

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL MESTRADO

RAFAEL MARTINS SANCHES

SISTEMAS DE TRANSFORMAÇÃO E SUAS RELAÇÕES COM A EROSÃO
HÍDRICA EM SOLOS DE TEXTURA MÉDIA EM
TERRA ROXA-PR

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL MESTRADO

RAFAEL MARTINS SANCHES

SISTEMAS DE TRANSFORMAÇÃO E SUAS RELAÇÕES COM A EROSÃO
HÍDRICA EM SOLOS DE TEXTURA MÉDIA EM
TERRA ROXA-PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná-Campus de Mal. C. Rondon, como condição obrigatória para obtenção do título de *Mestre em Geografia*.

Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha

Co-orientador: Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães

Área de Concentração
Espaço de Fronteira – Território e Ambiente

Linha de Pesquisa
Dinâmica e Gestão Ambiental em Zonas Subtropicais

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Biblioteca Universitária da UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Campus de Marechal Cândido Rondon

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S211s Sanches, Rafael Martins
Sistemas de transformação e suas relações com a erosão hídrica em solos de textura média em Terra Roxa-PR. / Rafael Martins Sanches. – Marechal Cândido Rondon, 2018.
89f.

Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha
Coorientador: Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2018.
Programa de Pós-Graduação em Geografia.

1. Geomorfologia. 2. Erosão hídrica. I. Cunha, José Edézio da. II. Magalhães, Vanderlei Leopold. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed.551.4
CIP – NBR 12899



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RAFAEL MARTINS SANCHES, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Ao(s) 21 dia(s) do mês de dezembro de 2017 às 9h00min, no(a) Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon, realizou-se a sessão pública da Defesa de Dissertação do(a) candidato(a) Rafael Martins Sanches, aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia - nível de Mestrado, na área de concentração em Espaço de Fronteira: Território e Ambiente. A comissão examinadora da Defesa Pública foi aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Integraram a referida Comissão os(as) Professores(as) Doutores(as): Jose Edezio da Cunha, Helio Silveira, Vanda Moreira Martins. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Jose Edezio da Cunha, orientador(a) do(a) candidato(a). Tendo satisfeito todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor, o(a) candidato(a) foi admitido(a) à Defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, intitulada: "Sistemas de Transformação e suas Relações com a Erosão Hídrica em Solos de Textura Média em Terra Roxa - PR". O(a) Senhor(a) Presidente declarou abertos os trabalhos, e em seguida, convidou o(a) candidato(a) a discorrer, em linhas gerais, sobre o conteúdo da Dissertação. Feita a explanação, o(a) candidato(a) foi arguido(a) sucessivamente, pelos(as) professores(as) doutores(as): Helio Silveira, Vanda Moreira Martins. Findas as arguições, o(a) Senhor(a) Presidente suspendeu os trabalhos da sessão pública, a fim de que, em sessão secreta, a Comissão expressasse o seu julgamento sobre a Dissertação. Efetuado o julgamento, o(a) candidato(a) foi **aprovado(a)**. A seguir, o(a) Senhor(a) Presidente reabriu os trabalhos da sessão pública e deu conhecimento do resultado. E, para constar, o(a) Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE - Campus de Marechal Cândido Rondon, lavra a presente ata, e assina juntamente com os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a).

Orientador(a) - Jose Edezio da Cunha

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Helio Silveira

Universidade Estadual de Maringá (UEM)



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RAFAEL MARTINS SANCHES, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Vanda Moreira Martins

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Rafael Martins Sanches
Candidato(a)

Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Marechal Cândido Rondon, por ter oferecido espaço e condições de desenvolvimento dessa Dissertação. Também, ao Colegiado do Curso de Graduação em Geografia e ao Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Geografia da UNIOESTE/MCRondon, pela constante oportunidade oferecida.

A todos os docentes e funcionários da UNIOESTE/MCR, em especial à assistente do Programa, Anilise Dahmer Dvojtazke, por terem viabilizado todos os procedimentos necessários ao andamento do curso; e, aos demais discentes que, muito carinhosamente, me receberam, trabalharam juntos e, de alguma forma, contribuíram para que esse trabalho fosse concluído.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Edézio da Cunha. Sem dúvidas, foi aquele que me ajudou em toda essa trajetória, sempre dando bons conselhos e ótimas orientações. É aquele que usou de muito boa vontade e paciência em me iluminar nas reflexões dessa dissertação e de outros segmentos da vida. Serei eternamente grato pela confiança quando cheguei à UNIOESTE, pela boa amizade, bom trabalho e pelas muitas risadas quando o assunto eram trabalhos de campo.

A Profa. Dra. Vanda Moreira Martins, por ter sido um braço forte nessa caminhada. Se não fosse sua disposição em ajudar, seus esclarecimentos, seu empenho nos campos e nas análises de laboratório, parte significativa desse trabalho não teria se materializado. Não há palavras para expressar minha gratidão.

Aos docentes: Profa. Dra. Karin Linete Hornes, Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez, Prof. Dr. Anderson Sandro da Rocha, Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães. Por sempre terem me ensinado algo de novo e transformado momentos tensos em momentos cheios de risada e descontração. Por terem ensinado que na vida temos que ser meio “doidinhos” mesmo, deixar as opiniões de lado e sermos de propósito aquilo que sonhamos e acreditamos.

Ao apoio de diferentes professores, acadêmicos e funcionários das três Universidades envolvidas no desenvolvimento deste trabalho: Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual de Maringá e Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* de Medianeira. As novas amizades conquistadas, a disposição das equipes e a

utilização constante dos laboratórios foram imprescindíveis para a realização das diferentes análises e pesquisas.

Aos membros da banca examinadora dos exames de qualificação e defesa final, por todas considerações que foram realizadas durante as avaliações e, que certamente ajudaram a melhor desenvolver este trabalho e contribuir um pouquinho com os estudos que o Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais (GEA) têm desenvolvido nos últimos anos.

Sobre todas as coisas, a Deus, criador e regedor do Universo e de tudo o que nele há. Muitos chegaram até aqui pelo seu árduo esforço, fins de semana com cara nos livros; outros chegaram amarrados, pelo favor de alguns; eu cheguei pela misericórdia de Deus para comigo, pela Sua bondade, Seu favor e Sua paciência.

Aos meus pais, Pedro Sanches Filho e Roseli Martins Sanches. São os valentes que se escondem por trás dessa jornada. Além do apoio moral e financeiro, foram eles que me proporcionaram os melhores momentos da minha vida. Por algum motivo, mesmo que distantes uns dos outros, mas não posso deixar de ser grato por tudo o que já me proporcionaram até aqui e lamento se na maioria das vezes não fui o filho que esperaram ou mereciam. Mas acredito em novas oportunidades e na superação de toda e qualquer barreira.

As docentes, Profa. Dra. Maria Cristina Perusi, Profa. Dra. Márcia Regina Calegari e Profa. Dra. Carla Cristina Reinaldo Gimenes de Sena. Que são pessoas maravilhosas do ponto de relação interpessoal e, que serão meus exemplos de vida, de superação, de conquistas e, ainda, meu modelo profissional na carreira. Também, aos docentes, Prof. Dr. Paulo Cirino Fernandes Mourão, Prof. Dr. Jonas Teixeira Nery, Prof. Dr. Hélio Silveira e Profa. Dra. Andréa Aparecida Zacharias por todo apoio e palavras amigas que contribuíram para continuidade de minhas atividades.

As irmãs na fé, Vera Lúcia Rodrigues da Silva, Jucinéia de Souza, Janaina Garcia, Dirce Garcia, Silvia de Queiroz, Rosana Celestino, Adriana de Almeida, Rosana Antunes e Jieni. Pela amizade, carinho, conselhos e por terem me acolhido nos momentos que mais precisei na vida, quando residi em Ourinhos/SP, em especial durante uma fase complicada da vida, em que não via mais razões em continuar – além de Deus, foram meu braço forte nas caminhadas por meio Brasil.

Aos irmãos na fé, Paulo Reis Guimarães (*in memmorian*), Alcides, Samuel Alves de Oliveira, Ronaldo Pondian, Altamir Júnior, João Carlos Fonseca, Josias Rodrigues e Daniel Lopes dos Anjos. Pelos grandes ensinamentos e lições que me proporcionaram na minha trajetória. Sem dúvidas, foram essenciais para minha formação pessoal, profissional e espiritual.

Aos amigos Eloísa Fogaça, Jéssica Bassan, Gustavo Costa, Altair Bennert, Elaiz Buffon, Carla Michelin, Jhonattan de Carli Soares dos Santos, Rita de Cássia Carvalho e Lúdia de Brito Fornos. Por terem sido pessoas extraordinárias, divertidas, incentivadoras e cheias de vida, que me acompanharam desde o ingresso na graduação e permanecem comigo até os dias de hoje. Pessoas extraordinárias que me acompanharam em cada passo, em cada vitória, em cada conquista, no íntimo do meu coração, pois cada um de vocês tem uma parcela de contribuição na minha formação pessoal e profissional.

Também, ao Marcelo Batista e aos demais membros e colegas do Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais (GEA/UNIOESTE/MCR), por terem prestado o devido auxílio ao desenvolvimento dessa pesquisa e terem incentivado a continuidade dos trabalhos propostos. Enfim, a todos aqueles que contribuíram de uma forma direta ou indireta. Mesmo que nos bastidores, muitos exerceram papel de fundamental importância na minha vida.

O espaço é pequeno se for apontar a todos, mas certo é, cada um será marco em minhas lembranças e levarão consigo minha eterna gratidão, por todas as coisas, sejam quais forem.

Muito obrigado!

SANCHES, R. M. **Sistemas de transformação e suas relações com a erosão hídrica em solos de textura média em Terra Roxa-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Marechal Cândido Rondon-PR, 2018. 89p. Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha. Co-orientador: prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães.

RESUMO

O estudo da estrutura e do funcionamento da paisagem implicam na compreensão de processos naturais e antrópicos que envolvem certo segmento do espaço. Sendo assim, tornam-se necessários estudos que permitam entender a distribuição dos solos na paisagem e suas relações com as formas de relevo. Nesse sentido, buscou-se mapear, vertical e lateralmente, a cobertura pedológica ao longo de uma vertente representativa em termos morfopedológicos do município de Terra Roxa. Trata-se de uma área contextualizada na unidade de paisagem de Guaíra e, está inserida na Bacia Hidrográfica do Paraná III, região oeste do Paraná. A metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, orientou as etapas da pesquisa, procedendo-se com levantamento topográfico, reconhecimento pedológico, abertura de trincheiras para a descrição macromorfológica dos horizontes e coleta de amostras deformadas e indeformadas para análises físicas e químicas. Estes procedimentos permitiram confirmar um sistema pedológico com a presença de Latossolo Vermelho Distrófico argissólico (LVd) no topo e alta-vertente, Argissolo Vermelho Distrófico latossólico (PVd) em toda média-vertente e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico abrupto (PVAd) na baixa-vertente, à jusante da ruptura de declive. A ocorrência dessas classes de solos se dão em razão de um relevo com baixo grau de dissecação e declividade máxima de 8%, plano a suavemente ondulado, caracterizado por colina ampla e topo aplainado, com vertente convergente-convexa-côncava e vale em V aberto. Tratando-se de cobertura pedológica resultante de rochas sedimentares da Formação Caiuá, os solos apresentam textura médio-arenosa, com alto teor de areia (> 60%) e baixo teor de argila (< 25%), de natureza friável e, susceptível à ocorrência de erosão hídrica no segmento de jusante. Neste setor da vertente predominam solos com horizonte E, arenoso (até 88%) e horizonte subsuperficial de impedimento (B_{tg} e B_t). Essa organização pedomorfológica aponta a existência de duas frentes de transformação: uma na média-vertente (transição B_w/B_t) e outra na baixa-vertente (transição AB/E e E/B_t), onde são mais evidentes a instabilidade erosiva do sistema pedológico.

Palavras-chave: Relação solo-relevo. Sistemas de transformação. Erosão hídrica.

SANCHES, R. M. **Sistemas de transformação e suas relações com a erosão hídrica em solos de textura média em Terra Roxa-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Marechal Cândido Rondon-PR, 2018. 89p. Orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha. Co-orientador: prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães.

ABSTRACT

The study of the structure and functioning of the landscape implies the understanding of natural and anthropic processes that involve a certain segment of space. Therefore, studies are necessary to understand the distribution of soils in the landscape and their relationship with relief forms. In this sense, it was sought to map, vertically and laterally, the pedological cover along a morphologically representative slope of the municipality of Terra Roxa. It is a contextualized area in the landscape unit of Guaíra and is inserted in the Paraná III Hydrographic Basin, in the western region of Paraná. The methodology of the Structural Analysis of Pedestrian Coverage guided the research stages, proceeding with topographic survey, pedological recognition, opening of trenches for the macromorphological description of the horizons and collection of deformed and undisturbed samples for physical and chemical analysis. These procedures allowed the confirmation of a pedological system with the presence of top and high-slope Oxisols (LVd), Ultisols (PVd) in all medium-strand and Ultisols, downstream from the slope break. The occurrence of these classes of soils occurs due to a relief with a low degree of dissection and a maximum slope of 8%, a smoothly undulating plane, characterized by wide choline and flattened top, with convergent-convex-concave slope and open V-valley. As a result of the pedological cover resulting from sedimentary rocks of the Caiuá Formation, the soils present a sandy-medium texture with high sand content (> 60%) and low clay content (<25%), of a friable and susceptible to occurrence of water erosion in the downstream segment. In this sector of the slope predominate soils with horizon E, sandy (up to 88%) and subsurface horizon of impediment (Btg and Bt). This pedomorphological organization points to the existence of two transformation fronts: one in the middle-slope (Bw / Bt transition) and the other in the low-slope (transition AB / E and E / Bt), where the erosive instability of the pedological system.

Keywords: Relation soil-relief. Systems of transformation. Water erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da BP3, na região Oeste do Paraná. Na sequência, o indicador “5” mostra a localização geográfica da área correspondente a unidade geoecológica de Guaíra, no setor norte da Bacia.	28
Figura 2. Localização da BP3 no Paraná e da Unidade Guaíra, com destaque para o município de Terra Roxa-PR.	29
Figura 3. Distribuição das unidades litológicas na Unidade Guaíra.....	31
Figura 4. Distribuição das variáveis topográficas e solos da Unidade Guaíra.	33
Figura 5. Fluxograma metodológico.	37
Figura 6. Levantamento topográfico (FILIZOLA, 1993).	39
Figura 7. Reconhecimento pedológico..	40
Figura 8. Mapa hipsométrico da Unidade Guaíra.	49
Figura 9. Mapa das classes de relevo e declividade na Unidade Guaíra.	49
Figura 10. Mapa das classes de solos na Unidade Guaíra.	50
Figura 11. Esboço representativo da Pedotopossequência Estrada do Cruzeiroinho, em Terra Roxa-PR.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise granulométrica dos perfis de solo.....	58
Tabela 2. Análises químicas de pH das amostras de solos analisados.	68
Tabela 3. Análises químicas de rotina dos perfis de solos analisados.	69
Tabela 4. Análises físicas das amostras de solos analisadas.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Descrição macromorfológica dos perfis de solo analisado.	56
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição das frações granulométricas, por perfil.	59
Gráfico 2. Relação entre porosidade total (PT) e densidade do solo (DS), por perfil.	74
Gráfico 3. Relação entre resistência à penetração (RP) e densidade do solo (DS), por perfil.	75

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABCP – Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica
AECP – Análise Estrutural da Cobertura Pedológica
APA – Área de Proteção Permanente
BP3 – Bacia Hidrográfica do Paraná III (Brasil e Paraguai)
DRX – Difractometria de Raio-X
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEA – Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais (UNIOESTE/MCR)
GEMA – Grupo de Estudos do Ambiente (UEM)
IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
L+P – Associação Pedológica de Latossolo e Argissolo
LV – Latossolo Vermelho
LVd – Latossolo Vermelho Distrófico
PR – Paraná (Unidade da Federação)
PV – Argissolo Vermelho

PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo

PVd – Argissolo Vermelho Distrófico

PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente (Paraná)

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa)

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

TGS – Teoria Geral dos Sistemas

UEM – Universidade Estadual de Maringá

UNIOESTE/MCR – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon

UTFPR/MD – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 A RELAÇÃO SOLO-RELEVO NA ANÁLISE DA PAISAGEM	16
1.1 Contribuições da ciência do solo para estudos geográficos.....	18
1.2 Análise da paisagem: relação solo-relevo e os sistemas de transformação	20
2 CONTEXTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO	27
2.1 Breve descrição do quadro natural da unidade Guaíra	30
2.2 Considerações do processo de uso-ocupação das terras em Terra Roxa.....	32
3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO DOS ATRIBUTOS PEDOLÓGICOS NA VERTENTE ANALISADA	36
3.1 Conhecimentos preliminares	38
3.2 Campanhas de campo	38
3.3 Atividades desenvolvidas em laboratório	40
3.3.1 Preparo de amostras.....	41
3.3.2 Análises físicas.....	41
3.3.3 Análises químicas	44
4 A DINÂMICA MORFOPEDOLÓGICA DA PEDOTOPOSSEQUÊNCIA DA ESTRADA DO CRUZEIRINHO	48
4.1 Caracterização dos aspectos físicos na bacia do córrego Tamanduá	48
4.2 Organização bidimensional, caracterização morfológica dos solos e os sistemas de transformação pedológica na pedotopossequência do Cruzeiroirinho	51
4.3 Caracterização analítica dos materiais e interpretações com erosão hídrica.....	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

INTRODUÇÃO

Estudos da paisagem, com base na análise sistêmica, têm trazido contribuições significativas para o conhecimento da dinâmica ambiental. Nesse sentido, a relação solo-relevo contribui para a Geografia e para a Ciência do Solo, fornecendo subsídios para os estudos dos sistemas pedológicos, compreendendo o solo no tempo e no espaço. É variável importante para as análises ambientais e para os diferentes tipos de apropriação antrópica no ambiente.

Os processos erosivos estão relacionados com as características morfológicas do solo, natureza do material de origem, bem como outros elementos importantes para sua ocorrência, como feições do relevo e uso/manejo dos solos. Trata-se de um processo de ordem natural, resultado de diferentes interações do meio físico, que determinam a dinâmica da paisagem. Todavia, a partir de atividades antrópicas inadequadas, os processos erosivos podem ser intensificados, comprometendo a qualidade dos solos e alterando dinâmicas naturais, como o regime de cheia e vazão de corpos hídricos, bem como comprometimento dos ecossistemas existentes em certo segmento do espaço geográfico.

Esta pesquisa teve como objetivo geral mapear, vertical e lateralmente, a cobertura pedológica em uma vertente característica em termos morfopedológicos no município de Terra Roxa, região Oeste do Paraná. Trata-se de uma área inserida no contexto da unidade de paisagem de Guaíra, pertencente à Bacia Hidrográfica do Paraná III. É marcada por uma transição litológica entre as rochas ígneas do Grupo São Bento – Formação Serra Geral (JK_{sg}) e as rochas sedimentares do Grupo Bauru – Formação Caiuá (K_c).

Para o desenvolvimento desse estudo e contemplação do objetivo proposto, adotou-se um conjunto de procedimentos metodológicos denominados de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet et al. (1982). Junto a essa metodologia, foram adotados, ainda, técnicas auxiliares que permitiram conhecer, com maior detalhe, as transformações verticais e laterais do solo na área rural de Terra Roxa. Esse conjunto de procedimentos operacionais permitiu identificar os sistemas de transformação na vertente analisada e relacionar com a ocorrência de processos erosivos de origem hídrica no segmento de jusante da referida vertente.

É importante salientar que o estado do Paraná é representativo em termos de produção agrícola dentro do cenário nacional e leva a uma reflexão da necessidade de estudos referentes às condições de uso e manejo dos solos desenvolvidos ao longo dos últimos tempos. Essas condições tem contribuído para alteração de dinâmicas naturais, em especial as ligadas a conservação dos solos. Esse fato se tornou evidente quando estudos de natureza morfopedológicas denunciaram quadros de degradação no noroeste do estado, área de ocorrência dos solos texturalmente arenosos, provenientes da alteração dos arenitos que compõem a Formação Caiuá.

Esse trabalho se organiza na forma de capítulos, sendo o primeiro um esboço teórico-metodológico que visou abordar questões ligadas à análise sistêmica da paisagem, a relação solo-relevo, processos em vertentes, propriedades e características da cobertura pedológica. O segundo capítulo contextualiza geograficamente a área de estudo em termos de ocupação histórica e do ponto de vista das inter-relações do quadro natural. No terceiro seguiu-se com uma descrição dos procedimentos metodológicos e técnicas adotadas no desenvolvimento dessa investigação. Por fim, no quarto capítulo, foram analisados os dados analíticos obtidos nos diferentes ensaios e discutidos com a relação solo-relevo, para compreensão dos sistemas de transformação pedológica na vertente e sua relação com instalação e evolução de processos erosivos hídricos em setor de jusante.

1 A RELAÇÃO SOLO-RELEVO NA ANÁLISE DA PAISAGEM

A paisagem, compreendida como um sistema do espaço geográfico, é constituída pelos elementos naturais e antrópicos. Em razão disso, o estudo geográfico deve estabelecer relações entre esses elementos para contribuir com os diferentes conhecimentos dos processos que os envolvem, tanto em termos de gênese como de evolução espacial, especialmente nas discussões acerca da problemática ambiental e gestão de território (DOLLFUS, 1972; MENDONÇA, 2001; SUERTIGARAY, 2002; LUZ, 2014).

O conceito de paisagem não é simplista, pois envolve o reconhecimento de elementos físicos e sociais constituintes do meio, para que, a partir de sua estrutura e dinâmicas de funcionamento, possam se estabelecer e compreender as inter-relações existentes na dicotomia geográfica (CARVALHO et al., 2002; MANOSSO, 2008; ROSS, 2012).

As bases teóricas que nortearam os primórdios dos estudos da paisagem têm destaque com os estudos da escola alemã, como Humboldt, Richtofen, Passarge, Hettner e Troll e, posteriormente no século XX pesquisadores da escola francesa, como Bertrand, Hubschman e Carenac. Nas diferentes abordagens do meio geográfico, os estudos de Humboldt eram aqueles que apresentavam um caráter fisionômico ligado principalmente ao método de observação, devendo ser visto com unicidade, sem nenhum tipo de separação ou fragmentação (MORAES, 1989; MENDONÇA, 2001).

Mais tarde, na década de 1970, na escola russa, Sotchava (1978), foi influenciado pelas ideias da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), proposta por Bertalanffy entre 1950 e 1968. Sotchava lançou mão de uma nova concepção de inter-relações a serem estudadas, priorizando-se as inter-relações dos elementos naturais: o paradigma geossistêmico. Esse contribuiu para sistematização de um modelo integrado de análise da paisagem, não se reservando somente a descrição dos componentes físicos, mas também a conexão simultânea existente entre eles. Também, não deveria se pautar somente na morfologia da paisagem, mas buscar entender a dinâmica, estrutura funcional e as conexões existentes entre os diferentes elementos.

