

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – DOUTORADO EM GEOGRAFIA**

**ANDERSON SANDRO DA ROCHA**

**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**

**MARINGÁ – PR**  
**2016**

**ANDERSON SANDRO DA ROCHA**

**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 de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, na linha de pesquisa intitulada Análise Ambiental, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Teresa de Nóbrega

Co-orientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha

**MARINGÁ – PR**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

R672	<p>Rocha, Anderson Sandro da</p> <p>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 / Anderson Sandro da Rocha. – Maringá, 2016. 166 f.</p> <p>Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nóbrega Coorientador: Prof. Dr. José Edézio da Cunha</p> <p>Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, 2016.</p> <p>1. Bacias hidrográficas - Brasil. 2. Paraná, Rio, Bacia. 3. Ciência do solo. 4. Paisagens. I. Nóbrega, Maria teresa. II. Cunha, José Edézio. III. Título.</p> <p>CDD 22.ed. 551.48098162 631.4 CIP-NBR 12899</p>
------	--

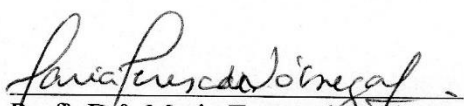
Ficha catalográfica elaborada por Marcia Elisa Sbaraini-Leitzke CRB-9/539

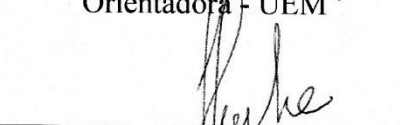
AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS COMO  
INSTRUMENTOS DE ANÁLISE PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS FRAGILIDADES E  
POTENCIALIDADES AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3


Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de  
Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de  
Doutor em Geografia, área de concentração: Análise  
Regional e Ambiental, linha de pesquisa: Análise Ambiental

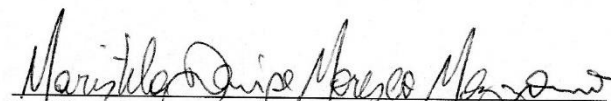
Aprovada em **16 de dezembro de 2016.**


BANCA EXAMINADORA

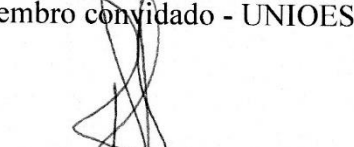
  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nobrega  
Orientadora - UEM

  
Prof. Dr. José Edézio da Cunha  
Coorientador - UNIOESTE

  
Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez  
Membro convidado - UNIOESTE

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maristela Denise Moresco Mezzomo  
Membro convidado - UTFPR

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Vanda Moreira Martins  
Membro convidado - UNIOESTE

  
Prof. Dr. Hélio Silveira  
Membro convidado - UEM



## AGRADECIMENTOS

*Agradeço à Deus pela presença nos momentos de dificuldade e de felicidade vivenciados no período de realização do Doutorado.*

*À Família, em especial aos meus pais Arcidio e Marinete e ao meu irmão Ailton, por acreditar e incentivar meus estudos e meu trabalho.*

*À minha querida esposa Juliane, pelo companheirismo, pela alegria e principalmente pelo apoio incondicional nos momentos mais importantes da minha vida.*

*Ao meu grande amigo Maicol, companheiro de pesquisa, meu muito obrigado pelo auxílio na elaboração dos mapas temáticos e pela troca de experiências acadêmicas.*

*Aos amigos Eliane, Edmir e Renan, por terem me acolhido em suas casas e pelo incentivo em importantes momentos do Doutorado, minha eterna gratidão.*

*Ao casal Nerci e Nilva Becker, pela ajuda nos trabalhos de campo e pelo constante apoio e motivação.*

*Aos amigos Vanderlei e Andréia, pelo auxílio na correção ortográfica, pelos diálogos e pelos vários momentos de descontração.*

*Ao Agnaldo, Jaqueline, Cleonice, Leonir, Donizete, Romário, José e todos que contribuíram de alguma forma.*

*Aos professores e amigos do Universidade Tecnológica Federal do Paraná e da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela constante troca de experiência.*

*Aos professores Dr. Oscar V. Q. Fernandez, Dr. Hélio Silveira, Dr<sup>a</sup> Maristela D. M. Mezzomo e Dr<sup>a</sup>. Vanda M. Martins, pelas importantes contribuições nas bacas de qualificação e defesa do Doutorado.*

*Ao professor e amigo Dr. José Edézio da Cunha, meu agradecimento pela constante confiança e pelas orientações proferidas desde a iniciação científica até a conclusão desse trabalho.*

*À professora Dr<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nóbrega, um agradecimento muito especial, pelo exemplo de pesquisadora, professora e pessoa e principalmente pelo aprendizado construído ao longo das diferentes etapas dessa pesquisa.*

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a identificação e a análise detalhada das vertentes características e dos sistemas pedológicos associados às diferentes unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Paraná 3, visando compreender suas fragilidades e potencialidades ambientais. Utilizando-se dos preceitos teóricos e metodológicos da análise estrutural da cobertura pedológica, da avaliação dos índices de integral hipsométrica e das concepções de análise integrada da paisagem, foi possível entender o comportamento morfopedológico e a evolução geomorfológica dos três grandes setores topográficos da bacia: o setor de platô, que contempla a unidade de Cascavel; o intermediário, onde se localiza a unidade de São Francisco; e o setor rebaixado, representado pela unidade de Foz do Iguaçu. No alto setor, as vertentes típicas caracterizam-se por morfologias convexo-retilíneas e sistemas pedológicos dominantes constituídos por Latossolo Vermelho – Neossolo Regolítico – Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho – Nitossolo Vermelho. No setor médio, predominam as vertentes convexo-côncavo-retilíneas, segmentadas em patamares, com sistema pedológico formado pelo Neossolo Regolítico – Nitossolo Vermelho – Neossolo Litólico. No setor baixo, às margens do Rio Paraná, dominam as vertentes retilíneas e o sistema pedológico tipicamente composto pelo Latossolo Vermelho – Nitossolo Vermelho. A correlação dos dados morfopedológicos permitiu entender que os três setores se encontram em estágios diferenciados de evolução geomorfológica. O compartimento superior sofreu menor atuação dos processos de erosão, com denudação menos intensa do relevo, enquanto o compartimento inferior contou com maior atuação dos processos de erosão e maior denudação. Desse modo, os dados de integrais hipsométrica demonstraram que a evolução geomorfológica regional vem ocorrendo por meio do avanço de processos de erosão remontante, que atualmente é mais intensa no compartimento intermediário. O conhecimento das interações existentes entre os domínios geomorfopedológicos e os elementos da estrutura geocológica permitiram compreender as fragilidades potencial e emergente, com a espacialização das áreas de estabilidade/instabilidade ambiental da bacia. Em termos gerais, a correlação dos dados espaciais e numéricos possibilitou avaliar que a fragilidade potencial apresentou um predomínio das classes fraca (45,21%) e muito fraca (30,41%), enquanto que a fragilidade emergente demonstrou maior expressividade da classe de fragilidade moderada (41,40%), seguida da classe de fragilidade fraca (34,30%). Nesse contexto, também foi possível evidenciar diferentes condições de capacidade de uso das terras. A determinação das classes e subclasses de capacidade, com suas respectivas restrições ambientais, permitiu compreender que a morfologia das vertentes e a distribuição da cobertura pedológica apresentam informações preponderantes para indicação de práticas adequadas de conservação do solo no âmbito territorial da bacia hidrográfica do Paraná 3.

**Palavras-chave:** vertentes características, sistemas pedológicos, unidades de paisagem, bacia hidrográfica do Paraná 3.

