $\text{TiO}_2$  fica acima de 7,00%, aumentando da base para o topo. Isso indica tratar-se de perfil desenvolvido *in situ* sobre substrato rochoso diferente do perfil P4, possivelmente composto por basalto toleítico (Nardy *et al.*, 2011).

Os valores de Ki e Kr também indicam, a priori, presença de caulinita nos materiais. Entretanto quando se analisa os difratogramas de raios-x verifica-se predomínio da VHE em relação à caulinita. Neste caso, o alumínio presente nas entrecamadas da vermiculita estaria contribuindo para reduzir os valores de Ki (KER e RESENDE, 1990).

Se comparados os valores de Ki e Kr do horizonte B (diagnóstico subsuperficial) dos quatro perfis de referencia, percebe-se que os perfis correspondentes as superfícies mais elevadas apresentam menor índice de intemperização (Figura 34) em relação aos perfis situados em superfícies mais baixas.

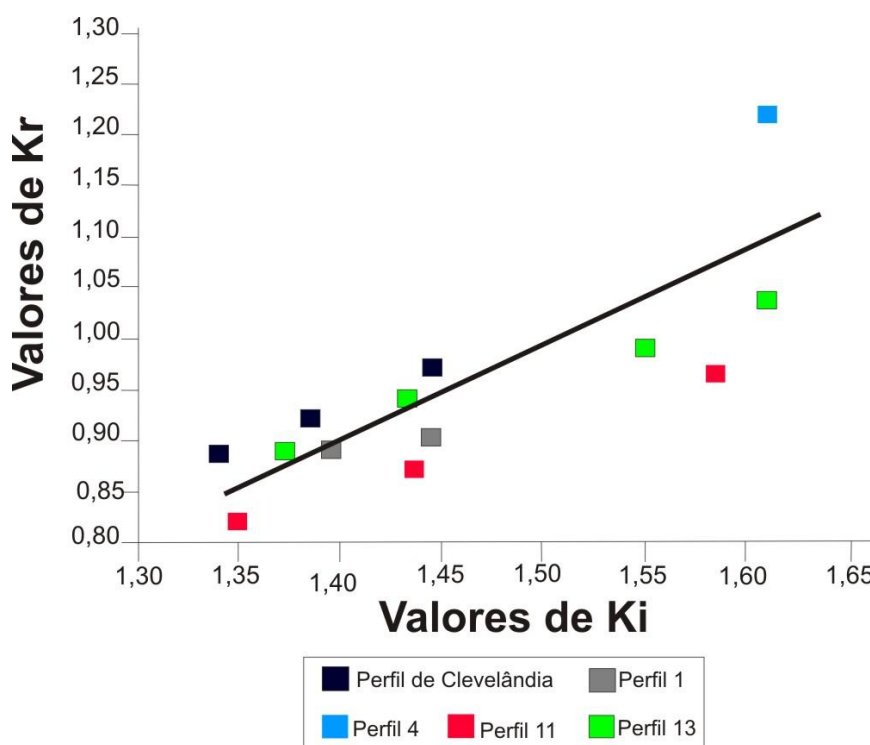


FIGURA 34. Correlação entre índices Ki e Kr para horizonte B dos perfis analisados.

Analisando-se o gráfico de dispersão entre índices Ki e Kr do horizonte B (Figura 34) percebe-se relação entre as duas variáveis - Ki e Kr para os distintos horizontes B de cada perfil, inclusive comparando-se com os dados de estágios de intemperismo da cobertura superficial na superfície geomorfológica V – Clevelândia, obtidos por Bertuol (2014).

No contexto geral da correlação entre os materiais estudados o grau de intemperismo tende a diminuir a medida que as altitudes aumentam entre as superfícies geomorfológicas, sendo que o material mais intemperizado se encontra

na superfície V e o menos intemperizado corresponde ao Perfil 4, localizado na superfície III.

Por outro lado, o gráfico 1 demonstra a falta de relação entre os índices  $K_i$  e  $K_r$  do perfil de Clevelândia - superfície V (Bertuol, 2014), com o perfil 13 deste levantamento, localizado na transição entre superfície V e IV. Com base nestes dados, bem como nas demais características analisadas para o perfil 13, especialmente a variação granulométrica, é possível considerar que este perfil teria evoluído a partir de material alóctone, disposto de 0 a 410 cm de profundidade, o qual teria se depositado sobre alterita (a partir de 410 cm de profundidade). Percebe-se diferenças geoquímicas significativas entre colúvios e alterita, como verificado por PAISANI *et al.* (2013; 2015) nas superfícies VI e II, respectivamente, superfície geomorfológica de Mariópolis e Planalto de Palmas/Água Doce.