Para Mateo et al. (2007) é necessário analisar a paisagem a partir de uma visão dialética, considerando sua organização sistêmica, concebendo-a em sua totalidade, que se apresenta como um fenômeno integrado, não podendo entender e nem tratar de forma fragmentada, assegurando a ênfase dada por Bertrand (2004, p.141), quando diz:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto, instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Nesse contexto, Nóbrega e Cunha (2012) discorreram acerca da determinação das unidades de paisagem, sendo estas definidas a partir da identificação e delimitação de características homogêneas da escala a ser considerada. Esta assumia um sistema de inter-relação interna e externa, em conexão com outras unidades, se configurando como um meio de aplicação dos estudos que avaliam a vulnerabilidade ambiental face à várias formas de uso e ocupação do espaço.

Somado a esse contexto, entende-se que a análise sistêmica, em estudos geográficos, visa teorizar o meio natural com estruturas e mecanismos modificados pela ação humana. No Brasil, pode-se destacar o trabalho de Ab'Sáber (1969), como uma das mais completas formas de compartimentar a paisagem, a partir da análise geomorfológica. Segundo este autor, pode-se dividir a paisagem em três níveis de detalhamento: (1) compartimentação topográfica regional, (2) a análise estrutural da superfície da paisagem e a (3) fisiologia da paisagem, incluindo neste último os processos morfoclimáticos, os processos pedogenéticos e a ação antrópica.

Entende-se que a relação solo-relevo é um elemento importante para compreensão da estrutura e funcionamento da paisagem, pois o tipo de solo é condicionado pela estrutura e forma do relevo, já que este controla os processos que se dão em vertente. Assim, julga-se necessário resgatar historicamente, como a Ciência do Solo veio evoluindo sua concepção de solo e como este se relaciona com os demais elementos da paisagem. Também, o papel do relevo na determinação das dinâmicas que ocorrem no sistema pedológico e, ainda, a ocorrência dos processos

erosivos, como um agente da paisagem que denuncia seus processos, degradação e evolução.

1.1 Contribuições da ciência do solo para estudos geográficos

A Pedologia tem suas bases científicas e metodológicas em Dokouchaiev (1895), estudioso que, entre os anos de 1873 e 1875 desenvolveu estudos em uma área de solo bastante fértil e de alta atividade agrícola no sul da Rússia. Por meio deste, reconheceu o solo como um corpo dinâmico e naturalmente organizado (LEPSCH, 2002; 2011; RESENDE et al., 2007; ESPÍNDOLA, 2008). Com os avanços nos estudos dos solos, esta ciência teve uma evolução científica construída em três grandes momentos históricos (CUNHA, 1996; LEPSCH, 2002; ESPÍNDOLA, 2008).

O primeiro grande momento, compreendido entre 1895 e 1945, é marcado pelo desenvolvimento de estudos em perfis isolados para que se pudesse realizar inventários e mapeamentos de solos. Está baseado nos estudos de Dokouchaiev que, a partir da diferenciação vertical dos perfis, sustentou estudos relacionados a classificação dos solos (CUNHA, 1996; ESPÍNDOLA, 2008).

Os estudos que se seguiram buscaram relacionar o solo com outros elementos da paisagem para que se pudesse entender sua distribuição. Nesse momento surgiram os estudos que passaram a expressar a sucessão de perfis de solos de acordo com a topografia, interpretando-se processos responsáveis pela distribuição dos solos e entendendo que a erosão era o principal agente responsável pela disposição da catena¹ ao longo da vertente (QUEIROZ NETO, 2002; VIDAL TORRADO et al., 2005; ESPÍNDOLA, 2008).

Com os trabalhos de Greene (1945), o solo foi percebido como um corpo contínuo, em que as diferenciações se davam devido ao movimento interno das soluções e, estes se davam de forma vertical e lateral. Essa percepção levou Delvigne (1965) a concluir que os processos de perdas, transformação e

¹ Para Milne (1935), catena é uma “unidade prática de mapeamento [...] que agrupa solos que, a despeito de estarem colocados em pontos diferentes de um sistema natural de classificação, tendo em vista suas diferenças morfológicas e fundamentais, estão, no entanto, relacionadas na sua ocorrência por condições topográficas e se repetem nas mesmas posições uns em relação aos outros, sempre que aquelas condições estão presentes”.

acumulação de materiais se davam de maneira lateral. Estes processos ocasionavam perdas de material do topo e média-vertente e acúmulo de material transportado da montante para o segmento de sopé (ESPÍNDOLA, 2008). Dessa forma, deu-se início o segundo grande momento da história da Ciência do Solo, de 1945 a 1970.

Essa fase da Pedologia caracterizou um momento em que os estudos de solo passaram a ser bem detalhados, devido o emprego de análises laboratoriais, especialmente em estudos de processos geoquímicos e mineralógicos. Para Barros (1985), essa época foi importante para a Ciência do Solo, uma vez que mudou-se a abordagem de entendimento da definição de perfil vertical (*pedon, polipedon...*) do solo enquanto unidade fundamental e, adotou-se o perfil de solo como unidade representativa do *continuum* na paisagem. Essa nova concepção considerava as variações verticais e laterais do perfil, compreendendo este corpo natural como elemento contínuo na paisagem.

Estudos iniciais de diferenciação lateral revelaram a existência de processos pedogenéticos laterais resultantes dos movimentos internos descendentes de matéria, com efeito remontante e acúmulo de materiais finos na jusante. Estes originavam novos horizontes e, juntamente com a mudança na cobertura inicial, criavam novas condições e direções do fluxo hídrico na evolução do modelado (ESPÍNDOLA, 2008).

A partir da década de 1970, iniciou-se o terceiro grande momento da Pedologia, em que destacar os estudos de Ruellan (1970), Bocquier (1973), Boulet (1974) e Chauvel (1977). Estes trabalhos demonstraram que a análise da organização lateral dos solos permitia a demonstração da existência de diferenciações, destacando geometrias próprias e que estas resultavam de mecanismos de transferência e acumulação vertical e lateral de matéria, aproximando a relação do modelado do relevo com os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais.

Bocquier (1973) concluiu que as diferenciações pedológicas, verticais e laterais dos horizontes são, na verdade, resultados de processos de translocação, a partir do fluxo interno de água. Ainda constatou a migração de materiais finos (silte e

argila) do topo para a base do perfil e em direção ao sopé da vertente, atribuindo esses movimentos ao fluxo hídrico subsuperficial.

Esses procedimentos adotados e conclusões alcançadas permitiram que Boulet et al. (1982) desenvolvesse a metodologia intitulada Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECp), que analisava o solo não mais a partir de perfis isolados, mas como um corpo organizado e estruturado ao longo de uma vertente. Dentre outras utilidades, esta metodologia permitiu rever interpretações e redefinir o significado das diferenciações pedológicas ao longo das formas de relevo, além de verificar a importância da erosão química na evolução do modelado (QUEIROZ NETO, 2001).

No Brasil, estudos dessa natureza levaram a percepção de que a cobertura pedológica é um sistema estrutural contínuo e complexo. Trata-se de um corpo inserido na paisagem, que apresenta transformações progressivas na organização dos horizontes, tanto verticais como, principalmente, laterais, no sentido da vertente (BARROS, 1985; CASTRO, 1989; SALOMÃO, 1994). Assim, é importante entender como se dá a análise da paisagem por meio da relação solo-relevo e dos sistemas de transformação pedológica, que caracterizam sua dinâmica e evolução.

1.2 Análise da paisagem: relação solo-relevo e os sistemas de transformação

Nóbrega e Cunha (2012) enfatizam o papel do relevo como um elemento significativo na delimitação da paisagem. Além de ser um elemento de fácil percepção visual, também é um elemento que estrutura a paisagem, tendo em vista sua função substancial na distribuição e organização dos demais elementos, tais como a rede fluvial, os diferentes tipos de solo e a cobertura vegetal.

Suertegaray (2002) aponta que o relevo deve ser entendido como um recurso natural essencial para a gestão ambiental. De acordo com Resende et al. (2007), deve-se considerar a ligação do relevo ao fator tempo na gênese dos solos e, que no Brasil, os processos pedogenéticos estão predominantemente ativos, sendo o relevo e o clima controladores da exposição litológica aos agentes bioclimáticos. Com isso, entende-se que diferentes feições da superfície topográfica

(ou seja, o relevo), em diferentes escalas, condiciona a variação dos atributos do solo e a influencia a variabilidade das propriedades dos solos.

Ainda, de acordo com Cunha (2002), a vertente é a unidade de relevo resultante da ação combinada de agentes endógenos e exógenos que condicionam os processos responsáveis pela gênese e evolução de suas formas ao longo do tempo a partir das alterações do substrato geológico. Nos trabalhos de Calegari (2000), em Nova Esperança-PR; Nóbrega e Cunha (2012) e Magalhães (2013) em Marechal Cândido Rondon-PR; os autores relacionaram o balanço entre a morfogênese e a pedogênese nas encostas, reafirmando que o relevo é o principal fator determinante no arranjo dos sistemas pedológicos, pois definem o padrão de drenagem a partir das dinâmicas do fluxo de água no sistema, lateral e verticalmente.

Assim, ações morfogenéticas e pedogenéticas apresentam relação entre o solo e as formas de relevo de maneira intrínseca, onde as partes mais dissecadas apresentam um sistema pedológico complexo, com avançado grau de transformação lateral. Isso permite concluir que a morfologia das vertentes (forma côncava, retilínea ou convexa) implica diretamente na distribuição de água (escoamento superficial, subsuperficial e/ou infiltração) ao longo de sua extensão e, conseqüentemente, na modelagem do relevo e na formação/variação espacial dos solos na paisagem (CASTRO, 1989; SALOMÃO, 1999).

Estes parâmetros morfológicos e processuais da vertente ajudam a entender a morfogênese e a pedogênese que, embora sejam processos distintos entre si, ocorrem de maneira simultânea. Os processos em vertente ocorrem em consonância com os diferentes setores morfológicos, sejam eles convexos, retilíneos ou côncavos. Cada um destes setores determinará diferentes condições de funcionalidade do modelado, especialmente quando está associado a variação de declividade, forma e extensão da vertente (ROCHA, 2016).

Estudos de Guerra e Cunha (1998), Guerra (2003) e Vidal Torrado et al. (2005) destacam dois aspectos relevantes para essas considerações. O primeiro refere-se aos elementos morfológicos, a partir dos índices morfométricos e morfográficos, que determinam a forma, extensão, declividade, orientação e outros elementos da vertente. E, o segundo, trata de aspectos múltiplos que ocorrem em

toda sua extensão, como intemperismo, movimentos de massa, entre outros, que, atuando de maneira conjunta, podem determinar a evolução do modelado.

No que diz respeito à forma, vertentes côncavas tendem a favorecer a instalação de processos erosivos lineares a partir da concentração do fluxo hídrico em superfície, enquanto que vertentes convexas favorece a ocorrência de erosões laminares, já que seu formato tende a dispersar o fluxo hídrico superficial. Nessas vertentes (côncavas e convexas), a capacidade de transporte e velocidade do deslocamento são diretamente proporcionais a declividade, enquanto que os processos em vertentes retilíneas são determinados pela extensão da mesma (GUERRA, 2003).

A declividade expressa à inclinação topográfica do terreno. Vertentes com declividade alta apresentam maior atuação de movimentos de massa do solo, enquanto que as de menor declive favorecem o predomínio de erosão laminar e intemperismo químico. Por fim, a extensão da vertente, ao referir-se à distância entre o interflúvio e o talvegue, interfere na instalação e evolução de processos erosivos a partir da maior ou menor atuação do fluxo hídrico em superfície e subsuperfície (GUERRA, 2003).

Ao tratar alguns processos dinâmicos em vertente, teorias geomorfológicas ajudam a entender os processos erosivos. Destaca-se trabalhos como os da Teoria da Biorresistência proposta por Erhart (1956), a Teoria do Balaço de Denudação, proposto por Jahn (1968) e a Teoria da Ecodinâmica, proposta por Tricart (1977). Para Erhart (1956), é importante considerar a disposição da cobertura vegetal na vertente na dinâmica dos processos erosivos. Com a existência de cobertura vegetal na vertente, a infiltração (componente perpendicular) predomina sobre o escoamento (componente paralelo). Quando o sistema hidrológico é alterado devido à retirada da cobertura vegetal, o escoamento prevalece sobre a infiltração, resultando no aceleração dos processos erosivos.

Na Teoria do Balanço de Denudação, o relevo resulta da soma de forças antagônicas efetivas e contínuas, onde as forças endógenas são caracterizadas pelo papel tectônico na estruturação do relevo, e as forças exógenas, marcado pelos mecanismos morfodinâmicos de esculturação das feições de relevo (JAHN, 1968). Para Casseti (1991), a vertente é onde se materializa as relações de força produtiva

e transformadora que compõe a paisagem. Assim, destacam que o balanço de denudação de Jahn preconiza a evolução do modelado da vertente, onde forças morfogenéticas exercidas na encosta podem ser classificadas em componentes perpendiculares e paralelas.

As componentes perpendiculares se caracterizam por ser um sistema onde há presença de cobertura vegetal e predomínio de infiltração, levando a intemperização e pedogenização dos materiais constituintes da vertente, favorecendo uma eventual translocação (ou transformação em profundidade) e transporte. Por outro lado, as componentes paralelas são marcadas pelos efeitos erosionais (morfogênese) e responsáveis pelo deslocamento de materiais pré-elaborados na componente perpendicular. Assim, a retirada da cobertura vegetal favorece a atuação direta dos elementos do clima sobre o material exposto.

Para Tricart (1977), existe uma relação entre a morfogênese e a pedogênese na vertente. Este autor classificou os meios em estáveis, *intergrades* e instáveis. Os meios estáveis são marcados pelo predomínio da pedogênese sobre a morfogênese, pois a cobertura vegetal evita que ocorra processos mecânicos em larga escala na vertente. Nos meios instáveis, a morfogênese prevalece sobre a pedogênese, devido à retirada da cobertura vegetal e ausência de práticas conservacionistas do solo, acelerando os processos erosivos.

Mediante o exposto, diversos autores, entre eles, Lepsch (2011), concluíram que o relevo é um agente controlador da pedogênese, uma vez que regula a velocidade, direção e dinâmica da água ao longo da encosta. Em geral, áreas onde o relevo é fortemente ondulado, os processos erosivos podem ser favorecidos, originando solos pouco desenvolvidos, enquanto que em áreas com relevo plano, predomina infiltração e drenagem livre, favorecendo a alteração mineralógica e remoção de produtos solubilizados, gerando solos profundos e intemperizados.

Além dos fatores de formação há, ainda, os processos de formação dos solos, ou processos pedogenéticos. Estes processos podem ser estudados por meio de dois modelos: os processos múltiplos (adição, perdas, translocação e transformação de matéria no solo) e específicos (exemplo: argiluviação, ferralitização, leucinização, entre outros). O desencadeamento de um e de outro processo é fruto da interação de uma série de ações efetivadas por fatores

ambientais combinados (fatores de formação do solo) (LEPSCH, 2002; RESENDE et al., 2007).

Entende-se por processo de adição a incorporação de material sólido, líquido ou gasoso ao solo a partir de agentes como chuvas, rios, ventos, organismos, entre outros. Por perdas, entende-se a retirada vertical e/ou lateral de constituintes do solo, tanto em superfície, (exemplo: transportados pela chuva), como em profundidade (exemplo: percolação de água). Translocação é o processo de transporte de materiais ao longo do perfil em direção à superfície ou subsuperfície, sem haver exportação de constituintes do solo. Por último, transformação está relacionada com modificações químicas, físicas e biológicas do material constituinte do perfil (CURI et al., 1993).

A ação de dois ou mais processos básicos conduz a atuação de processos específicos de formação dos solos, que definem a evolução de determinada ordem de solo. Estudos anteriores, na região Noroeste do estado do Paraná, onde predomina a ocorrência dos Arenitos da Formação Caiuá, sugerem que os compartimentos geomorfológicos são formados por sistemas pedológicos que há ocorrência de latossolos em posição de topo e alta vertente, enquanto que os argissolos ocupam os setores intermediários e de baixa vertente, como sucessão lateral mais expressiva (GASPARETTO, 1993; CUNHA, 1996; GASPARETTO, 1999; NAKASHIMA, 1999; CALEGARI, 2000; MARTINS, 2000; CUNHA, 2002).

Ainda, para esses autores (entre outros), os latossolos são facilmente encontrados em setores de topo, com baixo grau de inclinação das vertentes; os argissolos em segmentos da vertente que apresentam certa declividade e facilitam a circulação hídrica; os solos hidromórficos em segmentos de fundo de vale, aonde se concentra o escoamento proveniente da montante. Esses dados são corroborados por meio de estudos como os de Bade (2014) e Bueno (2015), na região Oeste do Paraná, que identificaram uma semelhança dessa distribuição e comportamento dos sistemas pedológicos na divisa entre Noroeste e Oeste, na área de transição litológica entre os arenitos da Formação Caiuá e basaltos da Formação Serra Geral (MINEROPAR, 2001).

As diferentes organizações e espacializações pedológicas refletem as distintas dinâmicas que ocorrem na superfície topográfica, denunciando a própria

evolução do modelado e até mesmo determinando o sistema de uso e ocupação de uma área. Nesse sentido, a metodologia desenvolvida pela escola francesa (AECF) possibilitou estudos de organização lateral da cobertura pedológica, vindo a perceber que a diferenciação lateral do solo podia depender dos próprios mecanismos pedológicos, ou seja, que as coberturas pedológicas apresentavam sistema de transformação lateral com diferenciações ao longo da unidade estudada (vertente, bacia, etc.) e, que estes sistemas podiam contribuir ou até mesmo comandar a evolução do modelado em certas áreas (BOULET et al., 1984).

As organizações laterais se formam em equilíbrio com o meio que estão inseridos, mas, caso as condições se modifiquem no tempo e no espaço e altere as condições pedobioclimáticas, elas se tornam instáveis. Essa instabilidade dá origem ao que Boulet et al. (1984) chamaram de sistema de transformação, pois renovam para dar origem a novas estruturas em sintonia com as novas condições pedobioclimáticas. Essas novas organizações se davam de forma diferenciada em relação àquelas da cobertura inicial e se propagam lateralmente, formando os sistemas de transformação correspondente a alteração de uma cobertura inicial em outra cobertura com organização e dinâmica diferentes da primeira (BOULET et al., 1984; MARTINS, 2000).

Levando-se em consideração os processos e as estruturas que caracterizam esses sistemas de transformação, bem como os produtos transportados, os autores consideram dois tipos de sistema de transformação:

1 - Sistemas de transformação sem transferência lateral interna: identificada por Chauvel (1977), em estudos no Senegal, detectando a transformação de solos vermelhos ferralíticos do topo em solos beges ferruginizados em decorrência de variação climática.

2 - Sistemas de transformação com transferência lateral interna: identificada por Boulet (1974) na África, também, que identificou um sistema pedológico de predomínio caulínico a montante, arenoso no segmento mediano com características geoquímicas de eluviação e argiloso na jusante, com características geoquímicas de iluviação. O autor constatou plasma caulínico no segmento mediano, evidenciando que esta era a cobertura inicial do sistema e que esta mudança se deu a partir de variações climáticas.

No Brasil, alguns estudos se seguiram, como os de: Castro (1989), na região de Marília-SP; Salomão (1994), em Bauru-SP; Vidal Torrado (1994), em Tupã-SP; Cunha (1996), em Umuarama-PR; Martins (2000) em Cidade Gaúcha-PR e Zaparoli (2009) em Floraí-PR; constatando que, em geral, os sistemas de transformação são de caráter eluvial-iluvial (BOULET et al., 1984) e quando a cobertura inicial é latossólica, a transformação se dá por meio da separação do esqueleto e do plasma² caulínítico-ferruginoso, influenciado pela circulação hídrica vertical e lateral. Essa dinâmica exporta o plasma para a jusante, que se acumula, causando a diminuição da porosidade, modificação da drenagem e na estrutura, que passa de microagregada à montante, para poliédrica, à jusante.

Boulet et al. (1984) ainda faz alusão em relação a interferência antrópica na paisagem, considerando que a velocidade da evolução natural do sistema de transformação não se dá na escala humana, mas a cobertura pedológica em desequilíbrio constitui meios frágeis, que as ações antrópicas degradam rapidamente, caso não se adapte cuidadosamente as técnicas ao meio.

Em certos casos, a degradação corresponde aos primeiros estágios de transformação em condições naturais e, em outros, promovem o aparecimento de novos mecanismos, como por exemplo, a erosão, compactação, etc. Esse fato é percebido no Noroeste do Paraná, em que, caso a interferência humana não tenha promovido o aparecimento da erosão, certamente criou condições para aceleração e evolução destes processos, dada sua suscetibilidade (MARTINS, 2000).

² Os termos “esqueleto” e “plasma” referem-se aos estudos de micromorfologia do solo. O primeiro refere-se às areias constituintes do material pedológico, enquanto que o segundo refere-se às argilas (CASTRO, 1989).

2 CONTEXTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO

Os estudos dessa pesquisa se iniciaram a partir dos trabalhos de Bade et al. (2013) e Bade (2014), que definiu e caracterizou cinco unidades geoecológicas na grande área da Bacia Hidrográfica do Paraná III (BP3), oeste do Paraná. São essas unidades: Foz do Iguaçu (ao sul), São Francisco, Cascavel, Marechal Cândido Rondon e Guaíra (ao norte) (Figura 1). Nessa última situa-se o município de Terra Roxa-PR e, a escolha desse recorte espacial justifica-se uma vez que esta unidade se distingue das demais, pois nela encontra-se uma transição entre duas unidades litológicas (basaltos e arenitos), que confere a essa unidade uma diversidade de formas de relevo e de distribuição e/ou comportamento dos solos diferentes das demais unidades identificadas por Bade (2014).

Por essa razão, Bueno (2015) adotou o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e Instabilidade Emergente (ROSS, 1994) como a metodologia norteadora de sua pesquisa na Unidade de Guaíra. A autora determinou diferentes fragilidades (potenciais e emergentes) ambientais na paisagem dessa unidade, especialmente nas áreas de ocorrência de solos de textura médio-arenosa, provenientes da alteração dos arenitos da Formação Caiuá. Nesse sentido, surgiu a necessidade de estudos físico-químicos de maior detalhe com a finalidade de entender os processos envolvidos na instalação de erosões hídricas e, medidas de prevenção das mesmas.

Esses apontamentos levaram a adoção da metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECP), na perspectiva bidimensional (ABCP), proposta por Boulet et al. (1982) e sistematizada por Ruellan (1988) e Ruellan e Dosso (1993), uma vez que, essa abordagem visa o reconhecimento da distribuição dos solos ao longo de uma vertente que representasse um compartimento da paisagem. Além disso, é possível analisar a estrutura morfológica dos horizontes pedológicos e suas respectivas transições, tanto no sentido vertical como lateral ao longo de vertentes representativas.