## ABSTRACT

The present work has the objective of identifying and detailed analysis of the characteristic slopes and the pedological systems associated to the different landscape units of the Paraná watershed 3, in order to understand their fragilities and environmental potentialities. Using the theoretical and methodological precepts of the structural analysis of the pedological cover, the evaluation of the hypsometric integral indices and the concepts of integrated analysis of the landscape, it was possible to understand the morphopedological behavior and the geomorphological evolution of the three large topographic sectors of the watershed: sector of plateau, which contemplates the Cascavel unit; the intermediary, where the unity of San Francisco is located; and the demoted sector, represented by the Foz do Iguaçu unit. In the upper sector, the typical slopes are characterized by convex-rectilinear morphologies and dominant pedological systems consisting of Red Latosol - Regolithic Neosol - Red Latosol and Red Latosol - Red Nitosol. In the middle sector, the convex-concave-rectilinear slopes predominate, segmented in levels, with a pedological system formed by the Regolithic Neosol - Red Nitosol - Neosol Litholic. In the low sector, on the margins of the Paraná River, dominate the rectilinear slopes and the pedological system typically composed of the Red Latosol - Red Nitosol. The correlation of the morphopedological allowed us to understand that the three sectors are in differentiated stages of geomorphological evolution. The upper compartment was less affected by the erosion processes, with less intense denudation of the relief, while the lower compartment had a higher performance of erosion processes and greater denudation. Thus, data from hypsometric integrals have shown that regional geomorphological evolution has been occurring through the advance of remanent erosion processes, which is currently more intense in the intermediate compartment. The knowledge of the interactions between the geomorphopedological domains and the elements of the geoecological structure allowed us to understand the fragilities potential and emergent, with the spatialisation of the areas of stability / environmental instability of the watershed. In general terms, the correlation of spatial and numerical data made it possible to evaluate that the potential fragility presented a predominance of the weak (45.21%) and very weak (30.41%) classes, while the emergent fragility showed greater expressiveness of the Fragility (41.40%), followed by the weak fragility class (34.30%). In this context, it was also possible to evidence different conditions of land use capacity. The determination of the capacity classes and subclasses, with their respective environmental restrictions, allowed us to understand that the morphology of the slopes and the distribution of the pedological cover present preponderant information to indicate appropriate soil conservation practices in the territorial scope of the Paraná watershed 3.

**Key words:** characteristic slopes, pedological systems, landscape units, Paraná watershed 3.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo hipotético de vertente de Dalrymple.....	23
Figura 2: Esquema de Daniels et al. (1971) - ilustração de um vale numa bacia sedimentar, com seus depósitos e superfícies geomórficas. ....	25
Figura 3: Modelos representativos de curvas hipsométricas normalizadas.....	53
Figura 4: Avaliação da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica do solo.....	55
Figura 5: Localização da área de estudo: bacia hidrográfica do Paraná 3.....	58
Figura 6. Evolução da emancipação dos municípios da BP3 .....	62
Figura 7: Evolução Populacional entre as décadas de 1970 e 2000 dos municípios da BP3 ...	63
Figura 8: A - Municípios Lindeiros; B - Sete Quedas; C – Sete Quedas após inundação; D – Rio Paraná na Década de 1970; E – Usina de Itaipu em Construção; F - Usina de Itaipu em Operação.....	65
Figura 9: Índice de desenvolvimento humano dos municípios da BP3.....	68
Figura 10: PIB Per Capita dos municípios da BP3.....	69
Figura 11: Produção agropecuária dos municípios da BP3.....	71
Figura 12: Participação da agricultura familiar frente ao agronegócio na BP3.....	72
Figura 13: Geologia e Hidrografia da BP3 .....	74
Figura 14: Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.....	76
Figura 15: Declividade da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 .....	77
Figura 16: Cobertura Pedológica da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.....	78
Figura 17: Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 .....	81
Figura 18: Unidades de paisagem da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 .....	84
Figura 19: Perfil topográfico transversal da unidade hidrográfica do Paraná 3 .....	88
Figura 20: Localização das áreas de análise de integral hipsométricas na BP3 .....	89
Figura 21: Localização das bacias dos rios Ipiranga, Santa Rosa e Panambi na unidade Cascavel .....	89
Figura 22: Localização das bacias dos rios Três Ranchos, Piracema e Zabelê na unidade São Francisco.....	90
Figura 23: Localização das bacias dos rios Dois Irmãos, Pacuri e Moreninha na unidade Foz do Iguaçu .....	90
Figura 24: Representação gráfica das curvas hipsométricas normalizadas das bacias selecionadas nas unidades de paisagem na bacia do Paraná 3 .....	92

Figura 25: Unidade de Cascavel e as suas subunidades: (1.A) Toledo; (1.B) Santa Teresa do Oeste; (1.C) Nova Santa Rosa .....	94
Figura 26: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Toledo.....	95
Figura 27: Vertente convexo-retilínea na Subunidade de Toledo. ....	95
Figura 28: Detalhe da ruptura (fraca) de declive na média vertente da Subunidade de Toledo.....	95
Figura 29: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Santa Teresa do Oeste .....	96
Figura 30: Subunidade de Santa Teresa do Oeste, evidenciando as formas convexo-côncavo-retilíneas.....	96
Figura 31: Subunidade de Santa Teresa do Oeste, evidenciando as formas convexo-côncavo-retilíneas.....	96
Figura 32: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Nova Santa Rosa ...	97
Figura 33: Subunidade de Nova Santa Rosa – topo achatado e vertentes convexo-retilíneas .	97
Figura 34: Subunidade Nova Santa Rosa – topo levemente convexo, largo, e vertentes convexo-retilíneas.....	97
Figura 35: Localização e perfil esquemático da vertente característica na unidade de Cascavel.....	98
Figura 36: Unidade de São Francisco.....	100
Figura 37: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de São Francisco .....	101
Figura 38: Localização e perfil esquemático da vertente característica na unidade de São Francisco.....	102
Figura 39: Detalhe da ocorrência de blocos rochosos em superfície, localizados em segmentos inclinados da unidade de São Francisco .....	103
Figura 40: Área representativa da unidade São Francisco, domínio de Neossolo com uso de pastagem e mata nativa. As culturas temporárias aparecem nos setores alargados e planos dos fundos de vale.....	103
Figura 41: Unidade de Foz do Iguaçu .....	104
Figura 42: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Foz do Iguaçu .....	105
Figura 43: Localização e perfil esquemático da vertente característica na unidade de Foz do Iguaçu .....	105
Figura 44: Vertente convexa-retilínea na unidade de Foz do Iguaçu. ....	106
Figura 45: Detalhe do fundo de vale plano e aberto na vertente representativa de Foz do Iguaçu .....	106

Figura 46: Talude marginal do rio Paraná anterior a inundação do lago de Itaipu .....	106
Figura 47: Praia artificial do Distrito de Porto Mendes, localizada à margem do lago de Itaipu.....	106
Figura 48: Topossequência da Unidade de Cascavel .....	108
Figura 49: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Cascavel.....	110
Figura 50: Relação entre a velocidade de infiltração e porosidade total do solo na topossequência de Cascavel.....	112
Figura 51: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de Cascavel .	114
Figura 52: Topossequência da unidade de São Francisco .....	117
Figura 53: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de São Francisco.....	120
Figura 54: Relação entre a velocidade de infiltração e porosidade total na topossequência de São Francisco.....	122
Figura 55: Relação entre a velocidade de infiltração e densidade do solo na topossequência de São Francisco.....	122
Figura 56: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de São Francisco .....	123
Figura 57: Topossequência da unidade de Foz do Iguaçu.....	125
Figura 58: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Foz do Iguaçu.....	127
Figura 59: Variação vertical da velocidade de infiltração e porosidade total dos perfis de solos da topossequência de Foz do Iguaçu .....	129
Figura 60: CTC e MO dos perfis de solos da topossequência de Foz do Iguaçu .....	131
Figura 61: Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 .....	133
Figura 62: Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 .....	135
Figura 63: Capacidade de uso das terras da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 .....	140
Figura 64: Perfil Geoecológico da Unidade de Paisagem de Cascavel.....	144
Figura 65: Perfil Geoecológico da Unidade de Paisagem de São Francisco.....	147
Figura 66: Perfil Geoecológico da Unidade de Paisagem de Foz do Iguaçu .....	149