Na mineralogia dos perfis, especialmente no que se refere à fração argila, registra-se presença de gibbsita nos perfis P1 e P4, bem como boehmita nos perfis P11 e P13. A cristalização dos diferentes tipos de óxidos de alumínio pode ser inibida, dentre outros fatores, pela ação complexante de compostos orgânicos e pelo decréscimo do pH da solução do solo (KÄMPF *et al.*, 2012). A caulinita em todos os perfis mostra-se com picos pouco desenvolvidos se comparado aos picos da VHE. Quantidades pequenas de hidróxido de alumínio (gibbsita) associado a presença de argilominerais 2:1 Al-OH entre camadas (VHE), indica perda parcial da sílica nos perfis. Essa perda pode estar associada à deficiência de drenagem em condições ambientais passadas.

## 6 CONCLUSÃO

Na pesquisa realizada, um dos focos foi identificar a causa da ocorrência de formações superficiais de natureza alóctone na superfície II, setor de domínio de rochas riolíticas no extremo leste - Planalto de Palmas/Água Doce, enquanto nas demais superfícies (III a VIII) a natureza das formações superficiais inicialmente mostra-se essencialmente autóctone, como já verificado em trabalhos anteriores, caracterizou-se as formações superficiais entre as superfícies geomorfológicas IV e III, bem como nos setores de transição entre as superfícies III-II e IV-V, Planalto das Araucárias.

Em relação à metodologia utilizada por Paisani *et al.* (2008) para identificação das superfícies, verificou-se que mesmo em recorte com escala de detalhamento maior que a utilizada pelos autores, o aspecto de superfícies em escadaria reconhecido pelos autores condiz com o relevo da área. Assim, de oeste para leste individualiza-se: Superfície VI – 2ª Superfície Interplanáltica (801-900m); Superfície V – 1ª Superfície Interplanáltica (901-1000m); Superfície IV – 2º Patamar Extenso (1001-1100m); Superfície III – 1º Patamar Extenso (1101-1200m) e Superfície II – Planaltos (1201-1300m).

A distribuição real das superfícies geomórficas mostraram a passagem entre si como faixas de transição com relevo fortemente dissecado, decorrente do ajuste dos sistemas de drenagem que ocorrem na área. Disso também está o fato de não ser possível atribuir uma única formação superficial a cada superfície geomorfológica, e sim ocorrerem associações de formações superficiais. Nessas ocorrem tanto latossolos nos locais de topografia mais preservada quanto neossolos em locais ajustados à dissecação dos sistemas de drenagem que ocorrem na área. Também, os 66 pontos de descrição/observação de materiais nos levantamentos de campo revelam tanto a presença de formações superficiais quanto de afloramentos rochosos. O mapeamento das formações superficiais também revelaram que não há correlação das superfícies geomorfológicas com a distribuição dos derrames, o que indica que estas são erosivas e não mantidas pela estrutura geológica.

O registro das informações em campo resultou na individualização de cinco setores na área de estudo, cujas formações superficiais mostraram-se semelhantes. O setor a noroeste da área de estudo, correspondente à superfície geomorfológica IV,

com elevação entre 1000 e 1100 m, apresentou predominância de perfis de intemperismo com mais de 4 metros de espessura (P1), desenvolvidos sobre rocha basáltica. O *solum*, com mais de 230 cm de espessura, apresenta os horizontes diagnósticos Ap, Bt1, Bt2, C1 e C2, bem como os transicionais AB, BA, BC e CB. Corresponde a Nitossolo Bruno Distroférico Alumínico (Embrapa, 2006). A mineralogia que ocorre no perfil corresponde a quartzo, anátasio, ilmenita, hematita, goethita, gibbsita, caulinita e possível presença de vermiculita.

O perfil de alteração na transição entre as superfícies geomorfológicas IV e III (P4) apresentou 300 cm de extensão vertical, dos quais 220 cm correspondem ao *solum*. Esse é constituído pelos horizontes diagnósticos Ap, Bw e C, e horizontes transicionais AB, BA, BC e CB. AS características morfológicas desse perfil indicam estágio de intemperismo evoluído, apesar do horizonte B apresentar apenas 55 cm de espessura. AS características observadas individualizam Latossolo Bruno Distrófico, caráter alumínico. A matéria mineral do horizonte B é constituída por quartzo, anatósio, gibbsita, caulinita e 2:1-vermiculita, como possível presença.