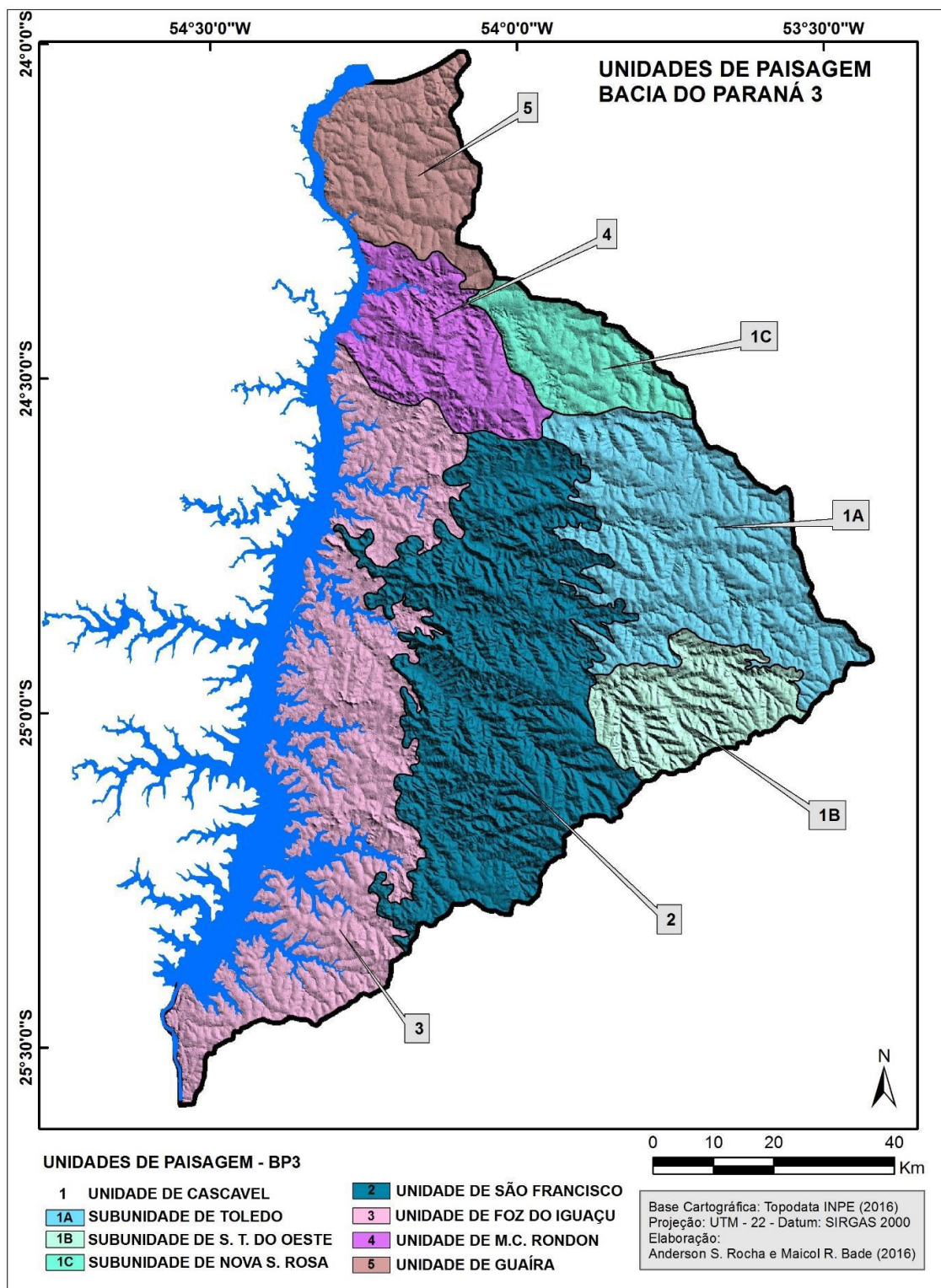


Figura 1. Localização da BP3, na região Oeste do Paraná. Na sequência, o indicador “5” mostra a localização geográfica da área correspondente a unidade geoecológica de Guaíra, no setor norte da Bacia.

Fonte: Rocha (2016).

Com isso, seguiu-se uma caracterização geral do contexto geográfico da Unidade Guaíra, relacionando as interações do quadro natural, seguido de uma breve caracterização do processo histórico de ocupação e de uso dos solos. O município de Terra Roxa (Figura 2) está localizado nas coordenadas 24°09'40" Sul e 54°06'30" Oeste, com altitude média de 260 m, no Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2012). Sua área corresponde está situada na mesorregião oeste do estado do Paraná (IBGE, 2016).

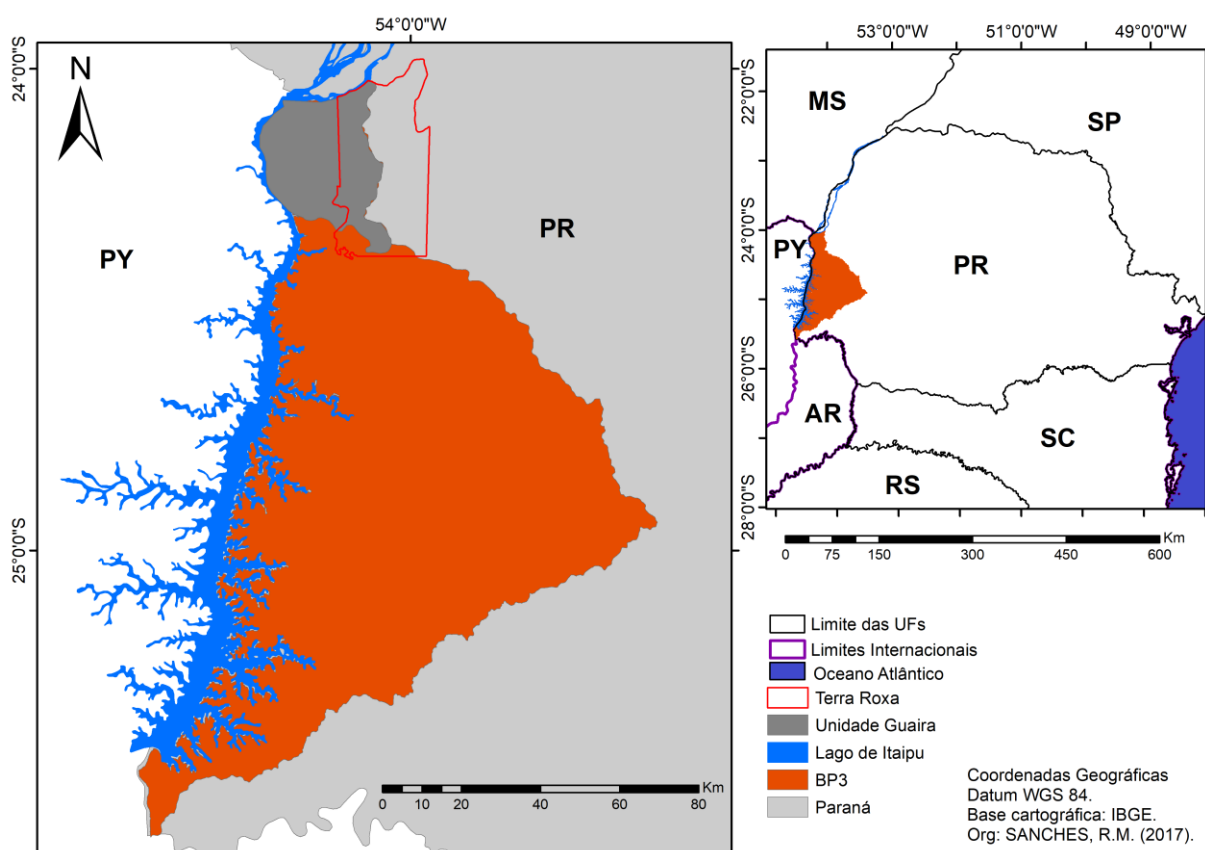


Figura 2. Localização da BP3 no Paraná e da Unidade Guaíra, com destaque para o município de Terra Roxa-PR.

O fato desse município estar inserido no contexto da grande área da BP3 merece atenção especial quanto a caracterização desse recorte espacial. Isso se justifica pois, trata-se de uma síntese da composição da paisagem do município de Terra Roxa por meio do entendimento e reconhecimento de seu entorno. Vale destacar que, mesmo sendo uma caracterização sucinta dos aspectos socioambientais do município, os aspectos relacionados à geologia, geomorfologia e

pedologia serão priorizados, tendo em vista a proposta e objetivo central desse estudo.

2.1 Breve descrição do quadro natural da unidade Guaíra

A BP3 possui uma área total de 7.979,40 km², o que corresponde a cerca de 4% da área de toda extensão territorial do estado. A bacia abrange um setor da região que abriga uma população aproximada de 645 mil habitantes, o que representa 6% da população paranaense. Nessa bacia está inserida a Hidroelétrica Binacional de Itaipu, a maior usina do mundo em geração de energia (SEMA, 2010). Ao norte, está limitada pela Área de Proteção Ambiental – APA Federal das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná e pelo Parque Nacional de Ilha Grande e, ao sul, pelo limite do Parque Nacional do Iguaçu.

Em termos de biodiversidade, predominam formações vegetais correspondes às Florestas Subtropicais, denominadas de Floresta Estacional Semidecidual (RODERJAN et al., 2002). A partir dos trabalhos de Ab'Sáber (2003), quando do reconhecimento e delimitação dos domínios paisagísticos brasileiros, pode-se constatar que a área está inserida em uma faixa de transição entre os domínios das Araucárias, Cerrado e Mares de Morros.

Baseado nas cartas climáticas do Paraná, o clima corresponde ao Subtropical Mesotérmico (Cfa, conforme classificação de Köppen-Geiger, 1936). Essa classificação é definida como uma condição de ocorrência de verões quentes, geadas pouco frequentes durante o inverno. A maior precipitação ocorre no verão e não apresenta estação seca definida. A temperatura média anual fica entre 22° e 23° C e precipitação de 1.400 a 1.600 mm anuais (IAPAR, 1994; SEMA, 2010).

Do ponto de vista geológico (Figura 3), a área está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, numa área correspondente a cobertura de rochas ígneas do Grupo São Bento – Formação Serra Geral e posterior recobrimento das rochas sedimentares que compõem o Grupo Bauru – Formação Caiuá (MINEROPAR, 2001). Em mapeamentos desenvolvidos por pesquisadores e órgãos estatais, o grau de detalhamento do mapeamento tende a homogeneizar a cobertura litológica. Como exemplo, pode-se citar a carta geológica utilizada pelo Instituto de Terras,

Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG), em escala de 1:250.000. Porém, a exemplo do que é descrito na literatura, a partir de observações empíricas para referenciar a contextualização geográfica da região (BADE, 2014; BUENO, 2015; ROCHA, 2016), observou-se que o território de Terra Roxa encontra-se em uma faixa de transição entre litologias, ígnea e sedimentar.

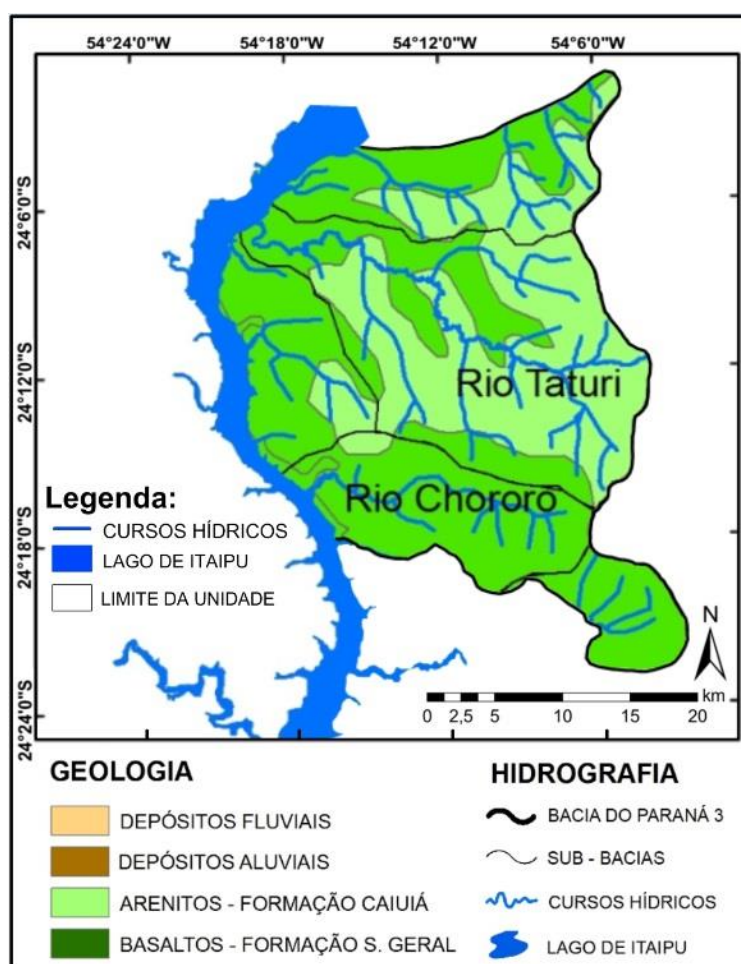


Figura 3. Distribuição das unidades litológicas na Unidade Guaíra.

Fonte: Rocha (2016).

As rochas ígneas da Formação Serra Geral resultam da Era Mesozóica, que configuram intensos derrames vulcânicos, com predomínio da consolidação de basalto (MAACK, 2012). Estes derrames são da idade Jurássico-Cretácea e recobrem as rochas sedimentares da Formação Botucatu, que recobriam a área até a ocorrência dos eventos mencionados (MINEROPAR, 2001). Todavia, o município em estudo situa-se em uma área de caráter transitório, adentrando aos espaços de ocorrência de uma litologia pertencente a Formação Caiuá. No Brasil, essa formação

está presente nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul (FERNANDES; COIMBRA, 1994; GHILARDI et al., 2011; FUMIYA et al., 2016).

A geomorfologia compreende a unidade morfoescultural correspondente ao Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2012), subunidade morfoescultural do Planalto de Campo Mourão (MINEROPAR, 2006; SANTOS et al., 2006). Esta subunidade apresenta características que lhe conferem certa particularidade, quando comparada com as demais subunidades do estado. Em relação às formas de relevo, a morfologia dominante apresenta uma dissecação baixa, com declividade entre 0 e 6%, se destacando colinas amplas com topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base, com vales abertos (SANTOS et al., 2006). A Figura 4 sintetiza os elementos topográficos que caracterizam a Unidade Guaíra.

Ainda, são encontrados dois sistemas pedológicos bastante distintos: Ao sul encontram-se os solos oriundos da alteração das rochas ígneas da Formação Serra Geral, apresentando textura argilosa; e, ao norte, encontram-se presentes os solos provenientes da alteração dos arenitos da Formação Caiuá, apresentando textura média e/ou arenosa, com predomínio de latossolos nos segmentos de topo, altas e médias vertentes, à medida que em setores de média a baixa vertente predominam os argissolos, podendo (ou não) ocorrer gleissolos ou neossolos quartzarênicos em fundos de vale (CUNHA, 1996; GASPARETTO, 1999; NAKASHIMA, 1993; 1999; CALEGARI, 2000; MARTINS, 2000; CUNHA, 2002; BUENO, 2015).

2.2 Considerações do processo de uso-ocupação das terras em terra roxa

As terras inseridas no contexto de colonização de Terra Roxa foram ocupadas por portugueses e espanhóis em paralelo à colonização brasileira, mesmo que sem expressividade numérica. Embora escassa a bibliografia sobre o tema, é importante salientar que essa região possuía uma expressiva concentração de populações indígenas de origem étnica Guarani (SOUZA; SILVA, 2007).

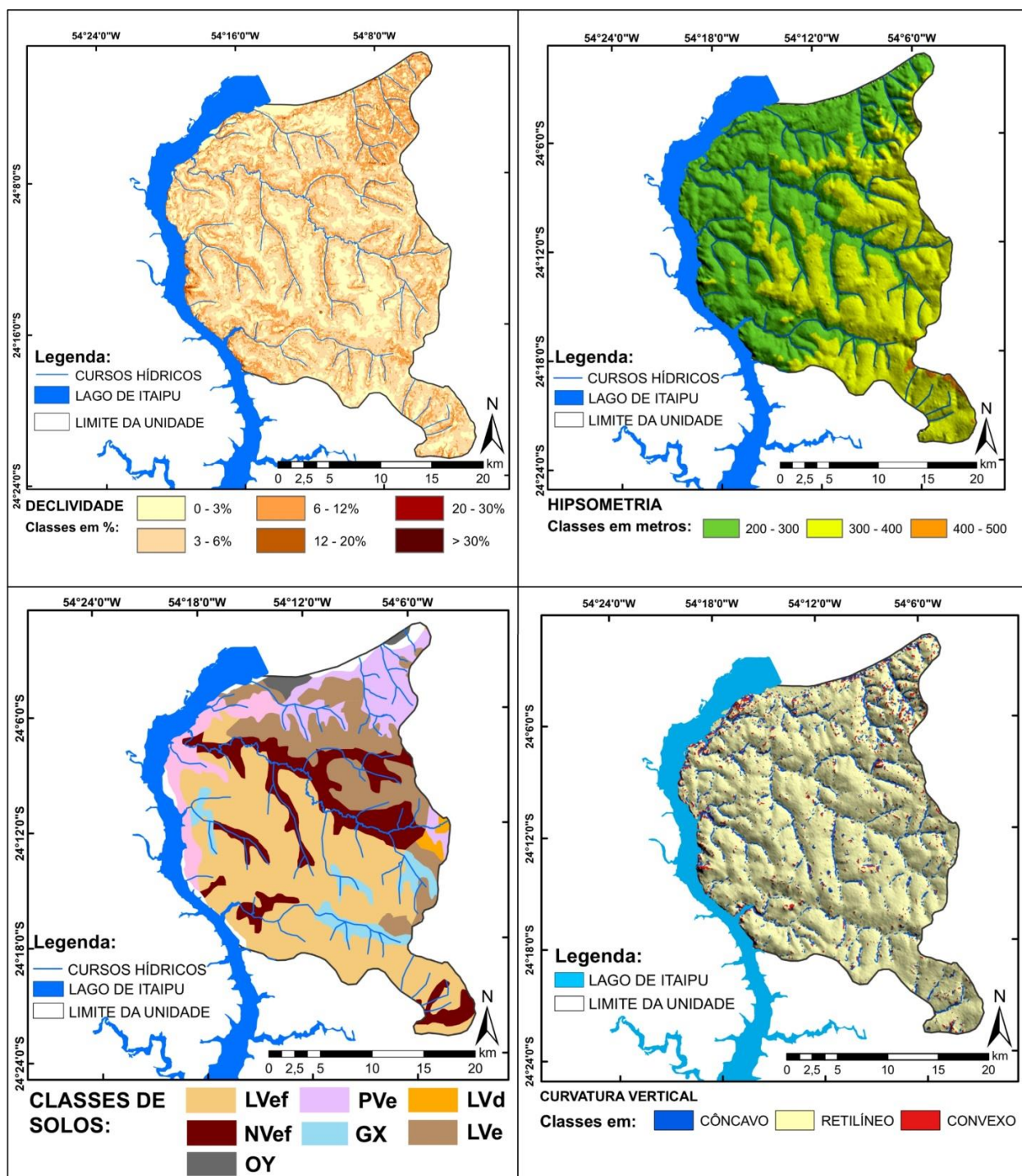


Figura 4. Distribuição das variáveis topográficas e solos da Unidade Guaíra.

Fonte: Bade (2014).

As primeiras transformações ocorridas na região se deram a partir de 1902, quando se estabeleceu a empresa Mate Laranjeira na região, dando início às chamadas *obrages* – política de ocupação, que o governo colocou em prática para

concessão de terras para companhias estrangeiras. Tinham por característica extrair erva-mate e madeira e se utilizavam de mão-de-obra de trabalhadores do país vizinho (Paraguai), que eram denominados de *mensus*. Essa produção era escoada pelo Rio Paraná e Estuário do Prata e seguiam, principalmente, para Argentina e para Inglaterra (GREGORY, 2002).

O autor também destaca que durante o período governamental de Getúlio Vargas (décadas de 1930 e 1950), havia interesse na criação do “Território de Iguazu” e a expansão da “marcha para o oeste”, levando o governo do Paraná a se comprometer com o estímulo da ocupação feita exclusivamente por brasileiros nesta área do oeste, até então bem pouco habitada. Assim, o modelo de ocupação dessa região se deu por meio da atuação de companhias de colonização que buscaram majoritariamente incentivar a ocupação da região com povos vindos dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Sobre as atividades econômicas estabelecidas no município, houve predomínio de atividades agrícolas desde a chegada dos migrantes provenientes de outros estados do sul do país. Esse fato se perpetuou ao longo de décadas e se intensificou no período atual. Acompanhando a forte tendência de propagação do cultivo de grãos, está voltado ao mercado de exportação, cultivado de forma intensiva por quase toda a região oeste do Paraná (BUENO, 2015).

O município de Terra Roxa foi criado pela Lei Estadual Nº 220, de 14 de dezembro de 1961, e intitulado em 27 de outubro de 1962 (WILLERS, 2010). O autor afirma que, logo após a emancipação do município, ocorreram mudanças econômicas, chamando a atenção para a década de 1970. Nesse período foi quando da melhoria de infraestrutura na região e, da instalação de um sistema agrícola centrado no binômio milho-soja, altamente tecnificado e com vasto uso de insumos agrícolas.

Recentemente, Rocha (2011) afirmou que, nesse período, a introdução de maquinários e insumos nos municípios da região Oeste do Paraná acabaram provocando a perda de autonomia, descapitalização de agricultores e aceleração do processo migratório da população, favorecendo a concentração de terras por alguns agricultores mais abastados. Outros fatos, ainda, contribuíram para o êxodo rural, como as geadas ocorridas na segunda metade da década de 1970, a

desapropriação de terras agrícolas as margens do Rio Paraná para a construção da barragem de Itaipu e o incentivo do setor industrial (ROCHA, 2016).

3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO DOS ATRIBUTOS PEDOLÓGICOS NA VERTENTE ANALISADA

Nesse item serão abordados os materiais e métodos que nortearam o desenvolvimento dessa pesquisa. É importante salientar que a compreensão do solo na paisagem se dá por meio do reconhecimento da influência da rocha e da geomorfologia sobre os mesmos. Essa condição levou Queiroz Neto (2001) a discorrer sobre os estudos de solo, quando aplicados em consonância com as pesquisas em Geomorfologia, destacando dois objetivos, a saber: (1) empregar o solo como indicador de maior (ou menor) estabilidade de paisagens e, (2) relacionar o desenvolvimento e a infiltração de água no solo e o escoamento superficial como agentes indispensáveis na ocorrência de erosões hídricas em vertentes.

Para compreender a distribuição e o comportamento dos solos na paisagem, utiliza-se de diversas técnicas que buscam entender a integração que existe entre solo e relevo, pois a Geomorfologia não é capaz de resolver suas questões somente a partir da compreensão das formas de relevo e, paralelamente, os pedólogos não solucionam suas necessidades, principalmente as que envolvem a pedogênese, sem entender a evolução da paisagem e os processos nela atuantes (VIDAL TORRADO, 1994).

A partir dessa concepção, entende-se que estudo em pedotopossequência³ é de fundamental importância para o entendimento de diferentes dinâmicas que envolvem a relação solo-relevo em um compartimento da paisagem. De maneira geral, em estudos dessa natureza, inicia-se com o delinear de um eixo que se inicia no topo, prosseguindo até a base de uma vertente, que represente a distribuição dos solos ao longo de um segmento da paisagem. Quando o solo permite, começa-se por um estudo com o trado a fim de localizar precisamente as trincheiras em pontos representativos, e também de maneira a permitir a observação e descrição

³ Para Boulet *et al.* (1982a), “topossequência de solos” é uma “seção longitudinal de solos, isto é, ao longo dos interflúvios (do topo ao fundo de vale), obtida através de observação de perfis verticais de solos alinhados em eixo topográfico perpendicular às curvas de nível, cuja representação se dá em *continuum*”. Recentemente, alguns estudiosos entenderam ser o termo “pedotopossequência” o mais adequado para estudos que compreendem a relação solo-paisagem, já que este demonstra a distribuição e o arranjo dos solos a partir do papel do relevo no seu processo de desenvolvimento e determinação de dinâmicas pedogenéticas.

morfológica dos perfis-tipo, seus horizontes, limites, suas transições e feições pedológicas, já que a tradagem apresenta limitações.