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes da Vertente.....	21
Tabela 2: Valores de $\alpha$ sugeridos para os solos de acordo com sua macroporosidade e textura.....	56
Tabela 3: Classes de Uso e Cobertura da Terra da Bacia do Paraná 3 .....	82
Tabela 4: Valores da integral hipsométrica (Hi) e integral de erosão (Ei), correspondentes as bacias hidrográficas estudadas na BP3 .....	91
Tabela 5: Atributos morfológicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Cascavel .....	109
Tabela 6: Atributos físico-hídricos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Cascavel .....	111
Tabela 7: Atributos químicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Cascavel.....	115
Tabela 8: Atributos morfológicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de São Francisco.....	118
Tabela 9: Atributos físicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de São Francisco.....	121
Tabela 10: Atributos químicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de São Francisco.....	123
Tabela 11: Atributos morfológicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Foz do Iguaçu .....	126
Tabela 12: Atributos físico-hídricos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Foz do Iguaçu .....	128
Tabela 13: Atributos químicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Foz do Iguaçu .....	131
Tabela 14: Área ocupada pelas classes de Fragilidade Potencial da BP3 .....	132
Tabela 15: Área ocupada pelas classes de Fragilidade Emergente da BP3 .....	134
Tabela 16: Classes de Fragilidade Potencial e Emergente por Unidade de Paisagem da BP3 .....	137
Tabela 17: Área ocupada pelas classes de Capacidade de Uso da Terra da BP3 .....	139
Tabela 18: Classes de Capacidade de Uso da Terra por Unidade de Paisagem da BP3.....	141

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Solos: pesos e atributos .....	47
Quadro 2: Declividade .....	48
Quadro 3: Graus de fragilidade.....	48
Quadro 4: Classificação dos usos da terra .....	49
Quadro 5: Critérios utilizados para determinação das classes de capacidade de uso do solo, segundo Lepsch (2015).....	50
Quadro 6: Classes e subclasses de capacidade de uso do solo, segundo Lepsch (2015).....	51
Quadro 7: Atributos de análise e determinação das classes e subclasses de capacidade de uso da BP3 .....	138



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1: AS UNIDADES DE PAISAGEM, AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS.....</b>	<b>16</b>
1.1 A PAISAGEM E OS SEUS COMPARTIMENTOS: BASE PARA A DISCUSSÃO DAS POTENCIALIDADES E FRAGILIDADES AMBIENTAIS .....	16
1.2 AS VERTENTES: MORFOLOGIA E PROCESSOS.....	19
1.2.1 A vertente e os seus componentes .....	21
1.2.2 Os parâmetros morfológicos e os processos.....	26
1.3 AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS .....	31
1.4 FRAGILIDADE E POTENCIALIDADE AMBIENTAL: DISCUSSÃO METODOLÓGICA .....	35
<b>CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
2.1 ATIVIDADES DE GABINETE.....	44
2.1.1 Levantamento de dados históricos e censitários.....	44
2.1.2 Produção de material cartográfico .....	44
2.1.3 Análise de Integral Hipsométrica .....	52
2.2 ATIVIDADES DE CAMPO .....	53
2.2.1 Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica .....	54
2.2.2 Análises Hídricas do Solo.....	55
2.3 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO .....	57
2.3.1 Análises Físicas .....	57
2.3.2 Análises Químicas .....	57
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA SOCIOECONÔMICA E GEOECOLÓGICA DA BACIA DO PARANÁ 3.....</b>	<b>58</b>

3.1 PROCESSOS HISTÓRICOS NA BACIA DO PARANÁ 3.....	59
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA SOCIOECONÔMICA NA BACIA DO PARANÁ 3.....	67
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA GEOECOLÓGICA NA BACIA DO PARANÁ 3.....	73

**CAPÍTULO 4: DAS UNIDADES DE PAISAGEM AOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS E AS SUAS IMPLICAÇÕES NAS FRAGILIDADES E POTENCIALIDADES AMBIENTAIS NA BACIA DO PARANÁ 3..... 83**

4.1 AS UNIDADES DE PAISAGEM NA BACIA DO PARANÁ 3 .....	83
4.2 AS UNIDADES DE PAISAGEM REPRESENTATIVAS DA BACIA DO PARANÁ 3 E AS SUAS VERTENTES CARACTERÍSTICAS.....	87
4.2.1 Análise hipsométrica e evolução do relevo nas principais unidades de paisagem.....	88
4.2.2 Unidade de Paisagem de Cascavel .....	93
4.2.3 Unidade de Paisagem de São de Francisco .....	99
4.2.4 Unidade de Paisagem de Foz do Iguaçu.....	103
4.3 OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS NAS VERTENTES CARACTERÍSTICAS: ASPECTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS, QUÍMICOS E HÍDRICOS.....	107
4.3.1 Topossequência de solos da unidade de Cascavel.....	107
4.3.2 Topossequência de solos da unidade de São Francisco.....	116
4.3.3 Topossequência de solos da unidade de Foz do Iguaçu .....	124
4.4 FRAGILIDADE E POTENCIALIDADE NA UNIDADE HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3.....	132
4.4.1. A fragilidade potencial e emergente na unidade hidrográfica do Paraná 3.....	132
4.4.2. A Capacidade de Uso da Terra na Bacia do Paraná 3: recomendações e restrições ambientais.....	138
4.5 AS RELAÇÕES ENTRE AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS, OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS E AS FRAGILIDADES E POTENCIALIDADES NA BACIA DO PARANÁ 3.....	143

**CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 151**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 156**

## INTRODUÇÃO

Os estudos que buscam a compreensão da distribuição espacial dos solos na paisagem têm proporcionado importantes contribuições ao conhecimento das fragilidades e potencialidades do meio físico, trazendo informações significativas à adequação do uso solo, assim como ao planejamento e à gestão ambiental e territorial.

Esses trabalhos, quando realizados com o suporte da análise estrutural da cobertura pedológica e da análise integrada da paisagem, possibilitam a identificação e a compreensão dos sistemas pedológicos dominantes ao longo das vertentes, do seu funcionamento e das relações existentes com outros aspectos físicos e das suas respostas às intervenções antrópicas.

Com base nesses pressupostos, a presente pesquisa tem por objetivo a identificação e a análise de vertentes características e dos sistemas pedológicos associados nas diferentes unidades de paisagem que compõem a unidade hidrográfica do Paraná 3, visando compreender suas fragilidades e potencialidades ambientais.

A bacia hidrográfica do Paraná 3 apresenta 5 grandes unidades de paisagem, a saber: Unidade de Cascavel, dividida em três subunidades: (A) - subunidade de Toledo, (B) - subunidade de Santa Teresa do Oeste e (C) - subunidade de Nova Santa Rosa; Unidade de São Francisco; Unidade de Foz do Iguaçu; Unidade de Marechal Cândido Rondon e Unidade de Guaíra. As unidades foram definidas por Bade e Rocha (2013), a partir de um conjunto de informações referentes à estrutura geocológica, com ênfase nos aspectos geomorfológicos presentes na bacia.