Na superfície geomorfológica III, o perfil de alteração (P11) representativo apresentou mais de 330 cm de espessura, dos quais 250 cm correspondem a *solum* com os seguintes horizontes: A, AB, BA, Bw1, Bw2 e C. As características morfológicas indicam Latossolo Bruno Distroférico Alumínico, cuja mineralogia nas frações areia e silte constitui-se de quartzo, tridimita, cristobalita, espinélio, magnetita-magenita, ilmenita, hematita, goetita e seu polimorfo, lepidocrocita. Na fração argila ocorrem goetita, hematita, brookita, diásporo, boehmita, caulinita e diquita, bem como vermiculita Al-OH entre camadas (VHE), além da boehmita e mineral do grupo das zeólitas.

No setor de transição entre as superfícies geomorfológicas V e IV, o perfil de alteração (P13) mostrou 550 cm de espessura, dos quais 370 cm correspondem a *solum* com horizontes Ap, Bw1, Bw2, Bw3, Bw4, C1 e C2. Corresponde a material muito intemperizado, do tipo Latossolo Bruno Distroférico Alumínico. Neste perfil os resultados do ataque sulfúrico indicam que os volumes não aparentaram ter relação evolutiva entre os materiais, levando a interpretar que não se trata de perfil evoluído sobre material alterado *in situ*. Os minerais presentes na fração areia e silte são a cristobalita, tridimita, magnetita, ilmenita, hematita, goetita e espinélio. Na fração argila ocorreram minerais similares aos registrados no horizonte B do perfil de alteração representativo da superfície III.

Em suma, os perfis de intemperismo identificados nas superfícies geomorfológicas estudadas (V, IV e III) apresentaram características morfológicas bastante similares indicando, no geral, estágio de alteração elevado. Dos quatro perfis analisados, três se enquadram na classe dos latossolos, com variação apenas de distrófico para distroférico, sendo apenas um na classe de Nitossolo Distroférico Alumínico. Ressalta-se que a mesma classe, no caso dos latossolos, apresenta gênese tanto alóctone quanto autóctone.

Finalmente, as formações superficiais existentes entre as superfícies II e V revelam que este setor tem evoluído por estágios vinculados ao processo de etchplanação, responsáveis pela renovação de perfis de intemperismo ao longo do tempo, tal como já verificado na superfície geomorfológica VI por Paisnai *et al.* (2013).

A morfologia em escadaria, associada à ocorrência de colúvios e afloramentos rochosos na passagem da superfície II para III confirma a existência de blocos poligenéticos na área, comparáveis aos “degraus de piedmont” propostos no modelo evolutivo de Penck. Isso já havia sido sugerido por Paisani *et al.* (2008) como um dos processos responsáveis pela evolução do relevo ao longo da Serra da Fartura, Planalto das Araucárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. **As altas superfícies de aplainamento do Brasil sudeste.** Revista das Faculdades Campineiras, v. 1, p. 60-67, 1954.

AB'SABER, A.N. **Posição das superfícies aplainadas no Planalto Brasileiro.** Notícias Geomorfológicas 3, 52-54, 1960.

AB'SÁBER, A. N.; BIGARELLA, J.J. **Superfícies aplainadas do primeiro planalto do Paraná.** Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 4/5, p. 116-125, 1961.

ADAMS, G. **Planation surfaces.** Downen, Pennsylvania: Hutchinson & Ross, 1975. (Benchmark Papers in Geology, n. 22).

ALMEIDA, F.F.M. O Planalto basáltico da Bacia do Paraná. **Boletim Paulista de geografia**, n. 24, p. 3-34, 1956.

AZEVEDO, A.C. e VIDAL-TORRADO, P. VI - Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V.F. e ALLEONI, L.R.F. (Edts) **Química e Mineralogia do Solo. Parte I – Conceitos Básicos.** Viçosa: SBCS, 1ª Edição, 381-426.

BERTOLDO, E. **Registro paleoambiental em cabeceira de drenagem inscrita no remanescente de superfície aplainada VIII (A.R.I.E. do Buriti – SW PR).** Francisco Beltrão, 2010. 79p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

BERTUOL, E. C. **Estágio de intemperismo da cobertura superficial na superfície geomorfológica V (Clevelândia/PR) – Planalto das Araucárias.** Francisco Beltrão, 2010. 79p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

BESOAIN, E. **Mineralogía de arcillas de suelos.** San José, Costa Rica: IICA, 1985, 1186p.

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J. X. **Considerações a respeito da evolução das vertentes.** Boletim Paranaense de Geografia, v. 16-17, p. 85-116, 1965.