Com a locação de trincheiras pedológicas, é realizada a descrição macromorfológica nas paredes e coleta de amostras deformadas e indeformadas de amostras de solo para análise laboratorial. Esses procedimentos foram seguidos de acordo com as descrições de Santos (2015) e As análises de laboratório conforme Embrapa (2011). A figura 5 representa, sinteticamente, as etapas empregadas.

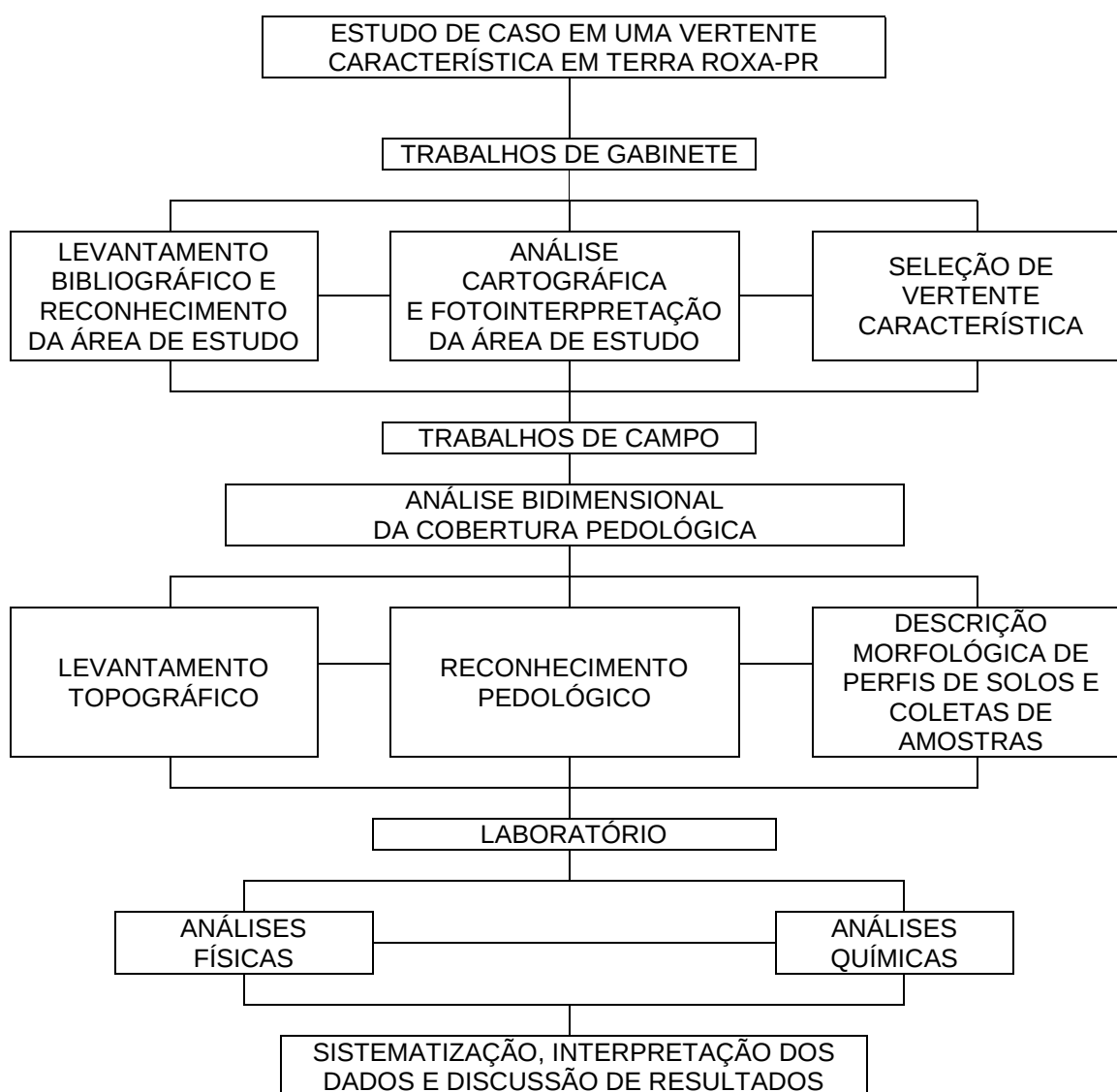


Figura 5. Fluxograma metodológico.

3.1 Conhecimentos preliminares

Na fase inicial do trabalho, partiu-se de um levantamento bibliográfico, com reflexões teóricas e metodológicas constantes acerca da temática proposta. A revisão bibliográfica se direcionou ao desenvolvimento da Ciência do Solo e sua aplicabilidade em estudos geográficos, na relação solo-relevo, com base na análise integrada da paisagem, na AECP, sistemas de transformação e, acerca da degradação dos solos por meio de processos erosivos. Ainda, foram realizadas pesquisas pertinentes à caracterização da ocupação histórica da região e de elementos do meio físico do município de Terra Roxa-PR, destacando-se elementos que evidenciassem a geologia, pedologia e geomorfologia regional.

Na confecção do perfil-tipo utilizado nesse trabalho contou-se com o auxílio de ferramentas como *Surfer*®, *Corel Draw*®, *ArcGis*®, *Global Mapper*® e *Google Earth Pro*®, com vistas a representar os diferentes elementos da paisagem necessários para análise geográfica da área de estudo. A decisão tomada a favor do município de Terra Roxa-PR deu-se em função de não apresentar estudos de natureza morfopedológica. Ainda, ao fato de que Terra Roxa-PR apresenta as características naturais mencionadas anteriormente e, problemas quanto a instalação de processos erosivos lineares em segmentos de sopé e fundos de vale, aonde os solos apresentam maior fragilidade potencial e emergente.

3.2 Campanhas de campo

Os trabalhos de campo se deram em três campanhas, totalizando dez dias de trabalho. Inicialmente, com a finalidade de se obter a forma da vertente e a declividade, foi realizado o levantamento topográfico (Figura 6). Esse procedimento contou com auxílio de materiais como clinômetro, bússola, metro (de madeira, 2m) e trena (50m) e seguiu as orientações descritas por Boulet et al. (1982) e Marques et al. (2000). Com os dados obtidos, buscou-se representar graficamente esse perfil em papel milimetrado, com escalas previamente determinadas: horizontal (1:2000) e

vertical (1:500), de modo que até mesmo as pequenas formas encontradas na topografia foram representadas, mantendo-as, assim, mais próximas da realidade.

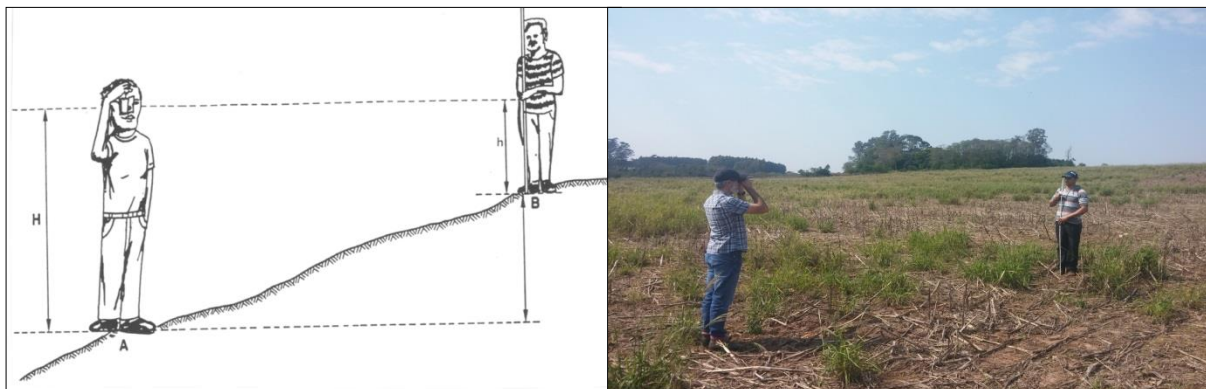


Figura 6. Levantamento topográfico.

Fonte: Esquema de Marques et al. (2000) e fotografia do acervo pessoal do autor.

Ao observar as variações topográficas do terreno, obtidos por meio do levantamento topográfico, realizou-se o reconhecimento pedológico (Figura 7). Esse procedimento contou com uso de trado manual do tipo holandês, tabela de cores (*Munsell Soil Color Charts*, 1954), faca pedológica, piceta com água e pedocomparador para armazenagem de amostras de cada sondagem. As tradagens foram realizadas até a profundidade de 2 m, seguindo o que foi descrito por Boulet (1988) e, o material amostrado foi descrito conforme Santos (2015).

Esse procedimento visou obter uma primeira aproximação da distribuição dos principais horizontes pedológicos e de suas transições. As informações foram transcritas para o perfil topográfico no ponto de cada sondagem, profundidade na escala (1:100), para representação de todos os possíveis horizontes pedológicos encontrados, bem como suas respectivas transições. Essa etapa orientou a locação das trincheiras ao longo da vertente, considerando-se as principais mudanças texturais e de cor do material amostrado.

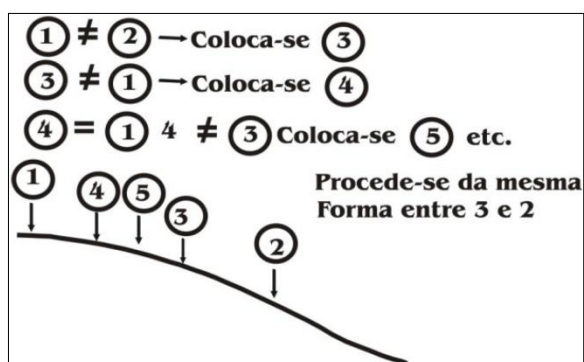


Figura 7. Reconhecimento pedológico.

Fonte: Boulet (1988).

A última etapa de campo se caracterizou pela locação, abertura e descrição macromorfológica do perfil expostos nas trincheiras, que seguiu os procedimentos e critérios estabelecidos por Santos (2015). Foram analisadas os três perfis de solos ao longo da pedotopossequência, em função das observações feitas durante o reconhecimento pedológico. A partir desse momento, foram feitas as observações e descrições macromorfológicas dos perfis de solo, observando-se a sucessão dos horizontes, seus limites, suas transições e feições pedológicas. Ainda, conforme Santos (2015), procedeu-se a coleta de amostras deformadas e indeformadas de solos que, posteriormente, foram encaminhadas para realização de análises laboratoriais.

3.3 Atividades desenvolvidas em laboratório

As análises laboratoriais (físicas e químicas) foram realizadas nas seguintes instituições: Laboratório de Solos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* de Medianeira (UTFPR); Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE); Laboratório do Grupo Multidisciplinar de Estudos do Ambiente da Universidade Estadual de Maringá (GEMA-UEM) e Laboratório de Química e Mineralogia de Solos da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

3.3.1 Preparo de amostras

As amostras coletadas nas trincheiras foram transferidas para caixinhas pré-montadas de papelão nas dimensões de 7,0 x 7,0 x 8,5 cm, devidamente identificadas conforme orientações de Santos (2015). As caixinhas foram acondicionadas em bandejas de metal e colocadas em estufa para secagem à aproximadamente 60°C por um período de 48 horas. Quando seco, o solo foi triturado em moinho tipo martelo e passado em peneira com malha de 2 mm de diâmetro de abertura para serem destorroadas e remover torrões e materiais impróprios que estivessem presentes na amostra. Em seguida, as amostras foram recolocadas na mesma caixinha de papelão. Este procedimento gerou um material denominado de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

3.3.2 Análises físicas

Estas análises foram realizadas a partir das bases metodológicas e operacionais do “Manual de Métodos e Análise de Solo”, desenvolvidos pela EMBRAPA (2011), conforme segue:

» Granulometria – análise realizada com o objetivo de conhecer a composição granulométrica dos perfis de solos ao longo da vertente. Foi desenvolvida a partir do método da pipeta, em que foram utilizadas 20g de TFSA para 20 ml de dispersante (Sódio Hexametáfosfato 44,6g/L) e completado o volume do Becker com água destilada, até a marca dos 100 ml. Após, as amostras foram agitadas por 24 horas em uma mesa agitadora orbital analógica, modelo SP-180/A e seguiram-se os procedimentos descritos em Camargo et al. (1986) para pipetagem, obedecendo a Lei de Stokes. Posteriormente, as areias foram separadas pelo método do peneiramento e realizados os seguintes cálculos:

% de areia grossa

$(PDA - PAF) \times 5 \times f$

% de areia fina

Peso da areia fina $\times 5 \times f$

% de silte

$100 - (\% AF + \% AG + \% \text{argila})$

% de argila

$((PA + \text{dispersante}) - PD) \times 200 \times f$

Onde: PA = peso da argila; PD = peso do dispersante; PDA = peso das areias; PAF = peso da areia fina; AF = areia fina; AG = areia grossa; f = fator de umidade residual.

» Argila Natural – para a obtenção da argila dispersa em água foram utilizados os mesmos procedimentos da análise granulométrica sem, contudo, adicionar o dispersante. A dispersão do material foi obtida apenas com água destilada e sem separação de areias. O teor de argila dispersa em água, em relação ao teor de argila total, servirá para determinar o grau de floculação e de dispersão dos materiais, que auxiliarão na avaliação de sua estabilidade. Para estes cálculos foram utilizadas as seguintes fórmulas:

Grau de floculação	Grau de dispersão
$100 \times \frac{(\text{argila total [\%]} - \text{argila dispersa em água[\%]})}{(\text{argila total [\%]})}$	$100 - \text{grau de floculação}$

» Relação silte/argila – foi calculada dividindo-se os teores de silte pela argila, resultantes da análise granulométrica e serve como indicativo do estágio de intemperismo. Em solos argilosos e muito argilosos, quando apresenta, na maior parte do horizonte B, valor < 0,6, o grau de intemperismo é alto. Para solos de textura média, os valores abaixo de 0,7, no mesmo horizonte, indicam avançado estágio de intemperismo (EMBRAPA, 2007).

» Relação textural B/A – indica o gradiente textural entre o horizonte superficial A e o horizonte diagnóstico B dos solos. É calculado pela divisão do teor médio de argila total do B (excluído BC) pelo teor médio de A ou E. Para indicar o incremento de argila dos horizontes A para B, deve-se levar em consideração o teor de argila dos tipos de solos analisados, como: solos com teores menores a 15% de argila, devem apresentar a relação textural > 1.8; solos com teores entre 15 e 40% de argila devem apresentar relação textural > 1.7; e solos com teores maiores a 40% de argila devem apresentar relação textural > 1.5.

» Densidade do Solo – coletou-se amostras indeformadas de solo nas paredes das trincheiras, na profundidade média de cada horizonte. As coletas ocorreram por meio do anel volumétrico de bordas cortantes com volume interno de 100 cm³ e massa previamente conhecida. Posteriormente, os anéis com o material

foram colocados em estufa a 105°C por 24 horas. O próximo passo foi retirar as amostras para resfriar e novamente pesados, a fim de desconsiderar a influência da umidade do material. O resultado foi expresso em kg.dm⁻³ e obtido de acordo com a seguinte fórmula:

$$D_s = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C (kg)}}{\text{volume do anel (cm}^3\text{)}}$$

» Densidade de Partículas – os valores foram obtidos por meio da relação entre a massa de sólidos do solo e de seu volume, sendo expressa em kg.dm⁻³. Consistiu na determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo amostra de solo seco em estufa. Pesou-se 20g de solo, em condições naturais e colocados em lata de alumínio de massa conhecida e levados à estufa por 12 horas. Após o resfriamento, pesou-se, a fim de obter a massa da amostra seca a 105°C. Em seguida, transferiu-se a amostra para o balão volumétrico aferido de 50 ml, adicionado álcool etílico até completar 25 ml. Agitou-se bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formaram e prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até a eliminação total de bolhas. Depois de 90 minutos de repouso, completou-se o volume do balão em 50 ml e anotou-se o volume de álcool gasto. Para obtenção do resultado, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$D_p = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C (kg)}}{50 - \text{volume de álcool gasto (m}^3\text{)}}$$

» Porosidade Total – foi determinada pelo volume dos poros totais do solo ocupados por água e/ou ar, sendo estimada através da obtenção dos dados de densidade do solo (DS) e densidade de partículas (DP). Utilizou-se da seguinte fórmula:

$$PT = \frac{(\text{Densidade de partículas [kg.dm}^{-3}\text{]} - \text{Densidade do solo [kg.dm}^{-3}\text{]})}{\text{Densidade de partículas [kg.dm}^{-3}\text{]}} \times 100$$

» Umidade Volumétrica – as amostras coletadas com anel volumétrico foram encaminhadas para estufa a uma temperatura de 105°C por 24 horas. Depois desse

tempo, foram acondicionadas no dessecador e, ao serem pesados, foi possível conhecer a umidade da massa do solo a partir do cálculo:

$$U = \text{massa da amostra úmida} - \text{massa da amostra seca}$$

» Resistência à Penetração – em cada horizonte de solo identificado nos perfis, utilizou-se o penetrômetro de cone com anel dinamométrico, da marca *SoilControl*®, modelo PAD-100, pois é normalmente utilizado para detectar o grau de adensamento ou compactação dos solos. Para efetuar as medidas posicionou-se o penetrômetro verticalmente, aplicando pressão manual constante a cada leitura, até que fosse introduzido totalmente o cone no solo. As medidas foram lidas em Kgf (quilograma-força), realizando a leitura no dinamômetro analógico instalado no anel dinamométrico do penetrômetro e convertendo-as para a carga aplicada. A resistência de penetração foi determinada dividindo-se a carga de penetração (Kgf) pela área da base do cone (cm^2). Como o diâmetro da base do cone é 28,4 mm, a área da base do cone é de $6,33\text{cm}^2$.

3.3.3 Análises químicas

Estas análises foram realizadas a partir das bases metodológicas e operacionais propostas por Pavan et al. (1992), para fins de classificação do solo e caracterização química. Foram realizadas as seguintes análises:

» Determinação do fósforo – pesou-se 0,439g de KH_2PO_4 em um balão volumétrico de 1000 ml. Depois, foi adicionado 3 ml de H_2SO_4 PA concentrado e completou-se o volume com água destilada. Esta solução contém 100ppm de P. Diluir as soluções de P (100ppm) nas seguintes concentrações: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 ppm em solução de Mehlich. Na realização da extração foi transferido 3cm^3 de TFSA para um copo plástico de 60 ml, adicionado 50 ml da solução de Mehlich⁻¹; agitou-se durante cinco minutos e deixou descansando uma noite. Para a determinação dos resultados foi pipetado 5 ml de alíquota em tubos de 30 ml e adicionado 10 ml da solução B, uma pitada de ácido ascórbico e agitou-se até a dissolução total. Após 30 minutos, foi efetuado a leitura no espectrofotômetro a 360nm, seguindo a construção da curva de calibração.

» Determinação do potássio – na solução de K^+ 1000ppm, secou-se 3 g de KCl PA durante duas horas a 200°C na mufla e deixou esfriar no dessecador. Transferiu-se 1,907 g do sal para o frasco de 1000 ml e completado o volume com água destilada. Quanto a solução padrão de K^+ , foi transferido 5, 10, 20 e 40 ml da solução de K^+ 100 ppm para o frasco de 1000 ml e completado o volume com a solução de Mehlich. Estas soluções contêm 5, 10, 20 e 40 ppm de K^+ e para sua determinação foi transferido 20 ml do extrato Mehlich⁻¹ para tubo de ensaio de 30 ml e efetuado leitura no fotômetro de chama, após ajuste do aparelho com a solução padrão de K. Posteriormente, realizou-se o cálculo:

$$K \text{ meq} / 100 \text{ ml} = \text{ppm} \times 0,0256$$

» Determinação do pH em $CaCl_2$ – transferiu-se 8cm³ de TFSA para um copo plástico de 60 ml e adicionado 20 ml da solução $CaCl_2$ 0,01M. Agitou-se durante 15 minutos a 250rpm e foi efetuado leitura no potenciômetro após 30 minutos.

» Determinação da acidez trocável (Al) em KCl – Foi transferido 10 cm³ de TFSA para *erlenmeyer* de 125 ml; adicionou-se 100 ml de KCl 1N, agitou-se e foi deixado em repouso durante uma noite. A seguir, transferiu-se 15 ml do sobrenadante para *erlenmeyer* de 125 ml, adicionado 25 ml de água destilada, três gotas de solução de azul de bromotimol 0,5% e titulou-se com NaOH 0,015N. Conduziu-se uma prova em branco titulando-se uma alíquota de 25 ml de KCl 1N sem o extrato de solo. Sendo V o volume em ml de NaOH 0,015N gasto na titulação, calculou-se:

$$Al \text{ (meq/10 ml)} = V \text{ NaOH}$$

» Fatoração da solução de NaOH 1,0 N –transferiu-se para *erlenmeyer* de 125 ml cerca de 2 g de ftalato ácido de potássio ($KHC_8H_4O_4$, PM = 204,23), adicionou-se 50 ml de água destilada e quatro gotas de fenolftaleína 0,1% m/v em etanol absoluto (solução incolor) e titulou-se com a solução de NaOH 1N. O ponto final da titulação foi indicado pelo aparecimento de uma coloração rósea. A solução de NaOH foi fatorada semanalmente. Sendo m = peso em mg de ftalato ácido de potássio, N = normalidade da solução de NaOH, V = volume em ml de NaOH 1N

gasto na titulação e PM = peso molecular do ftalato ácido de potássio (204,23), calcula-se:

$$F = \frac{m}{N \times V \times PM}.$$

» Determinação da acidez potencial (H + Al) com solução de CaAc₂ – foi transferido 10 cm de TFSA para *erlenmeyer* de 250 ml, adicionado 150 ml de CaAc₂ 1N, agitou-se por uma hora e deixou em repouso durante uma noite. Transferiu-se 100 ml do sobrenadante para *erlenmeyer* de 250 ml, adicionado quatro gotas de fnoftaleína 0,5% e titulado com NaOH 0,1N até coloração rósea. Paralelamente, titulou-se, também, uma prova em branco. Em seguida realizou-se o cálculo:

$$100g = \frac{\text{Meq H}^+ \text{ Al}^3}{1,67 \cdot (V_2 - V_1) \cdot f}.$$

Onde: V₁ = volume de NaOH 0,1N gasto na titulação da prova em branco

V₂ = volume de NaOH 0,1N gasto na titulação da amostra

f = fator da solução de NaOH 0,1N

1,67 = [(100g x 0,1N) : (10g x 100:150)] : 0,9

100g = meq de H⁺ Al³⁺ em relação a 100g de solo

0,1N = concentração de NaOH

10g = peso da TFSA

100ml = volume da alíquota

150ml = volume do extrator

0,9 = fator da eficiência do método (90%)

» Determinação da acidez potencial (H + Al) com a solução tampão SMP – foi adicionado 4 ml da solução SMP em copo plástico contendo a amostra de solo utilizada para determinação do pH em CaCl₂ 0,01M. Agitou-se por 20 minutos a 220 rpm e deixou-se em repouso por uma noite. Na manhã seguinte, agitou-se por mais 10 minutos, deixado em repouso por 30 minutos e efetuou-se a leitura do pH com potenciômetro.