Ao longo das unidades de paisagem foram identificadas e selecionadas vertentes características representativas em termos morfológicos e pedológicos. Nessas vertentes, foram realizados estudos detalhados em topossequências, empregando-se a metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica e, estudos ainda mais detalhados, englobando análises físicas, químicas e hídricas dos sistemas de solos, em três grandes setores da bacia: o setor de platô, que contempla a unidade de Cascavel; o intermediário, onde se localiza a unidade de São Francisco; e o setor rebaixado, representado pela unidade de Foz do Iguaçu.

Nesse sentido, as hipóteses do presente trabalho pautam-se na compreensão de que os estudos detalhados das vertentes características e dos sistemas pedológicos dominantes, podem subsidiar o conhecimento da estrutura e dinâmica das unidades de paisagem, permitindo a identificação e o mapeamento das suas fragilidades e potencialidades ambientais, principalmente daquelas referentes à avaliação da capacidade de uso do solo.

Considerando o tema proposto, foram estruturados quatro capítulos que refletem o delineamento da pesquisa e das discussões associadas à tese. O primeiro apresenta discussões teórico-metodológicas, trazendo questões pertinentes à análise da paisagem e seus compartimentos como subsídio para estudos de cunho ambiental, com ênfase em estudos de fragilidade potencial e emergente e capacidade de uso do solo. Nesse capítulo, também são abordadas referências associadas as discussões de cunho geomorfológico, pautadas no estudo de vertentes características e sistemas pedológicos, com debates sobre morfologia e processos. No segundo capítulo, destacam-se, particularmente, os procedimentos metodológicos e técnicos utilizados na pesquisa, relacionando-se as atividades de gabinete, campo e laboratório. O terceiro capítulo apresenta a localização e a caracterização geral da área de estudo, trazendo informações sobre os processos históricos e a estrutura socioeconômica e geocológica da paisagem.

Na sequência, apresenta-se, no capítulo quatro, os resultados e discussões que expõem as particularidades geoambientais das unidades de paisagem em associação com dados de integral hipsométrica. Neste contexto, são apresentadas informações sobre as vertentes características, bem como discussões sobre o comportamento físico, químico e hídrico dos sistemas pedológicos dominantes. Finalmente, expõe-se os mapeamentos de fragilidade (potencial e emergente) e de capacidade de uso da terra que, além de demonstrar a distribuição espacial das áreas de estabilidade e instabilidade natural frente as intervenções antrópicas, ainda contribuiu para a elaboração de propostas de recomendações de uso e conservação, particularmente associados às condições morfopedológicas das principais unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Paraná 3 – BP3.

## **CAPÍTULO 1: AS UNIDADES DE PAISAGEM, AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS**

### **1.1 A PAISAGEM E OS SEUS COMPARTIMENTOS: BASE PARA A DISCUSSÃO DAS POTENCIALIDADES E FRAGILIDADES AMBIENTAIS**

No contexto atual, a paisagem apresenta-se como uma categoria de análise espacial. Para Suertegaray (2001, p. 6), a paisagem constitui “um conceito operacional, ou seja, um conceito que nos permite analisar o espaço geográfico sob a dimensão, qual seja o da conjunção de elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais”. Sob esta perspectiva, a autora enfatiza que, ao optar pela análise geográfica a partir do conceito de paisagem, pode-se concebê-la enquanto forma (formação) e funcionalidade (organização).

A paisagem é compreendida como um dos principais conceitos-chave no contexto da ciência geográfica. Basicamente, é aceita como uma das formas de se compreender o espaço geográfico por meio de sua expressão concreta e fisionômica. Ademais, reforça-se que o termo apresenta caráter polissêmico e dinâmico, visto que ao longo da evolução do pensamento geográfico assumiu várias interpretações. Atualmente, percebe-se um “retorno da paisagem” nas pesquisas geográficas, embasando reflexões quanto à problemática ambiental e à gestão do território (LUZ, 2014). A partir dessa compreensão, entende-se que a análise da paisagem, no âmbito geográfico, não é tarefa necessariamente fácil, visto que esses estudos envolvem interações complexas entre os vários elementos naturais e antrópicos que compõem a paisagem.

Deffontaines (1973) define a paisagem como uma porção do espaço perceptível ao observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações, das quais percebemos, num determinado momento apenas o resultado global. Sob este enfoque, a paisagem é compreendida como uma entidade global, admitindo implicitamente que os elementos que a constituem participam de uma dinâmica comum, que não corresponde, obrigatoriamente, à evolução de cada um desses elementos tomados separadamente. Ou seja, admite-se que a paisagem apresenta um conjunto de elementos dinâmicos e em constante evolução, a partir de trocas de energia e matéria, integrando a ação antrópica aos demais elementos (MEZZOMO; NOBREGA, 2008).

A possibilidade de compreender a paisagem do ponto de vista global e sistêmico, significa também, segundo Bolós (1992), uma oportunidade de trabalhar com unidades de paisagem em diferentes escalas, visando a aplicação desse conhecimento no âmbito do

diagnóstico e prognóstico ambiental. Nesse sentido, Bovet Pla e Vilàs (1992) propõem que os estudos sistêmicos, no contexto da paisagem, considerem do ponto de vista metodológico, cinco etapas fundamentais: análise, diagnóstico, correção de impactos, prognóstico e *sinteresis*.

Segundo os autores, a etapa de análise compreende o reconhecimento e a interpretação dos elementos da estrutura geoecológica e socioeconômica da paisagem. Essa etapa permite diagnosticar o estágio de evolução da paisagem – segunda etapa proposta pelos autores –, subsidiando a classificação e a delimitação de unidades homogêneas. Na sequência, evidenciam-se os principais impactos ambientais ocorridos em cada unidade (terceira etapa), com objetivo de identificar medidas para eliminar, corrigir ou minimizar os desequilíbrios e deteriorações do ambiente.

Sequencialmente, Bovet Pla e Vilàs (1992) sugerem a etapa de prognóstico, a qual consiste em confrontar as demandas socioeconômicas e o potencial físico da paisagem e a avaliação da potencialidade para acolher determinadas atividades, prevendo-se quais as condições que apresentará em um futuro mais ou menos próximo. Essas etapas irão subsidiar a fase final que compreende, conforme denominam os autores, a *sinteresis*, quando são apresentadas ações e técnicas preventivas de impactos que podem ocorrer, de acordo com as previsões baseadas nas informações das fases anteriores de diagnóstico e prognóstico.

Neste contexto, constata-se que o processo de interpretação da paisagem compreende a análise detalhada, inicialmente individual e posteriormente integrada, dos diversos atributos físicos e, também, socioeconômicos, indispensáveis à delimitação e à caracterização de unidades de paisagem.

Sobre este aspecto, Zonneveld (1989) enfatiza que a importância dos atributos da paisagem no processo de delimitação de unidades, pode variar dependendo do objetivo da pesquisa e da escala de análise.

Em escalas pequenas, que caracterizam estudos mais generalizados, os aspectos geológicos e climáticos apresentam-se mais relevantes, enquanto, nas escalas intermediárias, diversas pesquisas realizadas no fim do século XX, ressaltam o papel da geomorfologia (conjuntos de estruturas e processos geomorfológicos) na identificação de unidades de paisagem (ZONNEVELD, 1989).