BOURMAN, R. P.; OLLIER, C. D. **A critique of the Schellmann definition and classification of 'laterite'.** Catena 47 117-131, 2001.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRAGAS, A.S.S.B. **Caracterização da cobertura superficial em cabeceira de drenagem sobre substrato vulcânico em Campo Erê (SC).** Francisco Beltrão,

2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná

BUCHANAN, F. **Journey from through Mysore Canara and Malabar**. Geol. Mag., v. 11, p. 436, 1807.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphologie**. Tradução de L. Fischer e D. Busche. New Jersey: Princenton University Press, 1982.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, v.1, 2013, 248p.

COSTA, J.B.D. **Caracterização e constituição do solo**. 7 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004, 527p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980, 188p.

CURI, N. e KAMPF, N. Caracterização do solo. In: KER, J.C. *et al.* (Edts) **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012, p. 147-170.

DAVIS, Willian. M. **The Geographical Cycle**. In: Geographical Journal Of The Royal Geographical Society, n. 14, p.481-503, 1899.

DAVIS, Willian M. **O Ciclo Geográfico**. In: Seleção de Textos. Tradução: NOVELLO, Lígia L.; PEDROSO, Nelson G. e SAITO, Luiza. N.19, 2013.

DEER, W.A. et al. **Rock-forming minerals. Vol. 4B Framework Silicates – Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites**. 2ª Edição. Londres: The Geological Society, 2004.

DE MARTONE, E. **Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico: 1\_ Artigo**. Revista Brasileira de Geografia 5, 523e550, 1943.

DEWOLF, Y. **Proposition pour une définition, une typologie et une cartographie de formations superficielles**. USP, Dep, Geog., Col. Est. Cart. Form. Sup. E Aplic. Reg. trop., v. 1, 433-445p, 1983

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção de Informações; RJ. Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro nacional de pesquisas de solos, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas em Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Embrapa Produção de Informações; RJ. Embrapa Solos, 1995. 101p.

FACHIN, A. **Quadro evolutivo de paleocabeceira de drenagem do rio Chopinzinho – Planalto das Araucárias (Superfície 2)**. Francisco Beltrão, 2013. 116p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

GILL, R. **Rochas e Processos Ígneos. Um guia prático**. (Tradução Félix José Nonnenmacher). Bookman, 2014, 427p.

GUARDA, G. e GUARDA, B.M. Quimismo dos minerais máficos e óxidos em diques alcalinos e de composição básica a intermediária da região costeira entre São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo. **Geologia USP – Série Científica**, São Paulo, V.1, p.17-44, 2001.

GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro:1994.

GUERRA, A.J.T; BOTELHO, R.G.M. **Características e propriedades dos solos relevantes para estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, 1996.

GUERRA, S.; PAISANI, J. C. Verificação da influência dos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral na origem de patamares na área drenada pelo rio Tamanduá – SW PR, **Geografia**, UEL, v.19, p.163-173, 2010.

GUERRA, S.; PAISANI, J.C. Levantamento estratigráfico das formações superficiais cenozoicas no Planalto de Palmas (PR) e Água Doce (SC): subsídio ao estudo da evolução da paisagem a partir do Estágio Isotópico Marinho 3. **Revista Ambiente**, UNICENTRO, v.8 (Especial), p.651-665, 2012. doi:10.5777/ambiente.2012.05.03

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Cartas climáticas do Estado do Paraná. Londrina, 1994, 49p.

KÄMPF, N.; CURI, N. & MARQUES, J.J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. F. (Editores). **Química e mineralogia do solo: parte I – conceitos básicos**. Viçosa, MG: SBCS, 2009.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, p. 17 - 40, 1998.

KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R. & VIDAL-TORRADO, P., Eds. **Pedologia; fundamento**. Viçosa, MG: SBCS, 2012. 343p.

KING, L. C. Canons of landscape evolution. **Bulletin of the Geology Society of America**, Washington DC, v. 64, n. 7, p. 721-732, 1953.

KING, L.C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, IBGE, ano XVIII, n. 2, p. 147-265, 1956.

KLEIN, C. La notion de cycle en geomorphologie. **Revue de Géologie Dynamique et Géographie Physique**, Paris, v. 26, n. 2, p. 95-107, 1985.

KLEIN, C. e HURLBUT JR., C.S. **Manual de Mineralogía**. 4ª Edição. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 2003.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 216p.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011, 456p.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 2, p. 63-154, 1947.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: Jose Olympio, 1981. 450p

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 7, p. 271 – 286, 1977.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. n. 8, p. 11 – 22, 1978.

MELLO, V.F.; CASTILHOS, R.M.V.; Pinto, L.F.S. Reserva mineral do solo. In: Melo, V.F. e Alleoni, L.R.F. **Química e Mineralogia do Solo. Parte I – Conceitos Básicos**. SBCS, Viçosa, 2009, pg. 251-332.