» Determinação de Ca e Mg trocáveis em KCl por EAA – foi necessário transferir 10 cm de TFSA para *erlenmeyer* de 125 ml, adicionou-se 100 ml de KCl 1N, agitou-se por 15 minutos e foi deixado em repouso durante uma noite. No dia seguinte, retirou-se uma alíquota de 0,1 ml da solução sobrenadante e adicionado 4,9 ml da solução de lantânio (La) 0,1%. As determinações de Ca e Mg foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) utilizando-se as soluções padrões de Ca e Mg contendo La e KCl nas mesmas concentrações do extrato. Sendo ppm a concentração de Ca^{2+} ou Mg^{2+} em mg l^{-1} , determinado por EAA, calculou-se:

$$\text{Ca}^{2+} \text{ meq/100ml} = \text{ppm} \times 2,50$$

$$\text{Mg}^{2+} \text{ meq/100ml} = \text{ppm} \times 4,113$$

» Determinação do carbono orgânico – foi transferido 1,0 cm^3 de TFSA para *erlenmeyer* de 250 ml, adicionado 10 ml da solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N e 10 ml de H_2SO_4 concentrado. Deixou-se esfriar durante 30 minutos, adicionou-se 50 ml de água destilada, 3 ml de H_3PO_4 concentrando e 0,5 ml do indicador (difenilamina 1%). Titulou-se lentamente com a solução de FeSO_4 1N até coloração verde (V_2). Nos casos em que a coloração tornou-se verde antes da titulação, adicionou-se mais 10 ml de dicromato de potássio e ácido sulfúrico. O cálculo consistiu em:

$$\%C = \frac{(V_2 - V_1)}{0,3896 \text{ g}} \times f$$

Onde: V_1 = volume de FeSO_4 1N, em ml, gasto na amostra

V_2 = volume de FeSO_4 1N, em ml, gasto na prova em branco

f = fator de correção da solução de FeSO_4 1N

0,3896 = é o valor obtido da relação 0,30/0,77

0,30 = é o equivalente grama de C em 100g

0,77 = indica a eficiência do método (77%)

4 A DINÂMICA MORFOPEDOLÓGICA DA PEDOTOPOSSEQUÊNCIA DA ESTRADA DO CRUZEIRINHO

Nesse item, a interpretação e correlação dos dados, sob a perspectiva holística da Análise Integrada da Paisagem e da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, possibilitaram confirmar a distribuição dos solos na área sob litologia sedimentar da Formação Caiuá e compreender seu comportamento frente aos processos erosivos hídricos.

4.1 Caracterização dos aspectos físicos na bacia do córrego Tamanduá

A propriedade em que se localiza a vertente estudada integra a Bacia Hidrográfica do Córrego Tamanduá. Trata-se de uma drenagem de segunda ordem representativa das bacias encontradas na margem direita do Rio Taturi e dos seus respectivos afluentes, no interior da unidade morfoescultural de Guaíra. A caracterização e a identificação dos aspectos físicos da Bacia do Córrego Tamanduá foi baseada, essencialmente, nos resultados obtidos por meio da AECP, associada aos levantamentos (bibliográficos e de campo), bem como aqueles realizados por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A área está inserida na bacia do Rio Taturi, marcada pela presença das duas litologias já descritas no Capítulo 2 deste trabalho (Formações Serra Geral e Caiuá). Em geral, apresenta baixo grau de dissecação, raramente com valores superiores a 12% de declividade, se destacando, portanto, as colinas amplas com topos aplainados, vertentes retilíneas e convexas e vales em V aberto (Figuras 8 e 9). Os setores de fundos de vale da área foram revolvidos e morfologicamente modificados no processo de ocupação da região e, agora, após implantação do Projeto “Cultivando Água Boa”, proposto pela Itaipu Binacional, dão indícios de estabilidade ambiental.

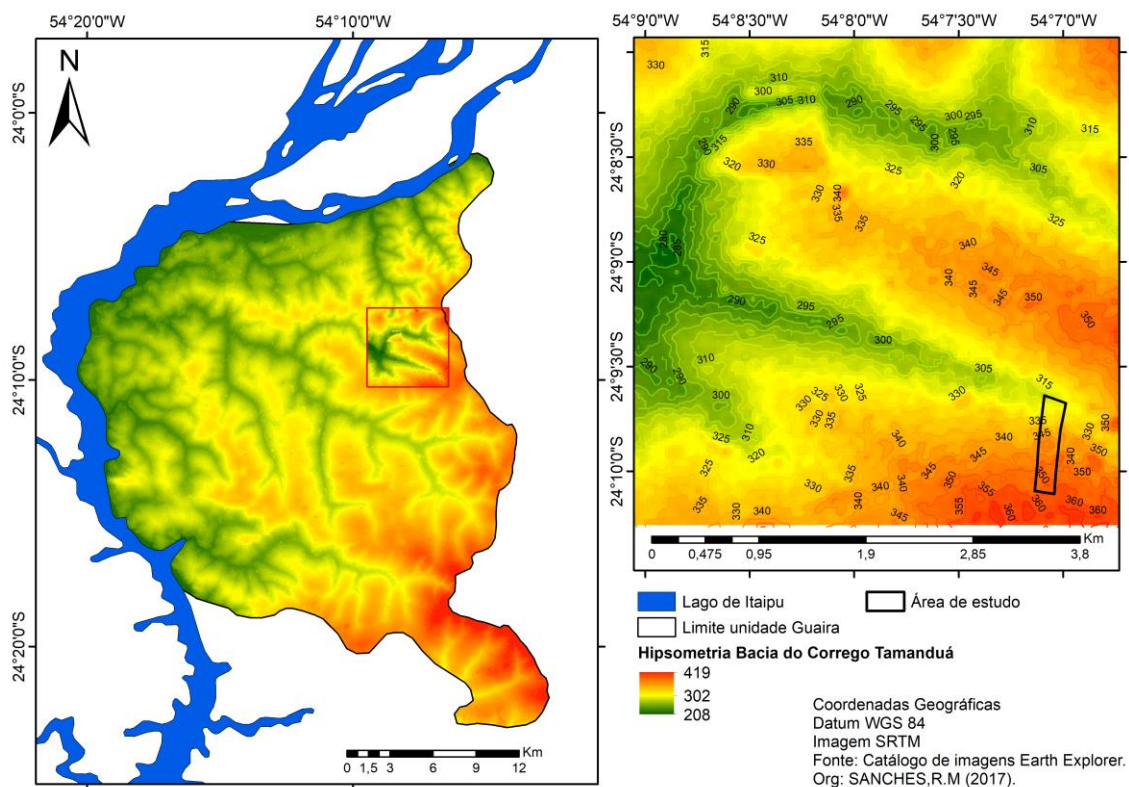


Figura 8. Mapa hipsométrico da Unidade Guairá.

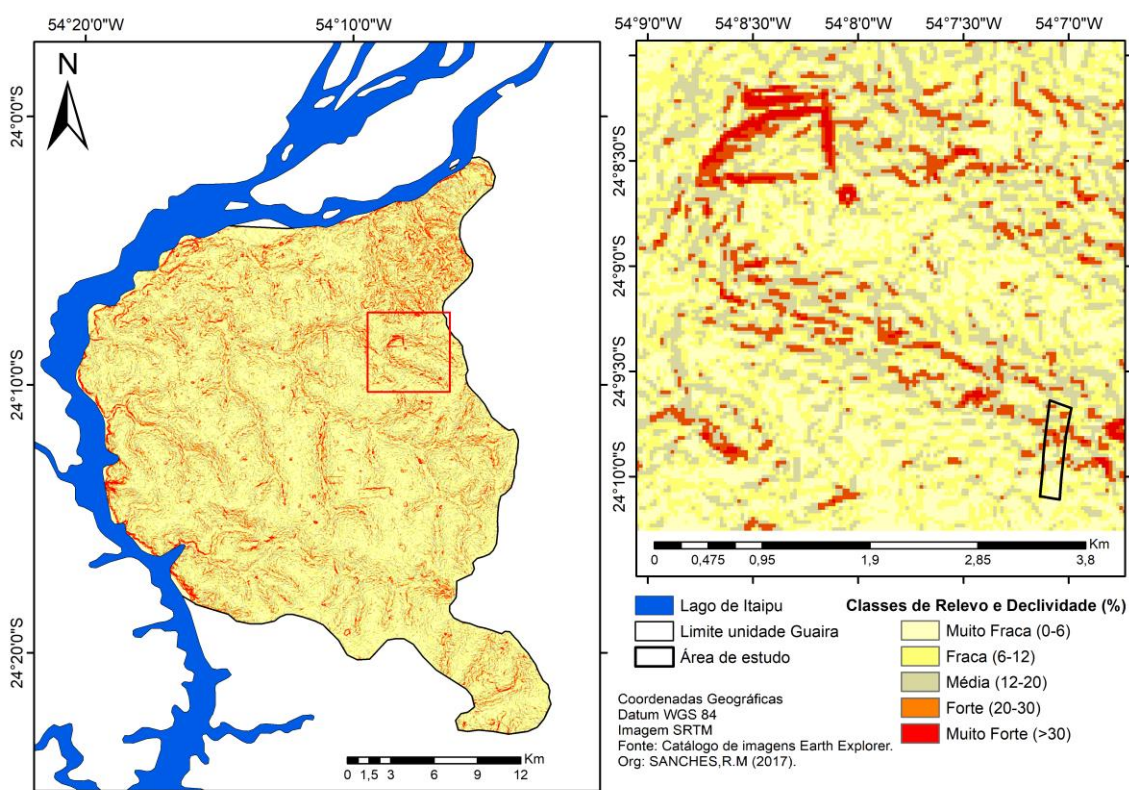


Figura 9. Mapa das classes de relevo e declividade na Unidade Guairá.

O levantamento da cobertura pedológica reflete as condições de relevo, também constatado nos trabalhos de Bade (2014) e Bueno (2015), com latossolos em áreas de topo, argissolos em média/baixa-vertente e, solos hidromórficos em alguns setores de fundo de vale.

Deve ser chamada atenção que, a carta de solos (Figura 10), é o reflexo da generalização do mapeamento geológico da região. Em áreas de ocorrência dos arenitos da Formação Caiuá têm-se a ocorrência de argissolos na média-vertente. no entanto, na carta observa-se a representação de nitossolos que, regionalmente, ocorrem em áreas de domínio basáltico.

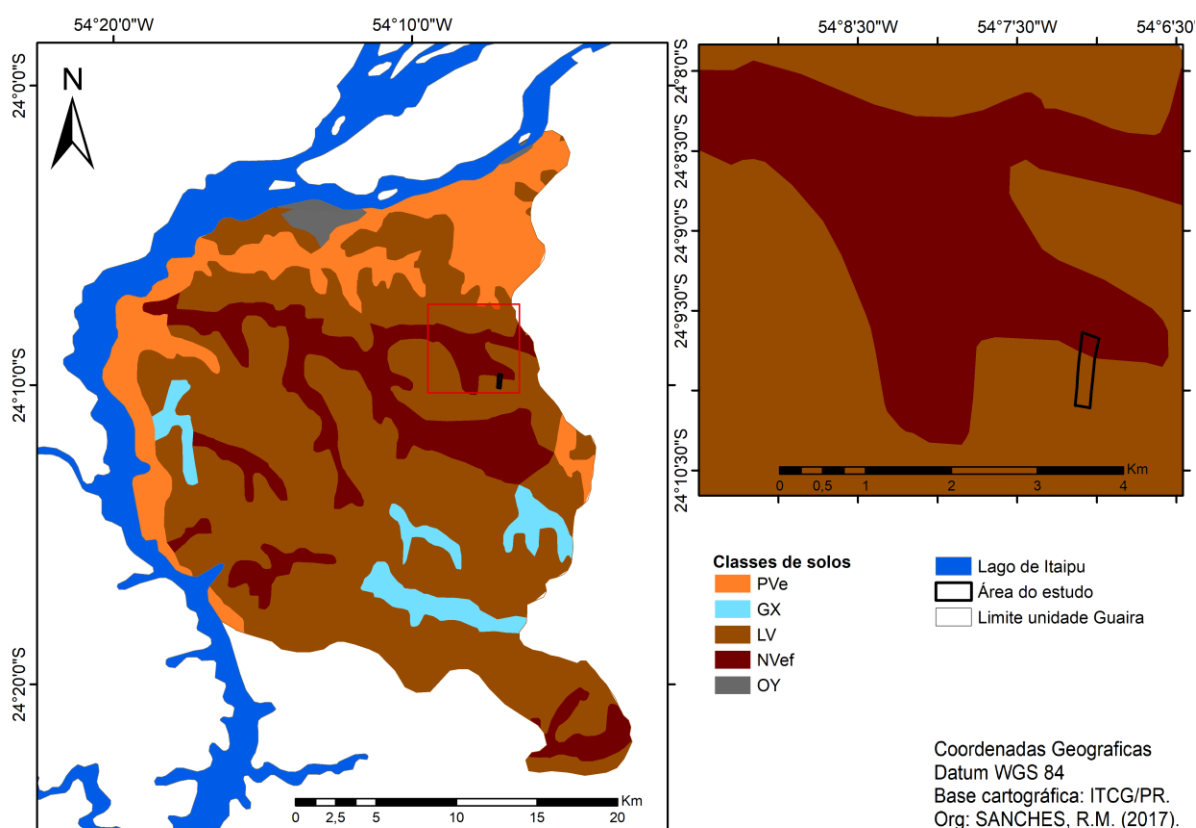


Figura 10. Mapa das classes de solos na Unidade Guará.

4.2 Organização bidimensional, caracterização morfológica dos solos e os sistemas de transformação pedológica na pedotoposequência do cruzeirinho

A vertente selecionada (Figura 11) possui aproximadamente 1.000 metros de extensão e é representativa dos sistemas pedológicos e topográficos da Bacia Hidrográfica do Córrego Tamanduá. Excluindo-se os trechos de topo e fundo de vale, a pedotoposequência apresenta aproximadamente 740 m, de montante para jusante, variando pouco mais de 42 m de desnível topográfico. Está sob o cultivo agrícola com duas safras anuais, utilizando-se das técnicas adotadas pelo Plantio Direto, com soja no verão e milho no outono/inverno.

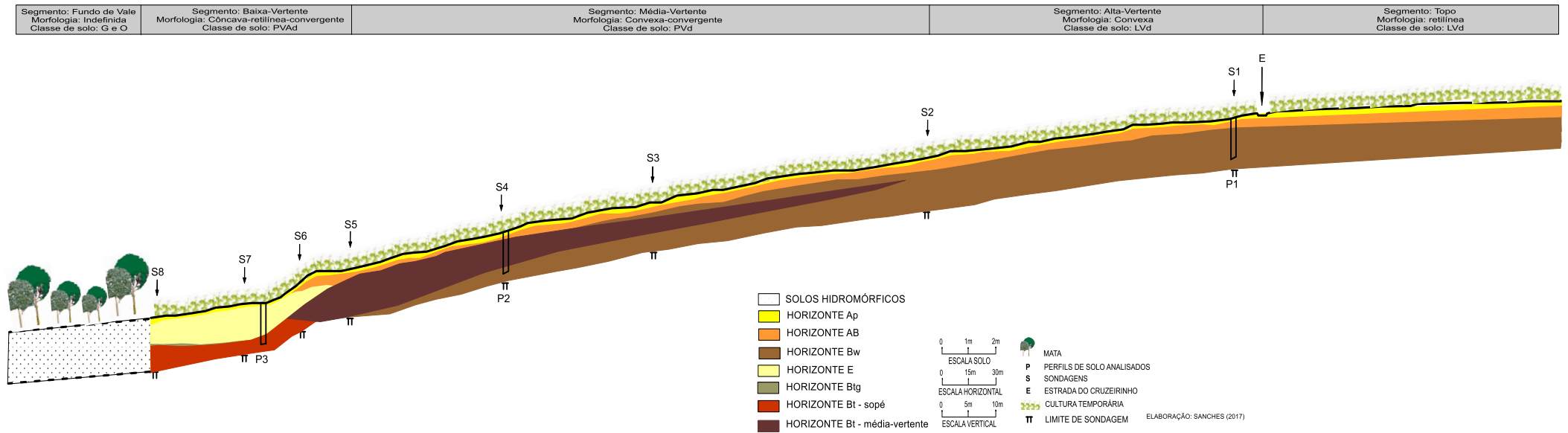


Figura 11. Esboço representativo da Pedotopossequência Estrada do Cruzeiroino, em Terra Roxa-PR.

A forma da vertente (convergente-convexa-côncava) confirma um relevo plano a suave ondulado, com baixo desnível altimétrico (42 m), quando leva-se em conta a extensão (740 m). A relação de concordância entre os horizontes e a forma da vertente mostra a estabilidade da evolução do sistema pedológico em sintonia com o contexto do relevo. Todavia, o sistema pedológico latossolo-argissolo mostra-se influenciado pelas alterações morfológicas do setor de jusante, contribuindo para sua instabilidade, o que pode ser confirmado ao observar a dinâmica pedológica na vertente e o aceleração das frentes de transformação em todo o sistema.

Essas condições foram suficientes para que fossem constatadas mudanças na morfologia do solo, assim como nas características físicas e químicas dos materiais ao longo da pedotoposequência. As análises realizadas em laboratório permitiram comprovar essas diferenciações verificadas em campo, principalmente no que diz respeito as diferenciações texturais (argiloso e/ou arenoso) e de cor (variando de 2,5YR até 10YR). Com isso, pode-se identificar um setor de montante, com segmento convexo-plano da vertente, constituído pela cobertura latossólica, e outro setor inferior, constituído pela cobertura argissólica, associado ao aumento de declividade.

O segmento de topo conta com extensão aproximada de 250 m. Ao avançar em sentido jusante, é interrompido por uma estrada vicinal que dá acesso às propriedades rurais de Terra Roxa-PR. Por meio de sondagens sistemáticas, a trado, feitas nesse segmento da vertente, constatou-se a existência de um latossolo, corroborando com os trabalhos de Bade (2014) e Bueno (2015) e descritos no Perfil 1.

O segmento de fundo de vale mostra-se bastante alterado por práticas antrópicas, como revolvimento dos solos e degraus de abatimento, além da construção de uma antiga represa de captação d'água a partir do curso hídrico. Tal condição evidencia que o processo de ocupação, além de recente, deu-se de forma que os primeiros moradores usufruíam das áreas ao longo dos cursos hídricos, avançando em direção a montante (NÓBREGA et al. 1992; MAGALHÃES, 2005). Essa iniciativa, do ponto de vista ambiental, contribuiu com os primeiros impactos negativos na paisagem, que se acentuaram a partir do desmatamento, degradando,

dessa forma, os setores de baixa vertente e fundos de vale (NÓBREGA et al., 1992; ROCHA, 2011, 2016; BUENO, 2015).

A vertente não ultrapassa 10% de declividade. No segmento de baixa-vertente, passou por um processo de transformação, antes convexa e, hoje, côncava. Essa modificação da morfologia pode estar relacionada às práticas de uso e manejo dos solo e às alterações no funcionamento hídrico da vertente, acelerando os processos de leucinização e argiluviação. Simultaneamente, acontece o desequilíbrio do sistema pedológico, que contribuiu para a fragilidade dos solos no que tange a instalação e evolução da erosão hídrica.

Essa vertente apresenta solos provenientes da alteração do arenito da Formação Caiuá, de textura médio-arenosa, com sequência lateral de Latossolo Vermelho Distrófico argissólico (LVd), desde o topo até a média vertente, Argissolo Vermelho Distrófico latossólico (PVd) no segmento médio e, a partir da ruptura de declive, o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico abruptico (PVAd), que se estende até o Fundo de Vale. Nesse segmento, conforme apontado por Bueno (2015), ocorrem os solos hidromórficos, como os Gleissolos (G) e Organossolos (O), dada a existência de uma drenagem deficiente no ambiente.

Conforme os trabalhos apresentados por Cunha (1996; 2002), Calegari (2000), Martins (2000), entre outros, essa configuração de vertente é típica no noroeste do estado do Paraná, que está sob domínio do arenito da Formação Caiuá. No entanto, a unidade morfoescultural de Guaíra encontra-se em uma área de contato com os basaltos da Formação Serra Geral, os quais sofrem influências diretas de suas características morfológicas. Tal influência favorece maior estruturação dos agregados de solo, diferentes daqueles encontrados nas áreas centrais de ocorrência dessas rochas sedimentares que apresentam pouca agregação (BUENO, 2015).

O componente mineralógico principal dos solos encontrados ao longo da pedotopossequência é o quartzo. Subordinadamente ocorrem os minerais pesados opacos e transparentes, complementando a matriz mineralógica desses solos, o que poderá ser evidenciado por ensaios de mineralogia, micromorfologia e difração de raio-x (DRX), possibilitando trabalhos posteriores nessa área de estudo. Conforme Cunha (1996; 2002), Zaparoli (2009) e Barreiros (2013), os minerais presentes em

solos oriundos desse material de origem estão envolvidos por um plasma argiloso de cor avermelhada, constituído principalmente por caulinita e óxido de ferro.

A partir dessas considerações, segmentou-se essa vertente a partir de sua morfologia (Figura 11) e da distribuição dos atributos pedológicos (Quadro 1), apresentando, assim, cinco segmentos topográficos bem marcados:

A Montante:

- **Segmento de Topo**: com forma convexa, estende-se por aproximadamente 240 m, desde o interflúvio até o ponto de sondagem S1 e, é dominado pelo LVd;

- **Segmento de Alta-Vertente**: com forma convexa, estendendo-se por 200 metros, estando compreendido entre os pontos de sondagem S1 e S2. Nesse segmento há predomínio do LVd, com aparecimento de B_w a partir dos 60 cm, aprofundando-se à medida que se avança para média-vertente. Nesse segmento está alocado o Perfil 1, apresentando sequência vertical dos horizontes: A_p, AB, BA, B_{w1}, B_{w2};

- **Segmento de Média-Vertente**: compreendido entre os pontos de sondagem S2 e S5, perfaz um total de 400 metros de extensão, apresentando forma convexa e ligeiro grau de declividade (7%). Nesse segmento nota-se o surgimento do PVd “embutido” em forma de cunha no LVd e, ganhando espaço em direção a jusante. A ocorrência de PVd, com características químicas do LVd, evidenciou ser um setor da vertente que ocorre modificação na natureza dos solos e no seu funcionamento hídrico. O Perfil 2 apresenta sequência vertical A_p, AB, B_{t1}, B_{t2}, B_w;

A Jusante:

- **Segmento de Baixa-Vertente**: entre os pontos S5 e S8, com formato côncavo, a partir da ruptura de declive, marcado pela S8. Apresenta sequência vertical A_p, E₁, E₂, E₃, B_{tg} e B_t, permitindo a interpretação de um PVAd, altamente susceptível à instalação de processos erosivos lineares, por ravinamento, decorrentes do uso e manejo inadequados, associada ao aumento da declividade e a natureza arenosa dos horizontes mais superficiais e argilosos nos subsuperficiais, encontrados nesse setor da vertente;

Quadro 1. Descrição macromorfológica dos perfis de solo analisado.