França et al. (2010), por sua vez, afirmam que a geomorfologia representa um dos mais importantes pilares do estudo da paisagem em geografia física, destacando-se, nesse aspecto, os seguintes temas: as teorias genéticas do relevo, as escalas taxonômicas, a cartografia geomorfológica, a abordagem integrada e sistêmica e a relação espaço-tempo. Para os autores, os levantamentos geomorfológicos fazem parte do inventário geográfico para a delimitação e a

caracterização fisionômica, ecológica e dinâmica das unidades de paisagem, como se depreende do texto a seguir:

A representação da compartimentação morfológica e do conjunto de informações sobre as coberturas superficiais (litologia, espessura, estratigrafia, dobramentos e falhamentos, etc.), permitem discutir a estrutura da paisagem. A magnitude, frequência e intensidade dos processos morfogênicos, atuantes nas vertentes, auxiliam na análise da fisiologia ou funcionamento da paisagem, enquanto que o conjunto de informações sobre as heranças, os depósitos correlativos, a idade do relevo e as etapas de transformação no tempo, favorece a reconstituição da dinâmica da paisagem. E, por fim, a relação do relevo com o clima, controlada pela intermediação da vegetação e do solo, contribui para a representação da paisagem enquanto conjunto homogêneo (FRANÇA et al., 2010. p. 2).

Quando os trabalhos realizados em unidades de paisagem envolvem escalas de maior detalhe, Zonneveld (1989) ressalta que, além dos atributos geomorfológicos, as classificações pedológicas, associadas ao uso (vegetação ou atividade antrópica), assumem papel fundamental na identificação dos limites entre as unidades. Segundo o autor, os atributos de ordem pedológica também apresentam acuidade relevante frente ao potencial de uso de cada unidade de paisagem delimitada.

Apesar da importância da discussão das relações solo-paisagem, poucos trabalhos abordam a temática com vistas a identificar e mapear solos, muito embora estes estudos, segundo Campos (2012), permitam compreender as relações entre as condições do solo e os aspectos topográficos em uma mesma unidade de paisagem. Conforme o autor, as pesquisas pertinentes a interação solo-paisagem, além de possibilitar uma melhor caracterização dos estudos de gênese, levantamento e classificação de solos, também auxiliam na obtenção de informações de estimativas de erosão, estabelecimento de manejo, planejamento e uso do solo.

Nesse sentido, diversos trabalhos desenvolvidos na ciência geográfica e nas ciências da Terra demonstram que a valorização dos aspectos geomorfológicos e pedológicos, associados aos demais componentes do ambiente, possibilita excelentes compartimentações da paisagem, permitindo compreender, ainda, suas fragilidades e potencialidades, além de trazer subsídios ao zoneamento ambiental.

A delimitação de unidades de paisagem, entretanto, apresenta grande complexidade devido à interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico, como ressaltam Amorim e Oliveira (2008). Desse modo, a análise inicial e individual dos atributos naturais e antrópicos, permitem uma posterior correlação entre os vários elementos da paisagem, podendo proporcionar, em uma análise final, a identificação dos ambientes com dinâmica evolutiva semelhantes, fato que subsidia a delimitação de unidades.

As unidades de paisagem não podem ser consideradas, como postula Bolós (1992, p. 9), “como o resultado da simples soma dos seus componentes, pois da interação entre eles se origina uma estrutura que as converte em algo basicamente diferente”. Essa estrutura está relacionada com o seu funcionamento e dinâmica, o qual, como complementa a autora, apresenta variações através do tempo, com algumas que se repetem periodicamente (cíclicas) e que podem ser consideradas como características do comportamento da unidade. Em consequência, cada unidade de paisagem tem um desenvolvimento e evolução própria.

As unidades de paisagem podem ser identificadas pelos aspectos que as caracterizam interiormente, de acordo com Dalben et al. (2005), bem como pelas características que as diferenciam do seu entorno. Esses aspectos são a expressão do sistema dinâmico de vários fatores interligados. Dessa forma, as análises ambientais, integrando atributos físicos, econômicos e sociais da paisagem, permitem assinalar, em escalas locais ou mesmo regionais, categorias específicas de identificação e avaliação de impactos ambientais, de recursos naturais e o reconhecimento de áreas de riscos geoambientais (AMORIN; OLIVEIRA, 2008).

Assim, a delimitação das unidades de paisagem com base na sua estrutura e dinâmica atual fornece subsídios para o reconhecimento das suas fragilidades e potencialidades, possibilitando uma proposição adequada de diferentes tipos de uso e ocupação.

## 1.2 AS VERTENTES: MORFOLOGIA E PROCESSOS

Para a avaliação das potencialidades e fragilidades da paisagem é necessário o reconhecimento das formas das vertentes e dos processos que nelas atuam. Segundo Nóbrega e Cunha (2011), as vertentes, com suas formas e materiais, são reflexo do funcionamento e dinâmica da paisagem. Também denominadas encostas, constituem unidades dinâmicas de relevo, representadas por um conjunto de formas topográficas que, por sua vez, são distribuídas de forma heterogênea ao longo da superfície terrestre. As vertentes são resultantes da ação de agentes endógenos e exógenos que condicionam os processos responsáveis pela gênese e evolução das suas formas (intemperismo físico e/ou químico, movimentos em massa dos solos, erosão hídrica superficial e subsuperficial, erosão eólica, glacial, entre outros), ao longo do tempo, sobre um dado substrato geológico.

As concepções históricas relacionadas aos estudos das vertentes retratam dois importantes períodos. O primeiro está relacionado às teorias geomorfológicas associados à gênese e à evolução das vertentes fundamentadas nos trabalhos de Gilbert (1877), Davis (1899),



King (1953) e Penck (1953). Já o segundo período, retrata as concepções contemporâneas referentes aos estudos detalhados com ênfase nas análises que relacionam formas e processos, visando diferentes aplicações ambientais. Destacam-se, nesse período, os trabalhos de Ruhe (1956) e Daniels et al. (1971), associados às superfícies geomórficas, e os de Dalrymple et al. (1968) com as unidades hipotéticas de vertente.

Dentre uma série de conceitos atribuídos à vertente, ressalta-se a referência inicial de Jan Dylík (1968, *apud* Cristofolletti, 1974), em que a vertente é caracterizada por uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente e no passado, representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo de vale. Mais recentemente, Dikau et al. (2004) definem as vertentes como formas sequenciais de unidades de relevo com características diferenciadas. Segundo os autores, essas unidades de relevo são compostas por desníveis sujeitos a estresse gravitacional, responsáveis por desempenhar um importante papel na atuação dos processos hidrológicos e geomorfológicos. Assim, são resultantes de uma variedade de processos que interagem no tempo e no espaço.

Na interpretação de Berveglieri et al. (2012), as encostas consistem em expressões da Geomorfologia moldadas por fatores ambientais ou pelo próprio homem. Suas formas determinam o fluxo ou o acúmulo de água e representam características fundamentais para a prevenção e resolução de problemas associados ao relevo, como a utilização inadequada do solo, deslizamentos, construção civil, entre outros.

Os estudos direcionados às vertentes apresentam, segundo Veloso (2002), objetivos diferenciados em diversas áreas do conhecimento. Para os geomorfólogos, as vertentes são unidades da superfície da Terra fundamentais para explicar a evolução do relevo. Para as engenharias, são importantes para compreensão do gradiente dos taludes, visando verificar os padrões aceitáveis à estabilidade das encostas a fim de que não ocorram deslizamentos ou escorregamentos.

No que se refere aos fundamentos de caráter geográfico, os estudos de encostas apresentam grandes contribuições no entendimento da gênese e evolução da paisagem. No âmbito da aplicação, as pesquisas baseadas na dinâmica das vertentes, também têm auxiliado na contenção de impactos ambientais de origem antrópica, projetos de planejamento e zoneamento, tanto no espaço urbano quanto no rural.