MENEZES, M. L.; CARVALHO, V. L.; CRUZ, L. O.; VALADÃO, R. C. **Caracterização das formações superficiais em uma vertente do córrego do quebra – depressão de Gouveia/MG**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiania, GO, 2006.

MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná – Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

MINERAIS DO PARANÁ. **O Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**. Curitiba, 2013.

MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1975, 4550.

MUNSELL SOIL COLLOR CHART. Baltimore, Munsell Color Company, Tab. 2000.  
NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B. OLIVEIRA, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 178-195, 2008.

NARDY, A. J. R. *et al.* Parâmetros físicos pré-eruptivos do magmatismo ácido da província do Paraná: resultados preliminares. **Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 575-588, 2011.

PAISANI, J. C.; GEREMIA, F. Evolução de encostas no Planalto Basáltico com base na análise de depósitos de colúvio – médio vale do rio Marrecas, SW do Paraná. *Geociências*, UNESP, v.29, p.321-334, 2010.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; ANDRES, J. Superfícies Aplainadas em Zona Morfoclimática Subtropical Úmida do Planalto Basáltico da Bacia do Paraná (SW Paraná/NW Santa Catarina): Primeira Aproximação. *Geociências*, São Paulo, UNESP, V. 27, n.4, 2008, p. 541 – 533.

PAISANI, J. C; PONTELLI, M.E; CALEGARI, M, R. Evolução de Bacias de Baixa Ordem Hierárquica nos 41.000 Anos AP- Brasil Meridional. *Mercator*, Fortaleza, v. 11, n. 26, p. 131-148, 2012.

PAISANI, J. C; PONTELLI, M.E; CALEGARI, M, R. 2015. Contribuição para a reconstrução de paleosuperfícies de alteração no Planalto de Palmas/Água Doce – Sul do Brasil. *Geographia*, ano 17, nº 34, p.221-242.

PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E.; CALEGARI, M.R. Contribuição para a reconstrução de paleoperfis de alteração no Planalto de Palma/Água Doce – Sul do Brasil. *GEOgraphia*, Ano 17, nº 34, 2015, pg. 221-242.

PAISANI, J. C; PONTELLI, M. E; CORRÊA, A. C; RODRIGUES, R. A. R. Pedogeochemistry and micromorphology of oxisols – A basic for understanding etchplanation in the Araucárias Plateau (Southern Brazil) in the Late Quaternary. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 48, p. 1-12, 2013.

PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E; Grau de evolução da cobertura pedológica de área fonte de depósitos coluviais a partir da análise da mineralogia de argilas - Planalto Basáltico - SW PR. *Boletim de Geografia UFPE (v.esp.)*, p.176-190, 2010.

PAISANI, J. C. & PONTELLI, M. E. Propriedades micromorfológicas de colúvios em encosta no médio vale do Rio Marrecas (Sudoeste do Estado do Paraná) – bases para distinção de formações superficiais alóctones e autóctones em substrato basáltico. *Geociência*, 39 (1): 53-62, jan/abr.2012

PEDRO, G. A alteração das rochas em condições superficiais (perimorfismo) – caracterização geoquímica dos processos fundamentais. *Notícia geomorfológica*. Campinas. v. 9, n. 17, p. 1 – 19., 1969.

PENK, W. **Morphological analisys of landforms: a contribution to physical geology**. London: MacMillan, 1953. First edition 1924.

PONTELLI, M.E.; BRAGAS, L.A.S.S.; PAISANI, J. C. Características genéticas da cobertura superficial em cabeceira de drenagem sobre substrato vulcânico Planalto Basáltico da bacia do Paraná. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA 14, 2011, Dourados, Anais..., Dourados, 2011a, CD-Rom, 11p.

PONTELLI, M.E.; PAISANI, J.C.; LIMA, J.G.G. Distribuição de volumes pedológicos em vertente de superfície geomorfológica em elaboração Planalto Basáltico da bacia do Paraná. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA 14, 2011b, Dourados, Anais..., Dourados, 2011b, CD-Rom, 11p.

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo das formações superficiais no Brasil. **Revista do instituto geológico**, São Paulo, v.22, n. ½, p. 65-78, 2001.

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

RODRIGUES, R. A. R. **Estágio de intemperismo de perfil laterítico em área subtropical com substrato basáltico – superfície aplainada VI (SW PR)**. Francisco Beltrão, 2011. 68p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

ROMAN, D.M.P. **Caracterização e significado dos minerais opacos nas seqüências máfico-ultramáficas do bloco São Gabriel, RS**. TCC do curso de Geologia da UFRGS (Instituto de Geociências). Porto Alegre, 2013, 59p.