HZ.	PROF. (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA (molhada)	POROSIDADE	RAÍZES E/OU ATIVIDADE BIOLÓGICA	TRANSIÇÃO	OBSERVAÇÕES
PERFIL 1 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico (LVd)									
A _p	0 – 10	5YR 3/4	Arenosa	Maciça e porosa	Ligeiramente pegajoso e plástico	Pequenos poros, com menos de 1mm de diâmetro	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Gradual	Material friável.
AB	10 – 30	2,5YR 3/4	Arenosa	Maciça, porosa, blocos de ±3cm	Ligeiramente pegajoso e plástico	Poucos e pequenos poros, com menos de 1mm.	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Gradual	Apresenta maior resistência à penetração da faca pedológica.
BA	30 – 60	2,5YR 3/4	Areno-argilosa	Blocos subangulares	Ligeiramente pegajoso e plástico	Ausente	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Gradual	Material friável.
B _{w1}	60 – 100	2,5YR 3/4	Argilosa	Blocos subangulares grandes e fracos que se desfaz em microagregados	Ligeiramente pegajoso e plástico	Presença de algumas galerias.	Ausente	Gradual	Material friável.
B _{w2}	100+	2,5YR 3/4	Argilosa	Blocos subangulares grandes e fracos que se desfaz em microagregados	Ligeiramente pegajoso e plástico	Presença de algumas galerias.	Ausente	Gradual	Material friável.
PERFIL 2 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico (PVD)									
A _p	0 – 10	7,5YR 3/2	Arenosa	Maciça e porosa	Não pegajoso, ligeiramente plástico	Poucos e pequenos poros, com menos de 1mm.	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Abrupta	Material friável.
AB	10 – 30	2,5YR 3/4	Arenosa	Blocos subangulares	Não pegajoso, ligeiramente plástico	Poucos e pequenos poros, com menos de 1mm.	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Gradual	Apresenta maior resistência à penetração da faca pedológica.
B _{t1}	30 – 80	2,5YR 3/4	Areno-argilosa	Blocos subangulares grandes e fracos que se desfaz em	Não pegajoso, ligeiramente plástico	Ausente	Ausente	Gradual	Material friável.

				microagregados					
B ₁₂	80 – 110	2,5YR 3/4	Argilosa	Blocos subangulares grandes e fracos	Pegajoso e plástico	Presença de algumas galerias.	Ausente	Gradual	Material friável.
B _w	110+	2,5YR 3/4	Areno-argilosa	Blocos subangulares grandes e fracos que se desfaz em microagregados	Não pegajoso, ligeiramente plástico	Presença de algumas galerias.	Ausente	Gradual	Material friável.
PERFIL 3 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico espessarênico abruptico (PVAd)									
A _p	0 – 15	10YR 4/3	Arenosa	Ausente	Não pegajoso, não plástico	Ausente	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Gradual	Material friável.
E ₁	15 – 40	10YR 4/3	Arenosa	Ausente	Não pegajoso, não plástico	Ausente	Poucas, raízes finas e presença de formigas	Gradual	Presença de carvão.
E ₂	40 – 90	10YR 4/3	Arenosa	Ausente	Não pegajoso, não plástico	Ausente	Ausente	Gradual	Presença de uma linha de carvão. Apresenta três bandas onduladas de 5cm de espessura cada, aos 45cm, 65cm e 85cm. Essas bandas são separadas por bolsões arenosos com limite superior nítido e inferior rendilhado
E ₃	90 – 110	10YR 4/3	Arenosa	Ausente	Não pegajoso, não plástico	Ausente	Ausente	Abrupta	Material friável.
B _{tg}	110 – 145	-/-	Franco-argilosa	Blocos subangulares grandes e fracos de ±4cm	Ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico	Ausente	Ausente	Abrupta	Presença de lençol freático em suspensão, com cores mosqueadas e incremento de argila na composição do material.
B _t	145+	-/-	Argilosa	-/-	Pegajoso e plástico	Ausente	Ausente	Gradual	Identificado por sondagem. É um material argiloso e avermelhado.

- **Segmento de Fundo de Vale:** a partir do ponto S8 até o leito do curso hídrico tem extensão média de 100 m, marcado por intensas alterações e desníveis e, nos últimos 10 anos, recuperados dentro das exigências legais.

Nesse sistema pedológico (LV+PV), os horizontes apresentam características morfológicas contrastadas e mais evoluídas em direção à montante, conforme é observado na Tabela 1, em que a relação silte/argila evidencia o estágio de intemperismo e movimentação de argila nos perfis de solo analisado.

Tabela 1. Análise granulométrica dos perfis de solo.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (%)									
HZ.		PROF. (cm)	PROF. DA COLETA	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (%)					RELAÇÃO SILTE/ ARGILA
				SILTE	ARGILA	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AREIA TOTAL	
P1 – LVd	A _p	0 – 10	5	6,15	8,01	74,46	4,76	79,22	0,76
	AB	10 – 30	20	6,70	19,63	61,31	3,80	65,11	0,34
	BA	30 – 60	50	4,37	27,78	60,67	3,70	64,37	0,14
	B _{w1}	60 – 100	80	2,70	27,98	61,57	3,90	65,47	0,09
	B _{w2}	100+	125	2,52	27,38	58,06	3,26	61,32	0,09
P2 – PVd	A _p	0 – 10	5	8,82	5,01	69,56	7,95	77,51	1,76
	AB	10 – 30	20	5,00	12,13	68,45	6,95	77,40	0,41
	B _{t1}	30 – 80	50	4,67	24,08	57,24	5,44	62,68	0,19
	B _{t2}	80 – 110	95	9,70	27,89	51,32	5,02	56,34	0,34
	B _w	110+	130	2,70	27,41	55,59	6,01	61,60	0,09
P3 – PVAd	A _p	0 – 15	5	5,15	7,00	76,07	8,05	84,12	0,73
	E ₁	15 – 40	25	3,95	6,50	77,30	8,12	85,42	0,60
	E ₂	40 – 90	60	4,00	9,30	74,20	7,56	81,76	0,43
	E ₃	90 – 110	100	3,30	6,20	80,59	8,28	88,87	0,53
	B _{tg}	110 – 145	125	3,00	40,00	45,12	7,88	53,00	0,07
	B _t	145+	175	3,22	34,78	49,52	4,50	54,02	0,09

Onde: P = trincheira/perfil pedológico; HZ = horizonte pedológico; PROF. = Profundidade.

As modificações morfológicas dos horizontes são bem marcados por duas frentes de transformação, identificadas por meio das análises laboratoriais e descrição morfológica, resumidas conforme a sequência:

a) Sistema de transformação B_w/B_t – no segmento médio-alto da vertente, em que foi constatado a passagem lateral da cobertura latossólica para argissólica (transição B_w/B_t), com aparecimento do horizonte B_t embutido na forma de cunha no B_w. Como pode ser observado, essa passagem é evidenciada pelo acúmulo lateral e vertical da argila (Gráfico 1)-(Tabela 1), sendo percebido mudanças na textura dos horizontes e de possível instalação de um fluxo hídrico lateral mais intenso a partir

da média-vertente, quando há aumento da declividade (de 2% para 10%) e presença de um horizonte argiloso interpretado como B_t;

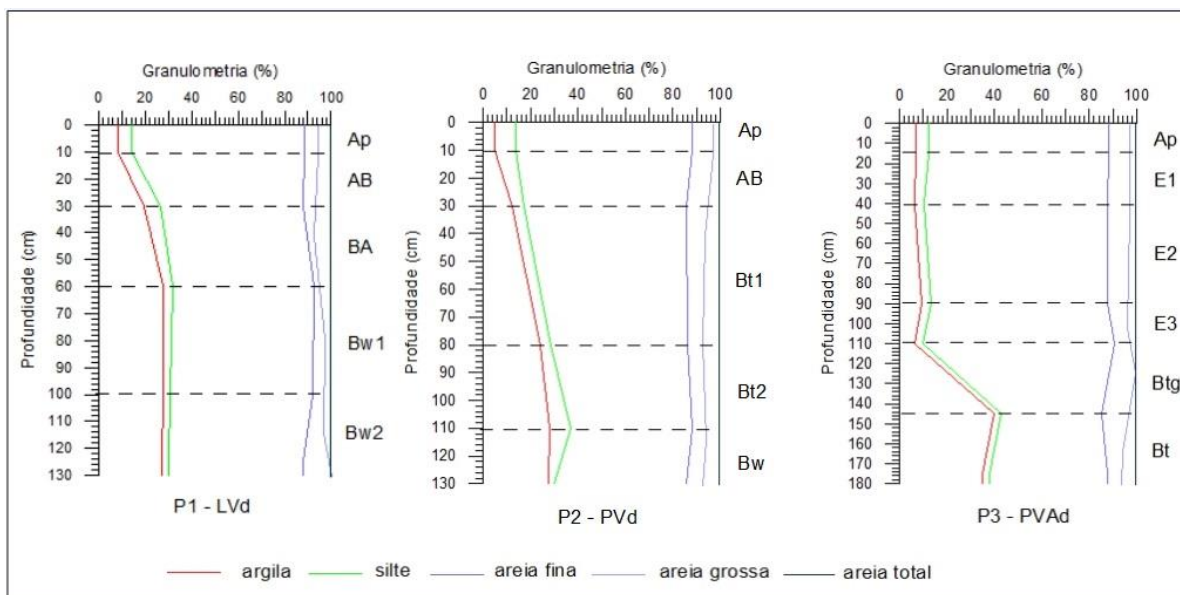


Gráfico 1. Distribuição das frações granulométricas, por perfil.

b) Sistema de transformação AB/E e E/B_t – no setor inferior da pedotopossequência, em que foi identificado uma série de modificações na estrutura dos horizontes e, conseqüentemente, no tipo de solos. A passagem lateral do horizonte AB para E é marcada pela perda de argila (de 12% para 6%) e mudanças de cor (2,5YR 3/4 para 10YR 4/3) e estrutura (em blocos subangulares para ausente) do solo, em direção a jusante. Outra transformação ocorre na passagem vertical E/B_t, em que pode ser observado o espessamento do horizonte E (90 cm) em função da destruição do topo B_t, denunciada pelas modificações de estrutura, presença de um horizonte B_{tg} (35 cm) e aparecimento de bandas onduladas no horizonte eluvial (45, 65 e 85 cm). É nesse setor que se percebe a mudança no formato da vertente, associado às alterações no funcionamento hídrico subsuperficial e instalação de processos erosivos, certamente associados a existência da ruptura de declive aos 100 m a partir da jusante.

A primeira frente de transformação constitui-se num importante processo de argiluviação como responsável pela transição lateral B_w/B_t, identificada como um sistema de transformação eluvial-iluvial, de acordo com as conclusões de Boulet et

al. (1984), Cunha (1996), Martins (2000) e Zaparoli (2009). Já a segunda frente de transformação, no setor inferior da vertente, a descrição morfológica evidenciou um processo de destruição remontante das feições morfológicas dos horizontes, em especial do B_t e AB, com formação do horizonte E e seu respectivo espessamento. Nesse setor, as transições podem ser identificadas como um sistema de transformação iluvial-eluvial, ou seja, um sistema que recebe materiais finos dos setores de montante e que, em contrapartida, perde esses materiais em uma proporção possivelmente maior do que recebe, espessando o horizonte E.

Nesse sentido, pode-se deduzir que se trata de um sistema de transformação eluvial-iluvial em desequilíbrio, em que o incremento lateral da matéria fina é interrompida no setor inferior por processos remontantes de retirada de material fino da cobertura pedológica. Esses processos são decorrentes de uma forte circulação hídrica lateral, denunciada pelas bandas onduladas, mas que só pode ser esclarecida por ensaios de infiltração e micromorfologia, em estudos futuros na área.

Mediante essas considerações, pode-se identificar, de acordo com a segmentação da pedotopossequência, que, do segmento de topo até a média-vertente, macromorfológicamente, foram identificados dois volumes pedológicos principais, sendo um mais superficial, de textura mais arenosa (cerca de 75% de areia) e outro mais subsuperficial, espesso, de textura areno-argilosa (areia em torno de 60%), ambos com geometrias concordantes (Figura 11).

Conforme é apresentado nos trabalhos de Cunha (1996; 2002), Gasparetto (1999), Nakashima (1999), Calegari (2000), Martins (2000) e Zaparoli (2009), é comum que em regiões dominadas pelos solos oriundos da meteorização do arenito da Formação Caiuá, as estruturas se apresentam geometricamente concordantes com o modelado da topografia atual e entre si. Ainda, de acordo com esses autores, as vertentes predominantemente convexas apresentam, nos setores inferiores, solos com maiores modificações laterais e verticais, decorrentes da dinâmica da água no solo, sendo este o elemento determinante nas transformações morfológicas dos horizontes.

O volume mais superficial apresenta uma espessura aproximada de 40 cm, de textura arenosa, evidenciando o predomínio do quartzo na composição

mineralógica do material. Apresenta estrutura maciça e porosa, muito friável, porosidade com empilhamento simples dos grãos, sendo estes poros em pequena quantidade, pequenos, não apresentando canais que ultrapassem a margem de 1 mm de diâmetro. Este volume, de acordo com as definições da Embrapa (2013) e Santos (2015), foi interpretado como um horizonte A.

Esse horizonte (A), identificado e representado em toda a extensão da vertente, foi subdividido em dois sub-horizontes, um diretamente sob as atividades agrícolas, denominado de A_p , com espessura máxima de 10cm. A cor varia ao longo de toda a extensão da pedotopossequência, ocorrendo desde cor 5YR 3/4 no topo até 10YR4/3 no sopé. Essa mudança de cor ao longo da vertente, com cores avermelhadas no topo e acinzentadas em direção ao sopé da vertente, evidencia a perda dos óxidos de ferro ao longo do perfil estudado, como também foi evidenciado nas pesquisas de Martins (2000), Zaparoli (2009) e Barreiros (2013).

O segundo, denominado de horizonte AB aparece desde o segmento de topo até a ruptura de declive, quando inicia-se o segmento de sopé. Possui características intermediárias em toda sua extensão em relação ao horizonte mais subsuperficial. Esse volume apresenta uma média de 25 cm de espessura, com perda lateral de argila (de 19% para 12%) . Após a ruptura de declive, favorece o processo de leucinização devido às condições de circulação hídrica, declividade e morfologia. Esse processo leva ao desaparecimento de AB, dando lugar a um novo volume, interpretado como sendo horizonte de natureza eluvial, dada suas características morfológicas apontadas por Resende et al. (2007) e Lepsch (2011).

Subsuperficialmente, encontra-se um horizonte com mais de 150 cm de espessura, homogêneo, com textura areno-argilosa a argilosa, estrutura maciça, porosa, grãos simples, friável, ligeiramente plástica e pegajosa, quase sempre apresentando algumas galerias nos horizontes pedológicos e sem atividade biológica aparente, quando se avança em direção à base do perfil. Esse volume foi interpretado como sendo um horizonte B latossólico (B_w) e, percebe-se que esse horizonte tende a desaparecer em direção ao terço-médio da vertente. O horizonte B_w está presente no topo e sotoposto ao B_t na média-vertente. Essa não continuidade do horizonte B_w certamente está relacionada ao aumento de declividade e mudanças na dinâmica de circulação hídrica.

Ao longo dos segmentos mencionados, nota-se que há um aumento de declividade em direção à jusante, alterando o fluxo hídrico em superfície e subsuperfície. Essa condição reflete no surgimento de um novo volume de material, já no segmento de média-vertente, quando surge o horizonte B_t embutido em forma de uma cunha alongada no horizonte B_w , evidenciando um incremento de argila em subsuperfície e maior lixiviação de nutrientes e minerais dos volumes sobrejacentes. Essas condições podem ser corroboradas com os trabalhos desenvolvidos em área similar, como o caso de Floraí-PR, destacado por Zaparoli (2009), Marechal Cândido Rondon-PR, destacados por Magalhães (2013) e nas unidades de paisagem estudadas por Rocha (2016) na BP3.

Devido ao aumento de declividade na média e baixa-vertente, há favorecimento da remoção de materiais finos em superfície, especialmente na ocorrência de períodos de chuva, quando há surgimento de fluxo superficial difuso e perda de solo por erosão laminar. Há, ainda, mudanças texturais do material mais superficial, predominando textura mais arenosa, se comparada ao material de topo e, mudanças na cor. Essa condição pode ser entendida em razão do contraste de porosidade entre os horizontes, de forma vertical e lateral, levando-se a compreensão de possível saturação dos horizontes superficiais e, em razão dessa dinâmica, desestabilização e remoção dos materiais finos que compõem a cobertura pedológica. Esse processo, tipicamente iluvial, seria o responsável pela presença do B_t já na média-vertente e também foi constatada nos trabalhos de Cunha (1996), Martins (2000) e Zaparoli (2009).

No segmento de baixa-vertente também foram identificados dois volumes pedológicos principais, sendo um superficial, espesso, de textura arenosa e, outro subsuperficial, de textura argilosa. Assim como ocorre nos segmentos a montante, esses volumes ocorrem com geometrias concordantes com a vertente atual e entre si. O volume mais superficial apresenta uma consistência friável, e é bastante espesso, chegando aos 110 cm de profundidade. Este volume foi interpretado como horizonte E, por apresentar lavagem dos minerais constituintes de sua organização (óxidos de ferro), evidenciando sua natureza eluvial, conforme foi apresentado por Martins (2000), Cunha (2002) e Resende et al. (2007).

Ainda nesse volume há a ocorrência das bandas onduladas no interior do horizonte E, aos 45, 65 e 85cm de profundidade. Tratam-se de bandas não muito espessas, em torno de 5 a 7 cm, com bolsões arenosos interbandas. Essas feições pedológicas também foram identificadas nos trabalhos de Cunha (1996), Gasparetto (1999), Martins (2000) e Zaparoli (2009), sendo interpretadas como relíquias do horizonte B_t a partir de características herdadas do material parental que as compõe.

Para autores como Castro (1989) e Santos (1995), ao estudarem sistemas pedológicos semelhantes em Marília-SP e Bauru-SP, respectivamente, observaram que as bandas onduladas são originadas a partir da destruição do horizonte B_t e, com isso, entende-se que no passado esse horizonte encontrava-se em uma posição mais elevada no perfil. Por meio de estudos detalhados, como a micromorfologia de solos, é possível entender a frente de transformação que está ocorrendo no perfil e diagnosticar sua relação direta com a instalação de processos erosivos nesse segmento da vertente. Será possível entender, também, se o manejo dos solos na encosta e as condições de escoamento superficial e subsuperficial estão em desequilíbrio, acarretando (ou não) em perdas no potencial produtivo da propriedade.

O volume subsuperficial apresenta uma textura argilosa, sem porosidade aparente e estrutura em blocos subangulares que apresentam resistência ao manuseio e, pegajosidade/plasticidade. No topo desse volume há ocorrência de cores mosqueadas, com sinais de gleização em razão da ocorrência do lençol suspenso, o que deixa de ocorrer a partir de 145 cm, quando o volume torna-se avermelhado e argiloso, levando-se à interpretação de um horizonte B textural gleizado (B_{tg}). Essa condição acarreta na lixiviação dos materiais finos e no rompimento das ligações entre óxidos de ferro e argila, uma vez que o ferro apresenta sensibilidade para alternar sua valência quando submetido à saturação e, assim, passa de Fe³⁺ para Fe²⁺ (BIGHAM et al., 2002).

O horizonte B_t se inicia na média vertente, desenvolvendo-se embutido no horizonte B_w, espessa-se à medida que avança para a jusante, sendo interrompido na ruptura de declive e volta a ressurgir, típico em termos de morfologia, no volume mais profundo do perfil correspondente ao sopé da vertente. Conforme aumenta a declividade na orientação para baixa-vertente, o horizonte B_t se espessa, como

resultado do intenso fluxo hídrico subsuperficial lateral, condicionada pela declividade mais acentuada do que nos outros setores da vertente. Essa ocasião foi verificada por Zaparoli (2009) em uma frente de transformação lateral remontante no município de Floraí-PR, em que no fundo de vale há surgimento de um Neossolo Quartzarênico.

Por meio das análises granulométricas (Tabela 1), pode-se confirmar que no horizonte B_t existe uma concentração relativa da fração argila (cerca de 25%). Nesse horizonte constata-se que feições pedológicas de natureza iluvial estão restritas em sua ocorrência, que também apresenta baixo teor de argila dispersa em água (1,61%) e alto grau de floculação (92%)-(Tabela 2). Esses dados permitem inferir sobre a mobilidade da fração argila, sendo maior em volumes superiores, onde atuam os processos de eluviação, como é o caso dos horizontes A_p e E e, estável na base do perfil, semelhantemente ao que ocorre no B_w.

Na base do perfil correspondente ao segmento de sopé (P3), o horizonte B_{tg} permite uma identificação de processo de hidromorfia e indícios de iluviação. A hidromorfia é identificada por meio da descrição macromorfológica, em que é visível as variações de cor no solo e no material fino, respectivamente. Já o processo de iluviação só pode ser constatado por meio de análises micromorfológicas, que por meio de observações de feições pedológicas texturais de preenchimento e revestimento do material, pode-se constatar a ocorrência desse processo.

No segmento de sopé, a porosidade total apresenta certo padrão, quando comparado aos demais horizontes do mesmo perfil (entre 30 e 40%) e, até mesmo, quando comparado com os demais perfis analisados na pedotopossequência, que variam entre 30 e 50%. A existência de um lençol suspenso e maior incremento de argila em profundidade (de 6% para 40%) permite supor que trata-se de maior existência de microporos nesse horizonte, o que possivelmente explicaria a redução de permeabilidade vertical nesse perfil e evidencia que após a ruptura de declive, a circulação vertical preferencial passa a obedecer um novo padrão: o de circulação lateral. Esses dados são corroborados pelos trabalhos desenvolvidos no noroeste do estado, conforme constatarem Cunha (1996; 2002), Nakashima (1999) e Martins (2000).

Com o aumento da declividade a partir da média-vertente e formação de um horizonte de natureza eluvial, o contato com o material mais argiloso subsuperficial ocasiona retenção de água por mais tempo e incremento de escoamento superficial, que colabora na retirada do material. Essa constatação vai ao encontro das verificações ilustradas por Cunha (2002) em Cidade Gaúcha-PR. Essa situação colabora com a desestabilização das estruturas em razão da redução do ferro, responsável pelo rompimento das ligações entre óxidos de ferro e argila, levando às transformações que originam o B_t.

Ainda no setor de maior declividade, após o terço-médio da vertente, a circulação hídrica predominantemente lateral, acarreta na migração da argila para o segmento de sopé e fundo de vale, que se deposita em subsuperfície formando um B_t ainda mais típico em termos de morfologia, se comparado ao da média-vertente. Essa mudança morfológica e da cobertura pedológica tende a indicar ocorrência de processos que geram volumes de textura mais arenosa (88%) em superfície e mais argilosa (40%) em subsuperfície, pronunciados na base da vertente, após a ruptura de declive, onde se tem a instalação de processos erosivos lineares. Situação semelhante foi caracterizada por Fontana (2009), ao desenvolver estudos que relacionavam a relação solo-relevo na evolução de depressões no terraço Taquarussu, MS.

O processo remontante de transformação do B_w em B_t promove a ampliação do segmento de concavidade da vertente, levando-se a evolução de um embaciamento dos segmentos de jusante, acentuando a arenização da cobertura pedológica nesses segmentos do relevo. Essas condições identificadas levam a compreensão de um aceleração dos processos pedológicos em todo o sistema, nas transformações morfológicas dos horizontes, com favorecimento à instalação dos processos erosivos lineares, especialmente quando se leva em consideração a ocupação inadequada e uso e manejo dos solos de forma intensiva. Essa condição leva a necessidade de estudos mais detalhados nessas áreas, com monitoramento do comportamento do freático, condição importante para se compreender a dinâmica de evolução da cobertura pedológica, do relevo e dos processos erosivos na Bacia do Córrego Tamanduá.