### 1.2.1 A vertente e os seus componentes

O estudo das encostas e dos processos que nelas ocorrem, de acordo com Veloso (2002), requer uma descrição cuidadosa e precisa. Essa descrição geralmente é realizada com referência ao seu perfil, o qual consiste na linha traçada sobre o terreno, descrevendo sua inclinação. Esta inclinação é expressa por um ângulo ou um gradiente e sua orientação é dada pelos pontos cardeais.

Dessa forma, evidencia-se que para além do perfil de referência, faz-se necessário o entendimento dos diversos componentes e conceitos associados à vertente. Para tanto, Dikau et al. (2004), apoiado no trabalho de Young (1972), destacam alguns componentes básicos e algumas terminologias indispensáveis à análise de vertentes (Tabela 1).

Tabela 1: Componentes da Vertente.

<i>Componentes da Vertente</i>	<i>Definição</i>
<i>Perfil da Vertente</i>	<i>Linha que conecta o divisor de água com o talvegue</i>
<i>Topossequência</i>	<i>Arranjo de unidades de vertente ao longo da uma encosta</i>
<i>Unidade de Vertente</i>	<i>Parte da vertente com características específicas: segmento ou elemento</i>
<i>Segmento</i>	<i>Unidade de ângulo de inclinação homogênea</i>
<i>Elemento</i>	<i>Unidade de curvatura homogênea</i>
<i>Elemento Convexo</i>	<i>Elemento com aumento do ângulo de curvatura descendente</i>
<i>Elemento Côncavo</i>	<i>Elemento com redução do ângulo de curvatura descendente</i>
<i>Segmento Máximo</i>	<i>Segmento mais acentuado entre as unidades superior e inferior</i>
<i>Segmento Mínimo</i>	<i>Segmento mais suave entre as unidades superior e inferior</i>
<i>Segmento de Crista</i>	<i>Segmento delimitado por vertentes descendentes em direções opostas</i>
<i>Segmento Basal</i>	<i>Segmento delimitado por vertentes ascendentes em direções opostas</i>
<i>Unidade Irregular</i>	<i>Unidade de vertente com mudanças frequentes de ângulos e curvaturas</i>

Fonte: Young (1972), modificado e ampliado por Dikau et al. (2004, p. 517, tradução nossa).

Diversos autores chamam a atenção sobre a necessidade de se compreender dois grandes aspectos, nos estudos das vertentes: o primeiro refere-se aos elementos morfológicos das vertentes e o segundo aos processos que nelas ocorrem (BIGARELLA et al., 1965; BOCQUIER, 1973; CUNHA, 1991; GUERRA, 2003; DIKAU et al., 2004; VIDAL TORRADO et al., 2005; FLORENZANO, 2008).

Os aspectos morfológicos relacionam-se particularmente às análises morfográficas (caracterização qualitativa das formas de relevo) e morfométricas (caracterização das formas de relevo por meio de variáveis quantitativas ou índices morfométricos). Ambas as análises podem ser avaliadas por uma série de parâmetros como: forma, comprimento, declividade, altimetria, orientação, dentre outras variáveis associadas a vertente (FLORENZANO, 2008).

Já os aspectos relacionados aos processos atuantes nas vertentes, decorrem do entendimento de processos múltiplos como: intemperismo físico e/ou químico e biológico, movimentos de massa dos solos, erosão hídrica superficial e subsuperficial, erosão eólica, glacial. Esses processos podem atuar de forma conjunta e são responsáveis pela dinâmica e evolução do modelado terrestre (GUERRA; CUNHA, 1994).

Para a compreensão dos aspectos morfológicos, faz-se necessário o entendimento dos principais parâmetros referentes às formas, elementos e/ou segmentos de vertente. Esses parâmetros podem apresentar nomenclaturas e descrições diferenciadas.

A nomenclatura de Ruhe e Walker (1968), para identificação das formas e componentes das vertentes tem sido, conforme afirmam Vidal Torrado et al. (2005), muito utilizada em vários estudos envolvendo as relações solo-paisagem em todo o mundo. Esse fato deve-se principalmente ao seu fácil entendimento e aplicação. Segundo essa nomenclatura, a maior parte das vertentes com sistemas de drenagem aberta apresentam as seguintes formas setorizadas: interflúvio (*interfluve*), esporão (*nose-slope*), cabeceiras (*head-slope*) e meia-encosta (*side-slope*), e, ocorrendo nos fundos de vales de primeira ordem, as formas alúvio-coluvionares (*aluvial fill*).

Já para a descrição do perfil das vertentes, Ruhe e Walker (1968) reconhecem os seguintes segmentos: topo (*summit*), ombro ou ombreira (*shoulder*), encosta retilínea (*side-slope*), encosta côncava (cabeceira em anfiteatro), esporão (*nose-slope*), meia-encosta (*backslope*), sopé coluvial (*footslope*) e sopé colúvio-aluvial (*toeslope*).

No contexto brasileiro, Ross (1996) propõe modelos de compartimentação de vertente, nos quais se atribui as seguintes formas: vertente do tipo escarpado (Ve), vertente convexa (Vc), vertente retilínea (Vr), vertente côncava (Vcc), vertente em patamares planos (Vpp) e em patamares inclinados (Vpi), vertente de topos convexos (Tc) e de topos planos (Tp).

Essas proposições vem apresentando, no cenário recente, infinitas possibilidades de aplicações, pois permitem uma melhor setorização das formas em relação ao perfil das encostas.

Esses conjuntos de formas e denominações podem ser compreendidos a partir do conceito de unidades básicas de vertentes amplamente difundida no cenário mundial a partir da “*Encyclopedia of Geomorphology*” (GOUDIE, 2004).

Desse modo, como esclarecem Dikau et al. (2004, p. 516) “uma vertente é descrita por uma série de unidades básicas que refletem as mudanças de declividade, curvatura e processos ao longo do perfil da vertente”. Segundo esses autores, as unidades básicas que compõem o perfil da vertente são: a) Cume/Crista/Interflúvio: unidade convexo-retilínea, a mais estável na paisagem, de largura considerável e onde o transporte pela água é predominantemente vertical;

b) Ombreira/alta vertente: de forma convexa, caracterizada como unidade instável devido aos processos de erosão e onde os solos geralmente são pouco profundos; c) Meia encosta: segmento normalmente retilíneo – unidade instável, com intenso fluxo lateral, transporte de sedimentos e solos de profundidade variável; d) Sopé/Baixa encosta: de forma côncava, com deposição de sedimento, onde a espessura do solo tende a aumentar; e) Sopé Colúvio-Aluvial: ambiente de várzea, geralmente de forma côncava ou retilínea, representando uma unidade instável que recebe aporte de sedimento coluvial e aluvial, normalmente apresentando solos mais espessos.

Às unidades básicas de vertentes, como foi visto acima, estão associadas formas e processos intrínsecos, que as individualizam, mas que, ao mesmo tempo, revelam o seu papel na configuração e funcionamento da vertente como um todo. Para tanto, Dalrymple et al. (1969) apresentaram um modelo hipotético de vertente constituída por nove unidades ou segmentos. Essas unidades constituem uma classificação de referência para os estudos de vertente, pois além de apresentarem modelos de formas setorizadas, ainda demonstram os processos a elas relacionadas (Figura 1).