SALGADO, A. R. Superfícies de Aplainamento:Antigos Paradigmas Revistos pela Ótica dos Novos Conhecimentos Geomorfológicos. **Geografias**, Belo Horizonte, V.3, 2007, p. 64-78.

SANTOS, R. D. *et. al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6 ed. Viçosa, MG: SBCS, 2013, 100p.

SERRAT, B. M. *et al.* **Conhecendo o solo**. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2002. 27 p.

SHELLMANN, W. II International seminar on laterization processes, 1981, France. Considerations on the definition and classification of laterites. **Institut de géologie**, 1979.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Editora Blucher, 2003, 400p.

TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2003, 557p.

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, v.58, n.02, p.361-371, 2001.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. John Wiley & Sons Ed. Wichester, England, 1994.

TRICART, J. **A geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural**. Boletim Geográfico. Rio de Janeiro, 34(251):15-42, 1976.

VALADÃO, C.R. **Evolução de longo termo do relevo do cróton do São Francisco (desnudação, paleossuperfícies e movimentos crustais)**. Salvador, 1998. Tese (Doutorado em Sedimentologia/Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

VARAJÃO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, p. 138-145, 1991.

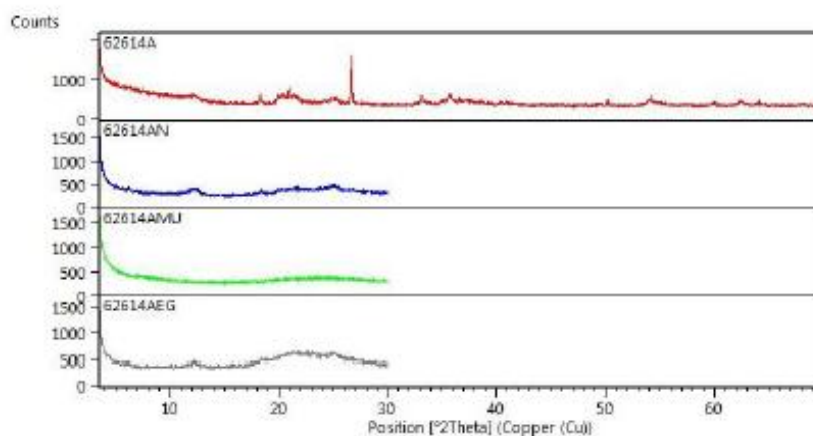
VITTE, A. C. Considerações sobre a teoria da *etchplanação* e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Terra Livre**, v. 16, 2001, p. 11-24.

## APÊNDICE A

Análise mineralógica dos horizontes B1, B2 e C do perfil de alteração 1.

### HORIZONTE B1

1. SOLICITANTE  
**Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti**
2. DATA DE EMISSÃO  
**13/01/2015**
3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)  
**Análise mineral qualitativa por difratometria de raios x**  
OBS: Pó total prensado, Tratamento para identificação de argilominerais, Difratorômetro PANalytical EMPYREAN.
4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)  
**Pelo solicitante**  
Amostra 01 **Nº. LAMIR**  
626/14A
5. RESULTADOS  
**Difratogramas:**



#### Composição Mineralógica:

| Mineral                     | Fórmula                        |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Quartzo <sup>1</sup>        | SiO <sub>2</sub>               |
| Hematita <sup>1</sup>       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Anatásio <sup>1</sup>       | TiO <sub>2</sub>               |
| Gibbsita <sup>1</sup>       | Al(OH) <sub>3</sub>            |
| pp Ilmenita <sup>1</sup>    | Fe++TiO <sub>3</sub>           |
| Caulinita <sup>2</sup>      | -                              |
| pp Vermiculita <sup>2</sup> | -                              |

pp = provável presença

<sup>1</sup> Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD (International Centre for Diffraction Data).

<sup>2</sup> Argilomineral (grupo) identificado por comparação das distâncias interplanares em diferentes condições de tratamento (amostra seca ao ar, calcinada a 550° C e solvatada com etilenoglicol).