4.3 Caracterização analítica dos materiais e interpretações com erosão hídrica

No segmento de topo e alta-vertente, a organização e distribuição dos constituintes e a baixa declividade (em torno de 2%), indicam o favorecimento da circulação hídrica vertical, embora esse dado necessite ensaios físico-hídricos mais detalhados. O adensamento verificado nos primeiros 30 cm da cobertura pedológica, associados à ausência de vegetação natural e ao uso e manejo do solo acabam contribuindo para a concentração e desenvolvimento de fluxos superficiais durante o período de chuvas mais intensas. Essa condição confirma a existência de um fluxo difuso e, portanto, propenso ao desenvolvimento de erosão laminar.

No setor médio da vertente (correspondente a P2), a passagem lateral da cobertura latossólica para argissólica é caracterizada pela diminuição de argila (de 27% para 24%) no horizonte B e modificações graduais de cor (de 5YR 3/4 para 7,5YR 3/2) nos horizontes superficiais (A e AB). O ligeiro grau de declividade (em torno de 8%) e a forma convexa da vertente favorecem a concentração de água em superfície, intensificando o processo de transporte dos materiais mais finos (silte e argila) e concentrações cada vez mais elevadas de materiais grossos (areia). Essa dinâmica se dá vertical e lateralmente, lixiviando a fração argila dos volumes superficiais e se concentrando no horizonte B_t presente nos segmentos de média e baixa vertente.

Essa condição encontrada na média-vertente se acentua conforme avança para jusante, no setor de baixa-vertente, quando ocorre o desaparecimento do horizonte AB e surgimento/espessamento de um volume de natureza eluvial, interpretado como horizonte E, sobreposto ao B_t. Por se tratar de um segmento da vertente que favorece a concentração de águas e materiais oriundos da montante, há favorecimento da concentração de água transformando-o num ambiente saturado, com sinais de hidromorfia em profundidade (aos 110 cm do P3). A referida concentração e circulação desses fluxos são os principais responsáveis pelas significativas mudanças morfológicas dos horizontes e de seus constituintes, além de, conseqüentemente, “comandarem” a passagem lateral da cobertura latossólica para argissólica.

Essas considerações permitem inferir um desequilíbrio do sistema pedológico, submetidos a um conjunto de processos remontantes cada vez mais acelerados. Isso se dá por meio das relações estabelecidas entre a natureza do solo e, o uso e o manejo dos mesmos, em que as características morfológicas e físico-químicas dos horizontes tornaram-se contrastadas na vertente. Nesse setor da paisagem, a circulação hídrica é de vital importância na regência dos processos e dinâmicas de evolução do sistema pedológico e destes com o modelado do relevo.

No sentido de caracterizar analiticamente os solos dispostos ao longo da vertente estudada, realizou-se diferentes ensaios, que permitiram verificar seu funcionamento na paisagem, frente aos processos erosivos. Quimicamente, os valores de pH indicam as condições químicas gerais do solo, especialmente para fins de fertilidade. Logo, este pode ser alcalino ou ácido em razão da dinâmica de íons e coloides existentes e, conhecer seus valores permite inferir sobre o estado nutricional desse recurso e possível utilização no cultivo agrícola.

Os valores de pH em H_2O e em $CaCl_2$ não são complementares e nem concorrentes, todavia, os valores em H_2O tendem a ser maiores que os de $CaCl_2$. Em solos ácidos pode chegar a 1,0 unidade e em solos próximos a neutralidade podem assumir valores iguais. No caso dos solos ácidos (com valores de pH menores a 4,5 em $CaCl_2$ e menores a 5,0 em H_2O), estes solos podem estar apresentando deficiência de P, Ca, Mg e K, toxidez por Al e Fe, baixa CTC e baixo V(%), sendo que este último, em geral, quanto maior for o pH, maior é a CTC, todavia, não trata-se de uma regra.

No caso da Pedotoposequência do Cruzeirinho (Tabela 2), os valores de pH em água variam de 5,0 a 6,0, de ligeiramente ácido a neutro, estando, entretanto, a maior parte dos valores na classe de ligeiramente ácido. Os valores de pH que se encontram na classe de ligeiramente ácido ocorrem predominantemente no segmento de média vertente, enquanto que os próximos a neutralidade estão dispostos no segmento de sopé.

Conforme Thomé Júnior (1997), em condições naturais, o pH aumenta em profundidade, esperando-se que os valores do pH aumente nos horizontes subsuperficiais, quando comparados aos superficiais. Na ocorrência de valores

maiores em superfície, trata-se de um indicativo de que esse solo já recebeu aplicação de calcário ou passou por algum tipo de manejo, que deve ser investigado.

Tabela 2. Análises químicas de pH das amostras de solos analisados.

HZ.	PROF. (cm)	pH	
		H ₂ O	CaCl ₂
P1 – LVd	A _p	0 – 10	6,0
	AB	10 – 30	6,0
	BA	30 – 60	5,0
	B _{w1}	60 – 100	5,0
	B _{w2}	100+	5,0
P2 – PVd	A _p	0 – 10	6,0
	AB	10 – 30	6,0
	B _{t1}	30 – 80	5,0
	B _{t2}	80 – 110	6,0
	B _w	110+	6,0
P3 – PVAd	A _p	0 – 15	6,0
	E ₁	15 – 40	6,0
	E ₂	40 – 90	6,0
	E ₃	90 – 110	6,0
	B _{tg}	110 – 145	6,0
	B _t	145+	5,0

Como pode ser observado na Tabela 3, as características químicas são as que mais variam ao longo da pedotopossequência. O fósforo se apresenta na forma mineral e orgânica, fazendo parte de compostos com Fe, Al e Ca, podendo ser adsorvido, em solução, de forma trocável aos colóides. A análise de fósforo visa classificar a possibilidade de resposta à adubação, ou seja, tem finalidades de fertilização dos solos (TOMÉ JÚNIOR, 1997). Uma vez que a classificação seja dada por baixa, é indicativo de menor resposta à adubação e, portanto, há decréscimo de produção. Quando classificada como alta, indica maior resposta à adubação e, portanto, acréscimo de produção. Em geral, tende a diminuir em profundidade, junto aos teores de matéria orgânica.

No caso da pedotopossequência em análise, observa-se altos valores de P no horizonte A_p (97 mg.dm⁻³ no segmento do P1), diminuindo consideravelmente nos horizontes subjacentes (1 mg.dm⁻³ na base do segmento do P1) e em direção à jusante (0 mg.dm⁻³ na base do segmento do P3). Quando há mudança das classes de solo após a ruptura de declive, uma classe de solo arenoso, denuncia sua menor fertilidade, quando comparado ao solo em segmento de topo.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} estão relacionados com o nível de acidez do solo e são utilizados para o cálculo de SB e que, por sua vez, servirá para calcular o CTC e V(%). Se os teores de Ca e Mg estiverem baixos, o solo estará com excesso de acidez, ou seja, elevado valor de pH e baixo V(%), com possível toxidez de Al, sendo, assim, recomendado a aplicação de calagem, caso os interesses sejam agrícolas. Em solos arenosos, espera-se que os valores de Ca, Mg e CTC estejam baixos, dada a sua natureza.

Tabela 3. Análises químicas de rotina dos perfis de solos analisados.

HZ.		PROF. (cm)	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	CTC	V	MO
			mg.dm ⁻³	cmolc.dm ⁻³							%	g.dm ⁻³
P1 – LVd	A _p	0 – 10	97,0	10,0	1,0	1,0	12,0	0,0	3,0	15,0	80	12,0
	AB	10 – 30	26,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,0	5,0	42	3,0
	BA	30 – 60	1,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,0	4,0	35	1,0
	B _{w1}	60 – 100	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	4,0	25	1,0
	B _{w2}	100+	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	4,0	24	1,0
P2 – PVd	A _p	0 – 10	38,0	3,0	1,0	0,0	4,0	0,0	3,0	7,0	54	16,0
	AB	10 – 30	3,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	3,0	4,0	30	5,0
	B _{t1}	30 – 80	1,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,0	5,0	35	1,0
	B _{t2}	80 – 110	0,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,0	4,0	38	3,0
	B _w	110+	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	2,0	4,0	38	1,0
P3 – PVAd	A _p	0 – 15	19,0	1,0	1,0	0,0	2,0	0,0	2,0	4,0	48	11,0
	E ₁	15 – 40	7,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	2,0	4,0	31	3,0
	E ₂	40 – 90	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	3,0	3,0	24	1,0
	E ₃	90 – 110	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	17	2,0
	B _{tg}	110 – 145	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	3,0	3,0	4,0	23	7,0
	B _t	145+	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	4,0	3,0	5,0	16	2,0

Onde: P = trincheira/perfil; HZ = horizonte; PROF. = Profundidade.

Onde: P = trincheira/perfil; HZ = horizonte; PROF. = Profundidade.

O teor de Al^{3+} é altamente tóxico para as plantas, sendo ideais valores próximos de zero. Caso não se tenha valores baixos, considera-se baixo os valores menores a 0,5; médio, entre 0,5 e 1,5; e alto os valores maiores a 1,5 c molc dm⁻³ (THOMÉ JUNIOR, 1997). No que diz respeito ao Potássio Trocável (K^+), as menores taxas se dão em maiores profundidades do solo e estão diretamente relacionados à textura e a CTC dos solos.

Em decorrência da prática agrícola, os solos analisados na pedotopossequência apresentam dados de Ca^{2+} sempre em maior quantidade em relação às demais bases, sendo, em geral, a maior concentração no volume superficial correspondente ao horizonte A_p, diminuindo o teor em profundidade (Tabela 3). Os teores de Mg^{2+} não revelaram gradiente e ocorrendo maiores valores

no horizonte superficial A_p . O teor de K^+ variou de modo que a distribuição foi maior em superfície e diminuindo em profundidade ao longo de toda a vertente.

A Acidez Potencial ($H+Al$), em geral, é determinada para posterior cálculo de CTC e, genericamente tende a ocorrer maiores teores em solos mais ricos em matéria orgânica, principalmente quando apresentam valores de pH muito baixos. Nos solos da Pedotopossequência do Cruzeirinho observou-se uma distribuição regular desse índice ao longo do perfil e lateralmente, apresentando maiores valores em profundidade.

Quanto a determinação dos teores de Matéria Orgânica (MO), deve-se considerar que os valores menores a 15 g.dm^{-3} indicam solos de textura arenosa, menor CTC, alta possibilidade de lixiviação e menor teor de $H + Al$. Os teores de matéria orgânica são resultados do balanço entre adição de matéria orgânica (vegetal e animal) e perda dos mesmos. Observa-se que estes valores diminuem em profundidade, mostrando que a perda de matéria orgânica supera o processo de adição.

No que diz respeito à Soma por Bases (SB), os solos apresentaram-se dessaturados, como indica os valores de bases trocáveis. Os maiores valores estão no horizonte superficial A_p , diminuindo consideravelmente em profundidade, ao longo de toda a pedotopossequência, no horizonte E (segmento de sopé) e horizonte B (segmentos de topo e média vertente).

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) varia predominando valores próximos a $4 \text{ c.mol}_c/\text{dm}^{-3}$ e, diminuindo em profundidade, exceto no segmento de sopé, onde a base do perfil apresenta valor de CTC maior que a superfície. Os maiores valores se relacionam ao horizonte com maiores valores de acidez potencial, o que pode indicar a ocorrência de caráter alumínico (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

Vale considerar ainda que, a partir dos valores de CTC é possível determinar a atividade da fração argila e, a partir desse dado, deduzir a provável composição mineralógica dos solos constituintes dessa pedotopossequência. Considerando-se o horizonte diagnóstico de cada classe de solo e que a atividade da fração argila é considerada alta (T_a) quando apresentar valores maiores a $27 \text{ c.mol}_c/\text{dm}^{-3}$ e baixa (T_b) com valores inferiores a $27 \text{ c.mol}_c/\text{dm}^{-3}$, aplica-se a equação ((CTC x

100)/argila). Verificou-se que ao longo de toda a vertente, os solos apresentaram argila de atividade baixa, o que indica a presença de argilominerais 1:1 (caulinita) e óxidos e hidróxidos de ferro (THOMÉ JÚNIOR, 1997).

Por fim, os valores da Saturação por Bases (V%) apresentam valores inferiores a 50% em seus horizontes diagnósticos, sendo, portanto, distróficos. Os valores são maiores no horizonte superficial A_p em razão da aplicação de insumos pelo agricultor.

Com isso, observou-se que a maior parte dos solos apresenta gradiente no sentido vertical e lateral, onde a maioria dos elementos mostram redução em seus valores em profundidade e em direção ao fundo de vale, mostrando que os solos do segmento de sopé são ainda mais frágeis que os presentes no segmento de topo e, portanto, carece de maior atenção do ponto de vista de manejo.

A partir dos ensaios de granulometria, foram determinados os teores de areia, silte e argila ao longo da vertente e também a relação textural B/A. Analisando-se os dados apresentados pela Tabela 1, constata-se que há variação nos teores de silte, argila e areia, lateral e verticalmente, em toda a pedotopossequência.

Conforme Tabela 1 e evidenciado pelo Gráfico 1, ao longo de toda a vertente há predomínio da fração areia, em particular a areia fina em todos os horizontes, decrescendo verticalmente em profundidade e aumentando lateralmente ao longo da pedotopossequência. A areia grossa diminui vertical e lateralmente até a média vertente. À jusante desse segmento, essas variações continuam, mas são menos evidentes, especialmente quando da ocorrência de bandas onduladas e dos volumes interbandas. Essas feições, associadas ao aparecimento do lençol suspenso no sopé da encosta, denuncia as mudanças morfológicas e a consequente instalação de processos erosivos no terço inferior. Essas condições também foram observadas nos estudos desenvolvidos por Cunha (1996), em Umuarama-PR, Nakashima (1999), nos sistemas pedológicos do noroeste do Paraná, e por Martins (2000) em Cidade Gaúcha-PR.

Como pode ser observado na Tabela 1 e do Gráfico 1, a fração argila, ao contrário da fração areia, aumenta em profundidade. Lateralmente verifica-se que o horizonte superficial mantém seus teores de argila (entre 5 e 8%). O teor de argila do

horizonte subsuperficial, de topo até média-vertente, diminui lateralmente, quando é finalmente extinto com a ocorrência da ruptura de declive e passa a dar espaço a um novo volume de material eluvial. Essa variação se dá em razão da circulação hídrica, que acarreta no rompimento das ligações ferro-argila e à consequente argiluviação e à remoção de ferro no sopé da vertente. Esses dados respondem ao já enunciado por Castro (1989), Salomão (1994), Vidal Torrado (1994) e Cunha (2002), quando apontam que a migração da fração argila para o horizonte B está relacionada a declividade, condutividade hidráulica ao arranjo espacial dos poros.

O volume areno-argiloso que se inicia na média-vertente se apresenta de forma alongada, degradando-se com a ruptura de declive. Novamente surge no sopé da vertente, em uma condição diferente da montante, evidenciando migração de seus níveis e chamando atenção para frente de transformação desse material eluvial. Essa condição foi constatada em trabalhos de Cunha (1996; 2002), Martins (2000) e Zaparoli (2009), além de ter sido apresentado por Bueno (2015) como uma justificativa para o desencadeamento de processos erosivos nos solos da unidade de Guaíra.

A densidade do solo (Tabela 4) revela-se variável (de 1,37 até 1,75 kg.dm⁻³), com variações decrescentes em profundidade e/ou lateralmente. A densidade de partículas apresenta, de forma geral, poucas variações laterais e verticais (predominando valores em torno de 2,60 kg.dm⁻³). Essa homogenidade corrobora para as deduções quanto a densidade do quartzo (2,65), principal elemento constituinte do arenito e dos solos de textura média da região. Assim, torna-se indicativo de ser este o material parental dos solos na área de desenvolvimento desses trabalhos.

Os resultados das densidades (de solo e de partículas), Tabela 4, refletem a porosidade total dos horizontes nos perfis, contudo, inferiores a 50%. O seu aumento, em profundidade, associado com os valores de resistência à penetração, apresentam valores elevados em superfície e menores em subsuperfície. Esses dados revelam a natureza compactada dos volumes superficiais ao longo de toda a pedotopossequência. Este fato foi verificado em campo, quando se realizou os ensaios com o penetrômetro de cone com anel dinamométrico no segmento de jusante.

Tabela 4. Análises físicas das amostras de solos analisadas.

HZ.	PROF. (cm)	PROF. DA COLETA	ARGILA NATURAL			RELAÇÃO M/V (kg.dm ⁻³)		PT (%)	UG (%)	RP	
			ADA	GF	GD	DS	DP				
P1 – LVd	A _p	0 – 10	5	0,470	94,08	5,92	1,75	2,59	32	19	0,30
	AB	10 – 30	20	1,100	94,40	5,60	1,66	2,69	38	25	0,33
	BA	30 – 60	50	1,422	94,88	5,12	1,58	2,68	41	26	0,27
	B _{w1}	60 – 100	80	0,006	99,98	0,02	1,46	2,71	46	23	0,24
	B _{w2}	100+	125	0,004	99,99	0,01	1,37	2,71	59	20	0,22
P2 – PVd	A _p	0 – 10	5	0,224	95,53	4,47	1,64	2,31	29	23	0,27
	AB	10 – 30	20	0,714	94,11	5,89	1,66	2,65	37	21	0,29
	B _{t1}	30 – 80	50	1,788	92,57	7,43	1,49	2,54	41	24	0,25
	B _{t2}	80 – 110	95	1,614	94,21	5,79	1,45	2,59	44	24	0,29
	B _w	110+	130	0,162	99,41	0,59	1,40	2,40	42	20	0,23
P3 – PVAd	A _p	0 – 15	5	0,068	99,03	0,97	1,54	2,50	38	16	0,09
	E ₁	15 – 40	25	0,138	97,88	2,12	1,61	2,87	44	17	0,23
	E ₂	40 – 90	60	0,312	96,65	3,35	1,66	2,65	37	25	0,12
	E ₃	90 – 110	100	0,154	97,52	2,48	1,62	2,64	39	27	0,12
	B _{tg}	110 – 145	125	0,930	97,67	2,33	1,74	2,67	35	29	0,41
	B _t	145+	175	0,002	99,99	0,01	-	2,70	-	-	-

Onde: P = trincheira/perfil; HZ = horizonte; PROF. = Profundidade; ADA = Argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; GD = Grau de dispersão; DS = Densidade do solo; DP = Densidade da partícula; PT = Porosidade total; UG = Umidade gravimétrica; RP = Resistência a penetração.

Ainda, sobre os dados granulométricos e de porosidade total (Tabelas 1 e 4), verificou-se que no topo, onde há ocorrência de uma cobertura latossólica, a água percola verticalmente. Conforme aumenta-se a declividade, associada a pouca agregação e os baixos valores de PT em sentido da jusante, a água precipitada passa a migrar lateralmente, vindo a penetrar mais lentamente no solo. Essa condição igualmente constatado por Zaparoli (2009), cria uma frente de “molhamento”, que alcança menor profundidade do que no B_w do topo, provocando expansão dos agregados, quando úmidos e, contração quando secos, causando mudanças na estrutura do solo. Essa dinâmica favorece a formação de um B_t incipiente, embutido no B_w. Ainda, em conformidade com as constatações de Castro (1989), Martins (2000), Cunha (2002) e Zaparoli (2009), a água tende a adquirir maior incremento vertente a baixo, lixiviando o horizonte superficial e provocando eluviação. Essa situação origina o horizonte E e acarreta, por consequência, no processo de iluviação.

Os valores de DS, PT e RP indicam a ocorrência de compactação nos volumes mais superficiais do solo. Essa condição aponta problemas quanto ao uso

intensivo de máquinas na área, além de favorecer a maior saturação hídrica do solo em menor espaço de tempo, o que acarreta redução da percolação da água no sentido vertical e, assim, acarretar no surgimento de *runoff*. Essa condição favorece as mudanças morfológicas (cor e textura) do material e, quando da ocorrência de fluxo hídrico na superfície, pode levar a ocorrência de erosões laminares e/ou lineares (Gráficos 2 e 3).

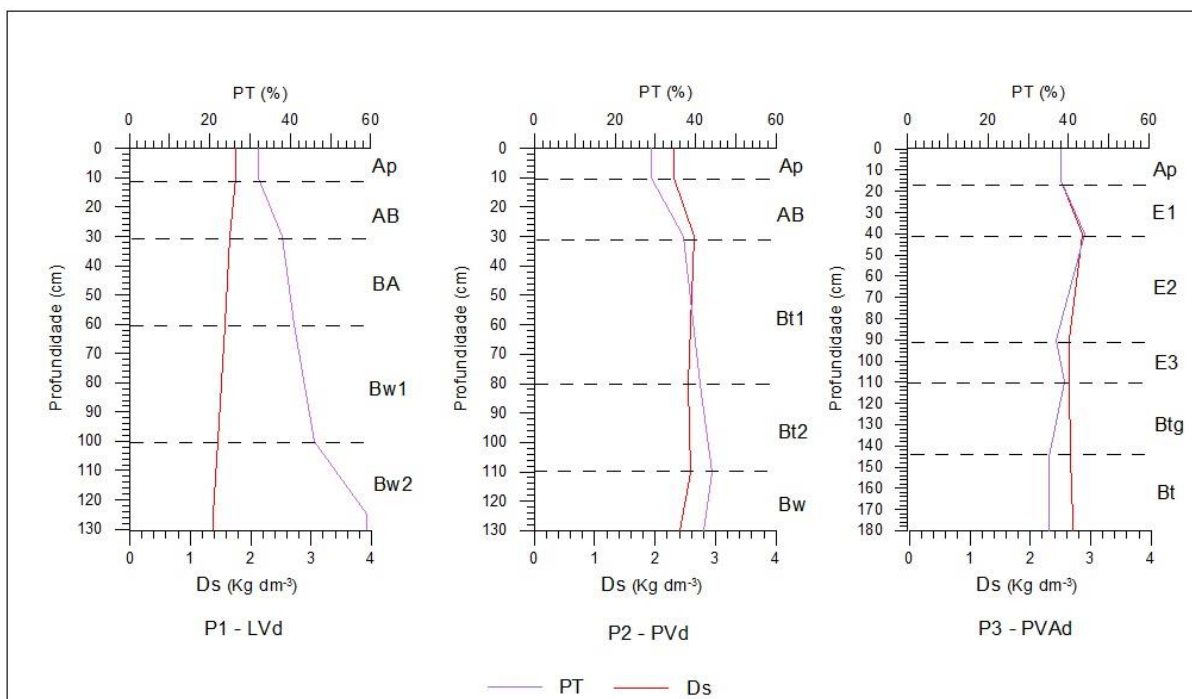


Gráfico 2. Relação entre porosidade total (PT) e densidade do solo (DS), por perfil.

As características naturais, resultantes da fase atual e, a própria dinâmica da paisagem, associada à evolução socioeconômica da região Oeste do Paraná, em especial o município de Terra Roxa, evidencia a importância de conhecer e gerenciar de maneira adequada os solos provenientes da Formação Caiuá. Pode-se observar que, nas áreas de ocorrência dos solos texturalmente mais arenosos, localizados no setor norte do município, sob domínio litológico do arenito, tem-se uma maior susceptibilidade aos processos erosivos, de natureza e dimensão diferenciadas.