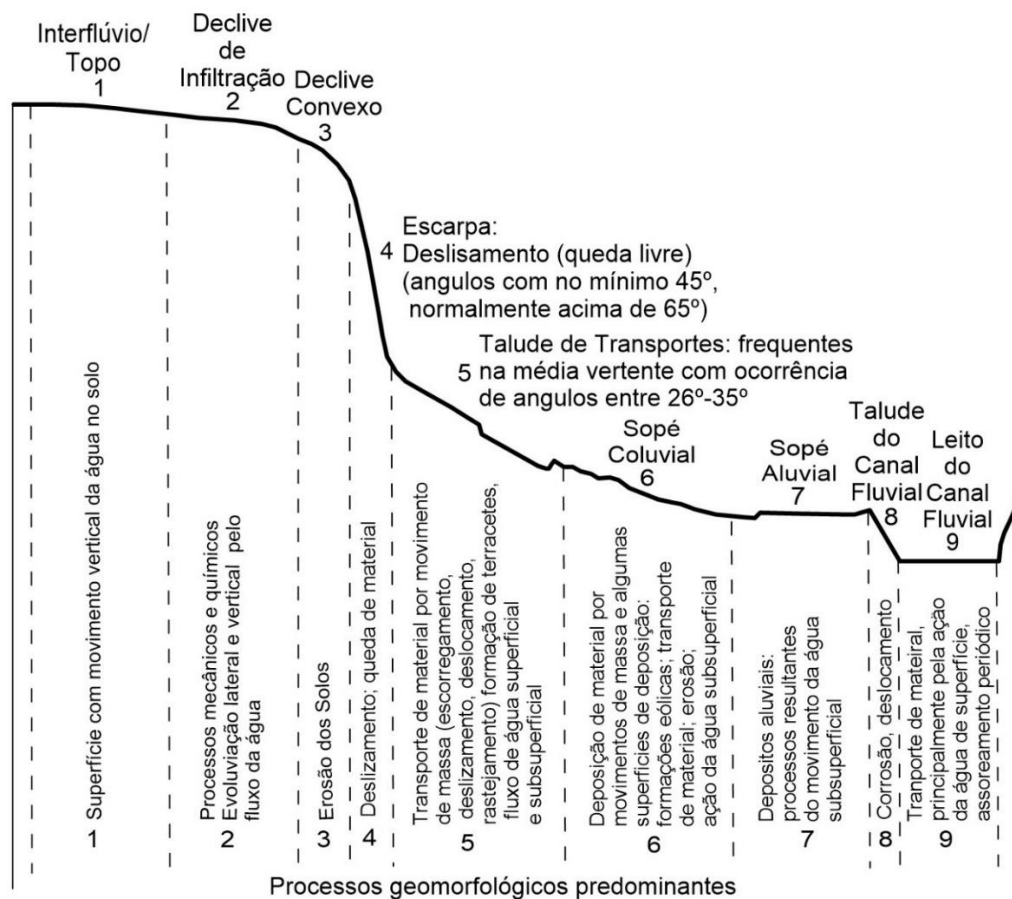


Figura 1: Modelo hipotético de vertente de Dalrymple et al. (1969), modificado por Dikau et al. (2004, p. 520, tradução nossa).

Nesse modelo, as nove unidades apresentam-se em uma sequência composta por três unidades de baixas taxas de erosão – situadas na alta vertente; uma unidade de erosão intensa e uma unidade de transformação – na média vertente; uma unidade de depósitos coluviais e três unidades associadas ao trabalho fluvial – situadas na baixa vertente (DIKAU et al., 2004). Como já visto anteriormente, essas unidades representam processos específicos em cada setor, como explicitam Vidal Torrado et al. (2005, p. 172):

No segmento 1: interflúvio ou topo; domínio de fluxo vertical de água e pedogênese. 2: declive de infiltração; eluviação por fluxo lateral e vertical. 3: declive convexo de creeping (rastejamento), fluxo lateral superficial intenso com eluviação por fluxo lateral interno. 4: escarpa; dominância de processos erosivos e queda de material. 5: talude de transporte; início do sopé com material em transporte por movimentos de massa e creeping e retomada do fluxo vertical da água que favorece a pedogênese. 6: sopé coluvial; parte posterior do sopé com acúmulo de material e pedogênese influenciada pelo lençol freático; 7: sopé aluvial; depósitos estratificados recentes e pedogênese influenciada por águas subsuperficiais. 8: talude do canal fluvial; fenômenos de desbarrancamento e corrosão (desgaste por atrito). 9: fundo do canal fluvial; transporte, deposição e erosão por águas fluviais, causando alternâncias de erosão e agradação.

Uma vertente real pode ou não conter todos os nove segmentos do modelo hipotético e alguns podem, inclusive, estar repetidos. Por isso, a identificação dessas unidades está condicionada às diferentes escalas de análise e às distintas realidades físicas associadas aos aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e climáticos da área de pesquisa.

Além dos modelos de unidades de vertentes, também é importante destacar os modelos de superfícies geomórficas inicialmente sugerido por Ruhe (1956) e posteriormente disseminado por Daniels et al. (1971). Na interpretação desses autores, uma superfície geomórfica apresenta características diferenciadas no tempo e no espaço, com limites geográficos, formados por um ou mais agentes num determinado período de tempo.

De acordo com Campos (2012), essas superfícies apresentam segundo Ruhe (1956) e Daniels et al. (1971), os seguintes parâmetros:

Destacam os seguintes critérios para caracterizar as superfícies geomórficas: a) uma superfície é mais jovem do que qualquer outra superfície ou material que secciona; b) é mais velha ou, pelo menos, contemporânea aos depósitos de fundo de vale inferior e próxima; c) é mais jovem do que superfícies geomórficas adjacentes situadas em posição superior e, portanto mais velha do que superfícies adjacentes situadas em posição inferior; d) é mais velha ou, pelo menos, contemporânea aos depósitos existentes sobre ela; e) é mais jovem do que qualquer estrutura que ela corta em bisel (CAMPOS, 2012, p. 972).

As relações entre as superfícies geomórficas, os materiais sobrepostos e os solos são ilustrados no esquema proposto por Daniels et al (1971) – (Figura 2).

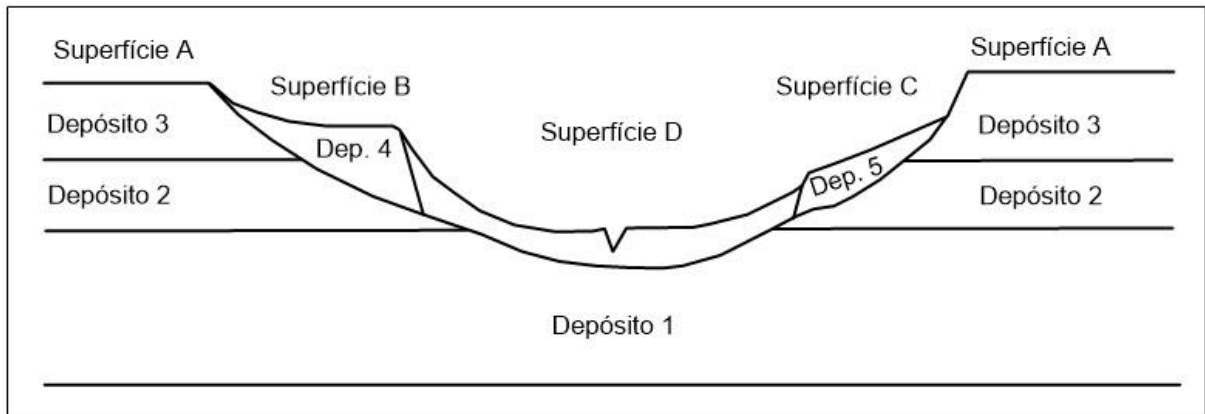


Figura 2: Esquema de Daniels et al. (1971) - ilustração de um vale numa bacia sedimentar, com seus depósitos e superfícies geomórficas. A idade diminui de 1 para 5 (nos estratos sedimentares) e de A para D (nas superfícies geomórficas).

Fonte: Vidal Torrado et al. (2005).