## HORIZONTE B2

1. SOLICITANTE  
**Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti**

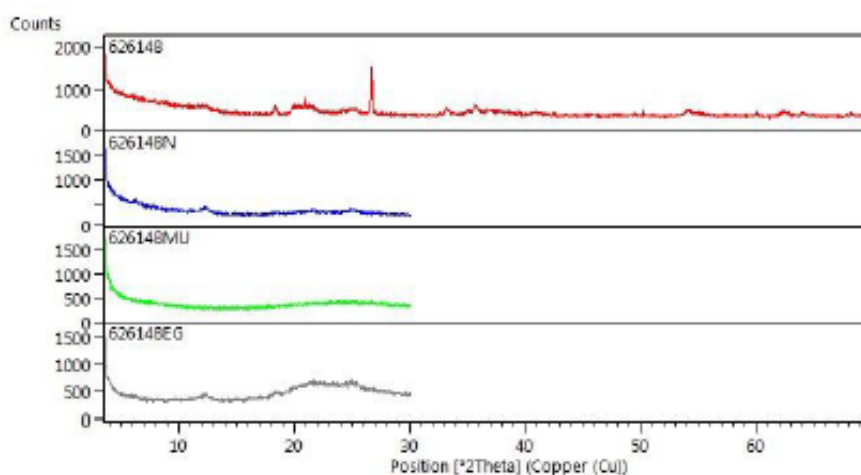
2. DATA DE EMISSÃO  
**13/01/2015**

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)  
**Análise mineral qualitativa por difratometria de raios x**  
OBS: Pó total prensado, Tratamento para identificação de argilominerais, Difratorômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)  
**Pelo solicitante**  
Amostra 02

**Nº. LAMIR**  
**626/14B**

5. RESULTADOS  
**Difratogramas:**



**Composição Mineralógica:**

| Mineral                     | Fórmula                        |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Quartzo <sup>1</sup>        | SiO <sub>2</sub>               |
| Hematita <sup>1</sup>       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Gibbsita <sup>1</sup>       | Al(OH) <sub>3</sub>            |
| Goethita <sup>1</sup>       | Fe <sup>+++</sup> O(OH)        |
| Anatásio <sup>1</sup>       | TiO <sub>2</sub>               |
| Caulinita <sup>2</sup>      | -                              |
| pp Vermiculita <sup>2</sup> | -                              |

pp = provável presença

<sup>1</sup> Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

<sup>2</sup> Argilomineral (grupo) identificado por comparação das distâncias interplanares em diferentes condições de tratamento (amostra seca ao ar, calcinada a 550° C e solvatada com etilenoglicol).

## HORIZONTE C

1. SOLICITANTE  
Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti

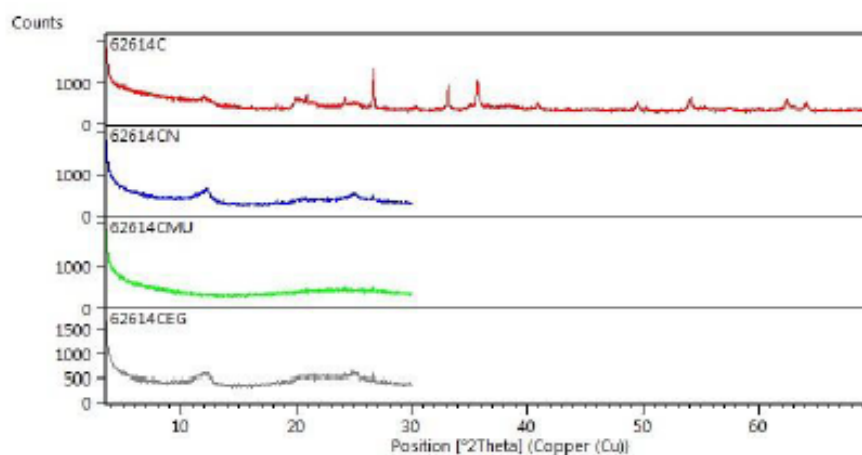
2. DATA DE EMISSÃO  
13/01/2015

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)  
Análise mineral qualitativa por difratometria de raios x  
OBS: Pó total prensado, Tratamento para identificação de argilominerais, Difratorômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)  
Pelo solicitante  
Amostra 03

Nº. LAMIR  
626/14C

5. RESULTADOS  
Difratogramas:



### Composição Mineralógica:

| Mineral                | Fórmula                        |
|------------------------|--------------------------------|
| Hematita <sup>1</sup>  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Quartzo <sup>2</sup>   | SiO <sub>2</sub>               |
| Gibbsita <sup>2</sup>  | Al(OH) <sub>3</sub>            |
| Caulinita <sup>2</sup> | -                              |

<sup>1</sup> Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

<sup>2</sup> Argilomineral (grupo) identificado por comparação das distâncias interplanares em diferentes condições de tratamento (amostra seca ao ar, calcinada a 550° C e solvatada com etilenoglicol).

## APÊNDICE B

Análise mineralogia dos horizontes B e C do perfil de alteração 4.