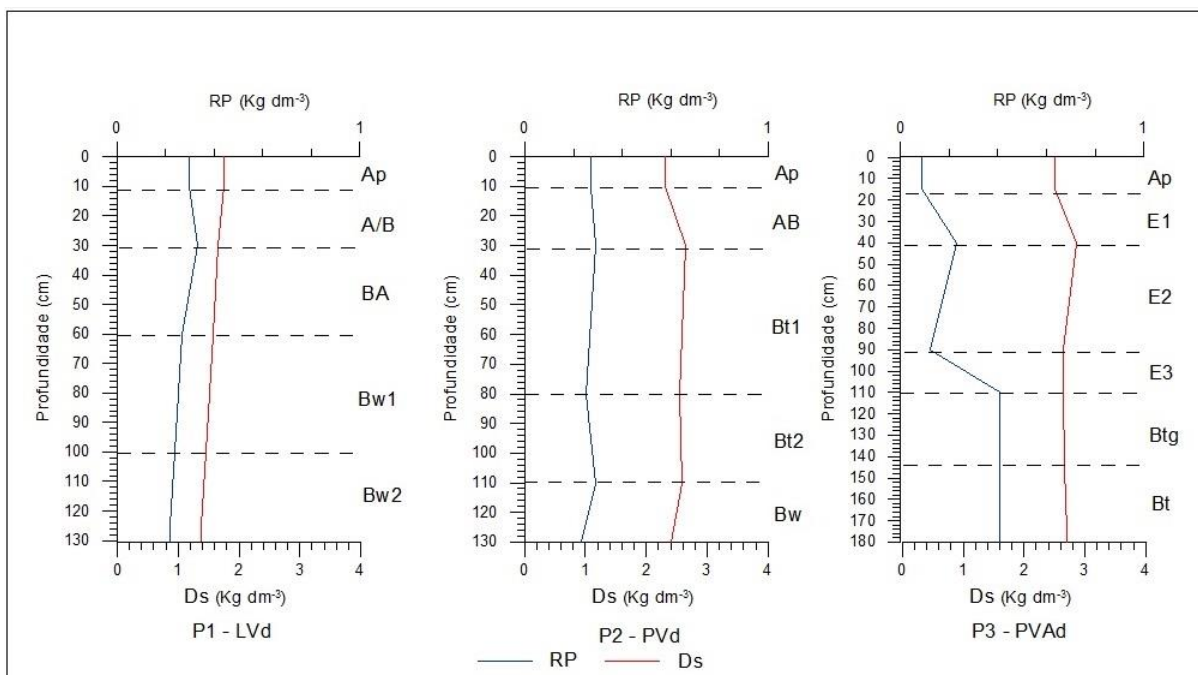


Gráfico 3. Relação entre resistência à penetração (RP) e densidade do solo (DS), por perfil.

Como pode ser observado pelos dados apresentados, o sistema pedológico (LV+PV) da Pedotopossequência do Cruzeirinho mostra-se estável, se comparado com o processo de evolução do relevo regional, mas em desequilíbrio com as condições atuais de uso e manejo dos solos na bacia do Córrego Tamanduá. A referida situação denuncia uma aceleração nas transformações morfológicas dos horizontes, favorecendo a instalação de processos erosivos laminares e lineares, especialmente quando não são ocupados adequadamente, seja pelo uso rural ou urbano (MARTINS, 2000).

De maneira geral, os solos mais susceptíveis são aqueles situados na baixa-vertente, quando há significativo grau de declive na encosta, no sentido do curso hídrico, onde há ocorrência de solos mais susceptíveis aos processos erosivos. Os solos texturalmente mais arenosos apresentam um alto índice de permeabilidade, porém, a coesão entre as partículas de areia é baixa, favorecendo, dessa maneira, sua erodibilidade (BIGARELLA et al., 1994).

Como pode ser observado nos estudos de cunho morfológico (CASTRO, 1989; SANTOS, 1995; CUNHA, 1996; 2002; NAKASHIMA, 1999; MARTINS, 2000; ZAPAROLI, 2009; BARREIROS, 2013; MAGALHÃES, 2013;

BUENO, 2015, ROCHA, 2016, entre outros), a água é um agente que atua em praticamente todos os processos que ocorrem nas vertentes, desde o intemperismo, até a modelagem mecânica do relevo, sendo, portanto, a força motriz das mudanças morfológicas da paisagem. Esses trabalhos são corroborados por Bigarella et al. (1994), quando atesta que a perda de solos causado por ação hídrica, em especial o escoamento (sub)superficial, foi um problema ambiental significativo no século XX, e se mantém no século XXI afetando, incontestavelmente, a produtividade agrícola e contribuindo para a deteriorização das regiões agrárias, como por exemplo, o Oeste do Paraná.

Deve-se lembrar que, o poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte de materiais, depende da densidade e velocidade de escoamento, que se dão principalmente a partir da inclinação e do comprimento da vertente. Quanto mais longa for a vertente, tanto mais importante será a erosão. Aí a necessidade de se manter uma cobertura vegetativa, pois esta tem a função de retardar a concentração do escoamento, bem como reduzir a velocidade através da frenagem da água. Ainda, a desagregação dos agregados será tanto mais fácil quanto menor a coesão do material. Nos solos arenosos, a coesão é pouco significativa. A natureza diferencial do manto de intemperismo e do próprio perfil de solo com seus horizontes de propriedades distintas afetam o fluxo hídrico, tanto em superfície como em subsuperfície, influenciando a circulação das águas e afetando a dinâmica dos processos erosivos.

Nos setores de cobertura argissólica, esses processos são comuns, estando frequentemente associados ao escoamento superficial e a intensa circulação lateral que se instala sobre o Bt. As áreas de topo, sob cobertura latossólica, são as que apresentam os menores riscos a erosão, sendo considerados estáveis. Entretanto, não estão imunes a instalação desses processos que, por evolução remontante de ravinas, podem atingir esse segmento.

Embora não se tenham empregados ensaios de natureza física-hídrica, subentende-se que a circulação hídrica é a grande responsável pela evolução remontante da cobertura. Uma vez instaladas as modificações morfológicas no setor inferior, a dinâmica hídrica torna-se cada vez mais intensa, acentuando cada vez mais as transformações morfopedológicas à montante. Ou seja, a velocidade da

circulação da água torna-se maior quanto maior for as modificações morfológicas da cobertura.

É importante destacar, conforme apontado por Guerra e Cunha (1998), que as propriedades morfológicas dos solos, associados a outros fatores, determinam a susceptibilidade à instalação de processos erosivos. O uso agrícola, por exemplo, produz modificações na erodibilidade e isso se traduz nas mudanças do teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados e propriedades físico-químicas do material exposto.

Variáveis morfológicas do solo, textura, matéria orgânica, estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade total e cobertura vegetativa, denunciam processos em vertente, no que diz respeito à maior (ou menor) suscetibilidade à erosão. A textura é denunciada pela perda de materiais finos, o que pode ser percebido na área de estudo, quando se avança à jusante (Tabela 1). Percebe-se que o incremento de argila subsuperficialmente cria um horizonte de impedimento, acarretando na maior saturação do sistema e evidenciando a suscetibilidade do material arenoso de superfície.

A densidade do solo (Tabela 4) reflete na compactação dos mesmos e é confirmado pelos testes de resistência à penetração. Essa relação se traduz quando há menor teor de matéria orgânica, facilitando a desagregação dos agregados e favorecendo o processo de compactação. Nesse processo, o solo perde sua capacidade de infiltração, propiciando o surgimento de escoamento superficial. Ainda, a densidade é inversa na relação com a porosidade, pois ao se apresentar com baixos valores, indica maior porosidade total e maior infiltração. Esses solos, mesmo apresentando maior permeabilidade, maior porosidade total, maior capacidade de infiltração, a presença de finos, associada à baixos valores de matéria orgânica produz crostas superficiais que acarretam no surgimento de *runoff*.

A Pedotoposequência do Cruzeirozinho apresenta uma vertente longa (740 m), com fraca declividade (até 10%), acarretando em solos que apresentam características de porosidade, que tende a dificultar a circulação hídrica. Conforme constatado pelos trabalhos de Cunha (1996; 2002) e Martins (2000), nos setores de ocorrência dos latossolos, há predomínio de fluxos verticais, que passam progressivamente a laterais no sentido de jusante, quando se tem a ocorrência de

argissolos. Essa situação denuncia a redistribuição de matéria ao longo da vertente, especialmente a retirada dos finos desde as posições mais altas de montante, intensificando-se na média-vertente e evidenciado na baixa-vertente, onde constata-se o espessamento do horizonte superficial de natureza eluvial (E).

O escoamento superficial e subsuperficial na vertente analisada provoca pequenos “sulcos” no solo, intensificados pela declividade. Essa condição leva ao aumento de intensidade dos fluxos no sentido perpendicular ao eixo de drenagem, os quais tem continuidade no setor de jusante, onde se observa o horizonte arenoso de superfície.

Em síntese, no contexto geral dos elementos envolvidos no estudo, (1) a constituição mineralógica do substrato geológico, (2) espessura e composição dos solos, (3) a forma da vertente e as (4) condições climáticas associadas a pluviosidade, juntamente com os (5) fatores sócioeconômicos, como o processo de colonização, (6) retirada rápida da cobertura vegetal e consequentemente o (7) uso intenso do solo por práticas agrícolas, inadequadas, aceleraram a fragilidade dos solos presentes na bacia do Córrego Tamanduá. Pelas próprias condições observadas no segmento de jusante, os terços médio e inferior apresentam-se como sendo os setores de maior risco.

Nesse sentido, subentende-se que, nessa Pedotopossequência, os processos erosivos podem ser controlados, especialmente se todo o setor de baixa-vertente tivesse restrição em seu uso e práticas de recuperação da mata ciliar até 100 m acima da ruptura. Desse ponto, até o topo, seria recomendado práticas conservacionistas rigorosas e contínuas, além de melhor estruturação na construção de terraços em nível, sendo indicado uma construção de terraços mais altos e próximos uns dos outros, garantindo interrupção no caminho da água superficial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema pedológico analisado evolui em decorrência do transporte de matéria que promove reorganizações no interior da cobertura pedológica (processos de eluviação, hidromorfia e possível iluviação). Essa condição indica que a área passa por um desequilíbrio em que o modelado da vertente se modifica de convexo, no topo e média-vertente, para côncavo-retilíneo no terço final e sopé, decorrentes dos processos observados e acarretam na instação de erosões lineares na área de jusante.

Analisando-se os dados apresentados nos resultados e discussões, pode-se constatar que:

1 - Nos segmentos de topo e alta-vertente há existência de latossolo, tal como é evidenciado pela literatura e outros estudos em áreas de solos provenientes do Arenito da Formação Caiuá. Esse solo é espesso, com suas propriedades físicas bem típicas que, ao avançar rumo à média-vertente, quimicamente, apresenta características do argissolo. Essa condição reflete que, em concordância com a variação na forma do terreno, o solo muda seu comportamento na paisagem, em resposta da alteração do funcionamento físico e dos processos superficiais constatados;

2 - No segmento de média-vertente há ocorrência de uma frente de transformação do horizonte B_w para o horizonte B_t , evidenciando maior lixiviação de material nos volumes superiores, incremento de argila no horizonte diagnóstico e, ainda, mudança no sentido preferencial da circulação hídrica. Essa mudança revela que o volume superficial, ao perder os elementos floclantes do solo, ficam mais suscetíveis aos processos erosivos (morfogênese), sendo assim, remobilizados de forma areolar, preenchendo as irregularidades do modelado no terço inferior da vertente;

3 - O segmento inferior (baixa-vertente e fundo de vale) revela que o modelado côncavo-retilíneo avança de forma remontante ao longo da vertente, constituindo-se como uma rampa embutida num modelo já existente, indicando um caráter areolar para essa feição retilínea da pedotoposequência. Nesse segmento observa-se duas frentes de transformação que ocorrem simultaneamente: a

primeira, destruindo o horizonte AB, que se transforma em um horizonte eluvial (E) e este, por sua vez, se espessa, destruindo o topo do horizonte Bt. Esse avanço do horizonte superficial E é evidenciado pela existência de bandas onduladas que (1) denunciam uma intensa circulação hídrica subsuperficial no sentido lateral e, (2) testemunham, residualmente que o Bt já esteve em níveis mais elevados no perfil, antes de sua eluviação.

4 - A dinâmica ocorrida, principalmente no setor de baixa-vertente, revela a necessidade de estudos de maior detalhe na área, tais como micromorfologia de solos, para melhor entendimento das frentes de transformação e, ensaios hídricos, na tentativa de melhor caracterizar o funcionamento hídrico dos solos na bacia do Córrego Tamanduá e estabelecer sua relação com a instalação dos processos erosivos em superfície.

5 - O comportamento físico-químico estudado nessa vertente característica revela, por fim, a necessidade medidas de conservação dos solos que adotem rigidez no tratamento do manejo.

É interessante refletir sobre a possibilidade de retrabalhar a eficácia dos terraços em nível, aproximando-os uns dos outros e aumentando sua altura. Ainda, pensar nas vantagens ambientais de uma possível preservação de todo o setor da baixa-vertente, a fim de conter a intensidade dos processos geomorfopedológicos ocorridos nesse ambiente, preservando o corpo hídrico e recuperando um setor que naturalmente é mais fragilizado e tem sua fragilidade emergente ainda mais potencializada nas condições de uso do solo atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. São Paulo: IGEO-USP, n. 18. 1969.

_____. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: Ed. Ateliê Nacional, 2003.

BADE, M. R. **Definição e caracterização das unidades de paisagem das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Marechal Cândido Rondon-PR, 2014.

BADE, M. R.; ROCHA, A. S. da; CUNHA, J. E. da; NÓBREGA, M. T. de. Geotecnologias aplicadas à cartografia geomorfológica: o estudo de caso da Bacia do Paraná III BR/PY. **Anais do II Seminario Internacional de los Espacios de Frontera (II Geofronteiras)** – de 23 a 25 de setembro de 2013. UNAM (Universidad Nacional de Misiones), Posadas-Misiones (Argentina). p. 1-13.

BARREIROS, A. M. **Estudo sobre a pedogênese na transição arenitos-basaltos na Bacia do Córrego Gurupá (Floraí/PR)**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2013.

BARROS, O. **Análise Estrutural e Cartografia Detalhada de Solos em Marília, Estado de São Paulo: ensaio metodológico**. São Paulo: FFLCH-USP, 1985.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**. v. 13. São Paulo: IG-USP, 2004.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. Dos.; PASSOS, E.; SUGUIU, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1994. 3 volumes.

BIGHAM, J. M.; FITZPATRICK, R. W.; SCHULZE, D. G.. Iron oxides. In: DIXON, J. B.; SCHULZE, D. G. (orgs) **Soil mineralogy with environmental applications**. Published by: Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin, USA. 323-366, 2002.

BOCQUIER, G. Genèse et evolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation biogeodynamique. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.** Paris, França. n. 62. 1973.

BOULET, R. **Toposéquences de sols tropicaux em Halte Volta. Équilibre et déséquilibre pedobioclimatique.** (Tese de doutorado). Paris. Université de Strasbourg, 1974.

_____. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P.; FREITAS, S. S. (coords.). **Responsabilidade social da ciência do solo: e os simpósios Microbiologia do solo: só simbiose? E a Importância do conhecimento da cobertura pedológica: a análise estrutural.** Campinas: SBCS, 1988.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Les systemes de transformation en pédologie. AFES, Livre Jubilaire du Cinquantenaire, p. 167-179, 1984.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pedologie. I – Prise en compte l'organisation bidimensionnelle de la couberture pédologique: les étude de toposéquences et leurs principaux apport à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.** Paris, França. v. XIX, n. 4. p. 309-322. 1982.

BUENO, K. **Fragilidade ambiental do município de Guaíra-PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Marechal Cândido Rondon-PR, 2015.

CALEGARI, M. R. **Distribuição da Cobertura Pedológica e o Relevo do Alto Vale do Ribeirão Água do São Francisco – Nova Esperança-PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Florianópolis-SC, 2000.

CARVALHO, S. M.; CAVICCHIOLI, M. A. B.; CUNHA, F. C. A. da. Paisagem: evolução conceitual, métodos de abordagem e categoria de análise da Geografia. **Formação.** Presidente Prudente, n. 9, v. 2, p. 309-347. 2002.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo.** São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO, S. S. **Sistemas de transformação pedológica em Marília-SP: B latossólico e B texturais**. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH-USP, 1989.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferralitiques de la zone tropicale à saisons contrastées**. (Tese de doutorado). Paris. Université de Strasburg, 1977.

CUNHA, J. E. **Caracterização Morfológica (Macro e Micro) e Comportamento Físico-Hídrico de Duas Topossequências em Umuarama (PR): subsídios para avaliação dos processos erosivos**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 1996.

_____. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha-PR**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2002.

CURI, H.; LARACH, J. O. I.; KAMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas: SBCS, 1993.

DELVIGNE, J. Pédogenèse em zone tropicale: la formation des minéraux secondaires em Milieu Ferrallitique. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.** Paris, França, n. 13. 1965.

DOLLFUS, O. **O Espaço Geográfico**. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1972.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

_____. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção e Informação, 2013.

ERHART, H. **La gênese des sols em tant que phenomena géologique**. Paris, Masson et Cie. Ed. 1956.

ESPÍNDOLA, C. R. **Retrospectiva Crítica Sobre a Pedologia**: um repasse bibliográfico. Campinas: UNICAMP, 2008.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 3, p. 164-76, 1994.

FILIZOLA, H. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté-SP**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 1993.

FUMIYA, M. H.; SANTOS, L. J. C.; MANGUEIRA, C. G.; COUTO, E. V. do. Emprego do índice de concentração da rugosidade para a identificação de feições morfológicas associadas as crostas ferruginosas no Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V. 17. n. 3. P. 465-480. 2016.

GASPARETTO, N. V. L. **As formações superficiais no noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá**. Tese de Doutorado. IG-USP, 1999.

GHILARDI, R. P.; D'ÁGOSTA, F. C. P.; ALVES, K.; CAMPOS, A. C. de A. Tafonomia de moluscos fósseis do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, Bacia Bauru), na região do município de Monte Alto, São Paulo, Brasil. **Bol.Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.** Belém, v. 6, n. 2, p.197-206, mai-ago. 2011.

GREENE, H. Classification and use of tropical soils. **Soils Science Society of American Proceedings**, vol. 10, p. 392-396, 1945.

GREGORY, V. **Os eurobrasileiros e o espaço colonial**: migrações no oeste do Paraná (1940-1970). Cascavel: EDUNIOESTE, 2002.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **A Questão Ambiental**: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 3a. Ed. Rio De Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas básicas do Estado do Paraná**, 1994.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. **Cidades**. Disponível em: <
<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=412740&search=%7C%7Cinfogr%E1ficos:-hist%F3rico>>. Acessado em: 02 set 2016.

JAHN, H. **Denudational balance of slope**. Geogr. Polonica, 1968.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2002.

_____. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2011.

LUZ, C. E. Paisagem e Geografia: uma revisão conceitual. **Geoingá**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maringá, v. 6, n. 1, p. 110-135, 2014.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4a. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MAGALHÃES, V. L. **Ocupação das terras e organização dos sistemas de produção agrícola do município de Marechal Cândido Rondon – PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon-PR, 2005.

_____. **Gênese e evolução de sistemas pedológicos em unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon-PR**. Tese (Doutorado em Geografia). – Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR, 2013.

MANOSSO, F. C. Estudo integrado da paisagem nas regiões norte, oeste e centro-sul do estado do Paraná: relações entre a estrutura geoecológica e a organização do espaço. **Boletim de Geografia**. Maringá. ano 26, n. 1, p. 81-94. 2008.

MARQUES, A. J.; SANTIL, F. L. de P.; CUNHA, J. E. da. O uso do clinômetro no levantamento topográfico, estudo de caso: levantamento pedológico. In: **Boletim de Geografia**. Maringá, n.18, 2000. p. 135-141.

MARTINS, V. M. **Caracterização morfoopedológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do Córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). FFLCH-USP, São Paulo, 2000.

MATEO, J. M. et al. **Geoecologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 2a. Ed. Fortaleza: Ed. UFC, 2007.

MENDONÇA, F. A. de. **Geografia Física: Ciência Humana?** 3a. Ed. São Paulo: Contexto, 2001.

MILNE, G. **Some suggested units on classification and mapping, particularly for East African soils**. Supplements to the proceedings of the International Society of Soils Science, vol/Bb. IV, n.3, p.183-198, 1935.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba. 2001.

_____. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2006.

MORAES, A. C. R. **A Gênese da Geografia Moderna**. São Paulo: Ed. USP, 1989.

NAKASHIMA, P. **Carta de Solos do município de Cidade Gaúcha-PR**. 1993.

_____. **Sistema pedológico da região noroeste do estado do Paraná: distribuição e subsídios para o controle de erosão**. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH-USP, 1999.

NÓBREGA, M. T. de; CUNHA, J. E. da. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Revista Espaço Plural**. UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon. 2012.

NÓBREGA, M. T. de; GASPARETTO, N. V. L.; NAKASHIMA, P. Metodologia para cartografia geotécnica de Umuarama-PR. In: **Boletim de Geografia**. Maringá, ano 10, n.1, 1992. p. 5-10.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. D.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de Análise Química do Solo e Controle de Qualidade**, Londrina: IAPAR, 1992.

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**. v. 22, n. 1, p. 65-78. 2001.

_____. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: USP, v. 15, p. 77-90. 2002.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORREA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Lavras, Ed. UFLA, 2007.

ROCHA, A. S. da. **Morfopedologia e Fragilidade Ambiental nos Fundos de Vale do Trecho Superior do Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Francisco Beltrão-PR, 2011.

_____. **As vertentes características e os sistemas pedológicos como instrumentos de análise para a identificação das fragilidades e potencialidades ambientais na Bacia Hidrográfica do Paraná 3**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maringá-PR, 2016.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**. Vol. 1, n. 1, jul 1990. Pg. 75-92. Santa Maria-RS, 2002.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

_____. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 9a. Ed. São Paulo: Contexto, 2012.

RUELLAN, A. Pedologia e Desenvolvimento: a ciência do solo a serviço do desenvolvimento. In: **A Responsabilidade Social da Ciência do Solo**. SBCE, 1988.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Universités Francophones. Les Éditions Foucher, Paris, 1993.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP)**: regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. Tese (Doutorado em Geografia Física). Departamento de Geografia. FFLCH/USP. São Paulo, 1994.

_____. Controle e Prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTOS, L. J. C. dos; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. d.; SILVA, J. M. F. da; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, n. 2, 2006.

SANTOS, R. D. dos. **Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo**. 7a. ed. Viçosa: SBCS, 2015.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Paraná). **Bacias Hidrográficas do Paraná**: série histórica. Curitiba: SEMA, 2010. Disponível em:
<http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf>. Acessado em 02 set 2016.

SUERTIGARAY, D. M. A. **Geografia física e Geomorfologia**: uma (re)leitura. Ijuí: Ed. Unijuí, 2002.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

VIDAL TORRADO, P. **Pedogênese e Morfogênese no Distrito de Tupi (Piracicaba, SP)**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 1994.

VIDAL TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e Aplicações das Relações Pedológicas: Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, v. 4, p. 145-192. 2005.

ZAPAROLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na Topossequência Sítio São José na Bacia do Córrego Aratu, Floraí-PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maringá-PR, 2009.