### HORIZONTE B

1. SOLICITANTE  
**Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti**

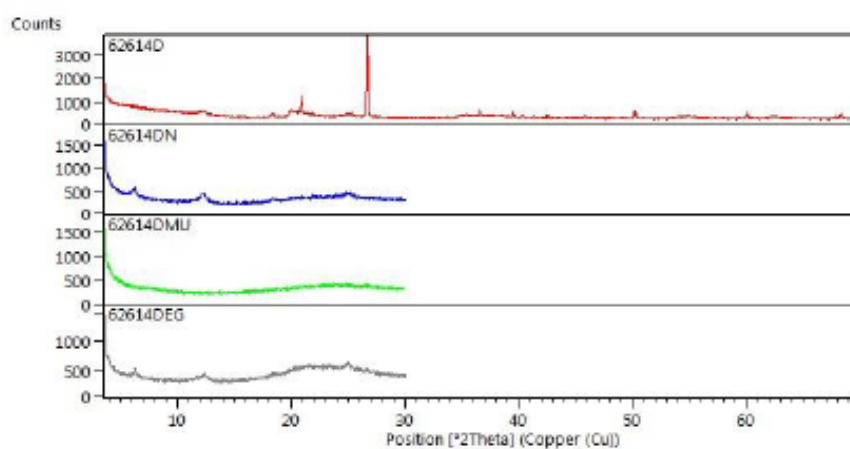
2. DATA DE EMISSÃO  
**13/01/2015**

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)  
**Análise mineral qualitativa por difratometria de raios x**  
OBS: Pó total prensado, Tratamento para identificação de argilominerais, Difratorômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)  
**Pelo solicitante**  
Amostra 04

**Nº. LAMIR**  
**626/14D**

5. RESULTADOS  
**Difratogramas:**



#### Composição Mineralógica:

| Mineral                     | Fórmula             |
|-----------------------------|---------------------|
| Quartzo <sup>1</sup>        | SiO <sub>2</sub>    |
| Gibbsita <sup>1</sup>       | Al(OH) <sub>3</sub> |
| Anatásio <sup>1</sup>       | TiO <sub>2</sub>    |
| Caulinita <sup>2</sup>      | -                   |
| pp Vermiculita <sup>2</sup> | -                   |

pp = provável presença

<sup>1</sup> Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

<sup>2</sup> Argilomineral (grupo) identificado por comparação das distâncias interplanares em diferentes condições de tratamento (amostra seca ao ar, calcinada a 550° C e solvatada com etilenoglicol).

## HORIZONTE C

1. SOLICITANTE  
Wanessa Suelen Peloso Dal-Berti

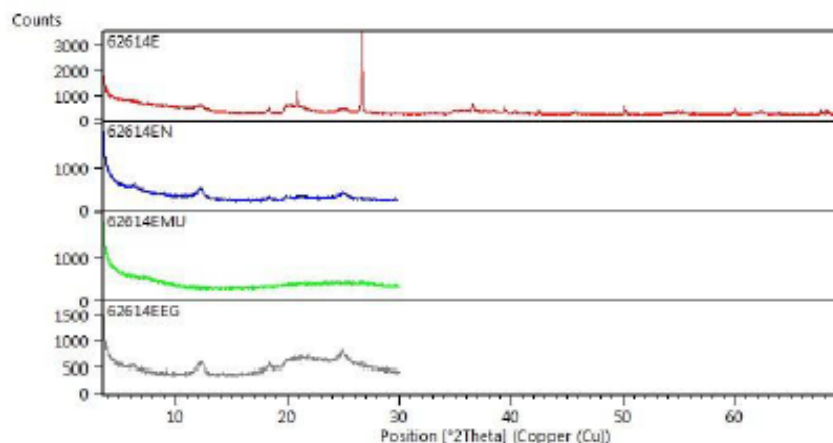
2. DATA DE EMISSÃO  
13/01/2015

3. TIPO(S) DE ENSAIO(S)  
**Análise mineral qualitativa por difratometria de raios x**  
OBS: Pó total prensado, Tratamento para identificação de argilominerais, Difratômetro PANalytical EMPYREAN.

4. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)  
Pelo solicitante  
Amostra 05

Nº. LAMIR  
626/14E

5. RESULTADOS  
Difratogramas:



### Composição Mineralógica:

| Mineral                     | Fórmula             |
|-----------------------------|---------------------|
| Quartzo <sup>1</sup>        | SiO <sub>2</sub>    |
| Gibbsita <sup>1</sup>       | Al(OH) <sub>3</sub> |
| Caulinita <sup>2</sup>      | -                   |
| pp Vermiculita <sup>2</sup> | -                   |

pp = provável presença

<sup>1</sup> Mineral identificado por comparação com os padrões do ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

<sup>2</sup> Argilomineral (grupo) identificado por comparação das distâncias interplanares em diferentes condições de tratamento (amostra seca ao ar, calcinada a 550° C e solvatada com etilenoglicol).