As superfícies geomórficas podem ser erosionais ou deposicionais. As mais velhas são mais estáveis e normalmente estão associadas a ambientes deposicionais, enquanto as superfícies mais jovens ocorrem em áreas de maior declive, sendo mais variáveis e considerados ambientes erosionais (CAMPOS, 2012).

Estudos aplicados visando a identificação das superfícies geomórficas tem se utilizado, no contexto atual, de informações hipsométricas para compreensão da evolução e da organização de ambientes com diferentes estágios geomorfológicos. Um exemplo disso é a análise topográfica, por meio de métodos quantitativos, inicialmente proposta por Strahler (1952). Nessa proposta, os estudos hipsométricos das bacias são realizados mediante a confecção de curvas hipsométricas e o cálculo do índice de integral hipsométrica que quantificam a distribuição da altitude do terreno dentro de uma bacia hidrográfica. A curva hipsométrica é a representação gráfica da variação de altitude da bacia em relação à área, tendo como referência um plano horizontal arbitrário. A integral hipsométrica ( $H_i$ ) é um valor adimensional obtida a partir de curvas hipsométricas normalizadas (CHN), as quais são confeccionadas para cada sub-bacia, plotando os dados da área relativa ( $a/A$ ) no eixo  $x$  e os dados da elevação relativa ( $h/H$ ) no eixo  $y$ . O valor de  $a$  representa a área entre duas curvas de nível consecutivas e  $A$  constitui a área total da bacia, enquanto que  $h$  representa a amplitude altimétrica entre as curvas e  $H$  a amplitude altimétrica total da bacia (STRAHLER, 1952; SCHUMM, 1956).

Essas variáveis compõem um método quantitativo para avaliar a dissecação topográfica das bacias e, por tanto, podem ser empregados na caracterização dos estágios de evolução geomórfica das paisagens (STRAHLER, 1952; OHMORI, 1993).

Pela proposta de Strahler (1952),  $H_i$  (integral hipsométrica) representa o volume de materiais que pode ser erodido na bacia, tendo como nível referencial a cota da foz, enquanto o  $E_i$  (integral de erosão) é constituído pelo campo localizado acima da curva e representa a porção já erodida da bacia. Os valores de  $H_i$  e  $E_i$  são complementares e a soma de ambos deve totalizar o valor da unidade.

Utilizando os valores de  $H_i$  e  $E_i$ , Strahler (1952) definiu três estágios diferenciados de evolução geomorfológica baseados no ciclo de Davis: setores com os valores de  $H_i$  alto e  $E_i$  baixo seriam correspondentes ao estágio de “juventude”, com menor atuação da denudação; os setores com  $H_i$  baixo e  $E_i$  alto representariam relevos em estágio de “senilidade” e atuação mais intensa da denudação; e, por sua vez, setores com  $H_i$  e  $E_i$  de valores médio caracterizariam uma condição evolutiva intermediária ou estágio de “maturidade”.

Trabalhos realizados a partir da aplicação da análise de curva e integral hipsométrica, como os de Andrades Filho et al. (2011) e de Sousa e Rodrigues (2012), demonstram que o estudo da evolução geomorfológica vem sendo potencializado com o auxílio de modelos digitais de elevação (MDE). Os MDE têm sido fundamentais na geração de informações do relevo, pois permitem a extração de dados capazes de promover a representação quantitativa e gráfica da superfície do terreno. Essas informações possibilitam a diferenciação de áreas que sofreram maior ou menor atuação dos processos erosivos, permitindo compreender a evolução geomorfológica de forma setorizada.

Desse modo, o conhecimento das superfícies geomórficas e das unidades morfológicas de vertente, constitui os fundamentos básicos para as compreensões detalhadas e setorizadas das principais formas topográficas existentes na paisagem. Nesse sentido, a identificação dos parâmetros morfológicos e dos processos ocorridos na vertente, depende de uma série de variáveis analíticas, necessárias ao entendimento da organização e distribuição das vertentes no espaço e, por isso, serão explorados a seguir.

### 1.2.2 Os parâmetros morfológicos e os processos

Os principais processos atuantes nas vertentes ocorrem em consonância com a diferenciação dos setores morfológicos, quer sejam convexos, côncavos ou retilíneos. Esses

setores determinam diferentes condições de funcionalidade, particularmente associadas à variação de forma, à declividade e à extensão das encostas.

Os setores côncavos de vertente, conforme enfatiza Florenzano (2008), tendem a concentrar o escoamento superficial favorecendo a erosão linear. Esses setores são mais favoráveis à ocorrência de escorregamentos, uma vez que apresentam espessas camadas de solo e se constituem em áreas de convergência de fluxos de água (*hollows*). São, também, áreas que possuem grande volume de material (colúvio ou tálus) a ser mobilizado. Para a autora, as vertentes convexas, ao contrário, dispersam o escoamento superficial, promovendo a erosão laminar. Nesses setores de vertentes, a capacidade de transporte e a velocidade de deslocamento de material são diretamente proporcionais a sua inclinação. Já nas vertentes retilíneas, o predomínio de um ou outro tipo de erosão depende da extensão e da declividade (dominantemente alta).

O parâmetro de análise “declividade” expressa, conforme Cunha (1991), a inclinação da vertente em relação ao plano horizontal, podendo ser medida em graus ou porcentagens. Em geral, as encostas com declividades acentuadas apresentam maior atuação de movimentos em massa do solo e, quando íngremes, o predomínio do intemperismo físico. Naquelas com menor declividade há maior atuação da erosão laminar e do intemperismo químico.

O parâmetro analítico “comprimento” ou “extensão de vertente”, caracteriza-se pela distância entre o divisor e a base (fundo de vale). Sendo assim, as características morfométricas associadas ao comprimento/extensão interferem na instalação e na evolução dos processos erosivos, promovendo maior ou menor atuação dos fluxos hídricos (GUERRA, 2003). Esses parâmetros constituem elementos condicionantes de morfogênese e pedogênese diferenciados.

A respeito dessas colocações, é consenso entre vários autores (CUNHA, 1991; CASSETI, 2005; VIDAL TORRADO, 2005) o reconhecimento de que as encostas que apresentam pequenos comprimentos, declividades acentuadas e rupturas de declive altamente íngremes proporcionam naturalmente maior susceptibilidade aos processos erosivos, maior escoamento superficial, ou seja, maior potencial da morfogênese. Por outro lado, aquelas encostas que apresentam comprimentos extensos e baixas declividades, normalmente apresentam menor potencial a erosão, maiores índices de infiltração vertical, promovendo a atuação do intemperismo químico, favorecendo assim a ação da pedogênese.

É importante ressaltar, contudo, que a pedogênese e a morfogênese, embora sejam, em princípio, processos opostos, ocorrem de forma concomitante na vertente. Para Penteadó (1974), a pedogênese se produz num meio submetido às ações morfogenéticas, ou seja, em uma



vertente um solo representa o balanço momentâneo de duas forças antagônicas: alteração do substrato, que fornece os materiais e a denudação que os remove.

De acordo com Casseti (2005), a intensidade dos processos morfogenéticos ou pedogenéticos atuantes nas vertentes estão associados à magnitude de força e energia disponível em um sistema geomórfico. Para o autor, a energia disponível nesses sistemas é derivada da ação da gravidade e do clima. O efeito da gravidade ocorre a partir do deslocamento da partícula ou da massa (força paralela à superfície do terreno) e em função das particularidades intrínsecas ao próprio material (força perpendicular à superfície). Referentes ao clima, relacionam-se aos efeitos da temperatura (expansão e contração termal) e da água disponível, resultantes da intensidade de tensão e pressão da água que, por sua vez, interferem nos fluxos hídricos em superfície (*overland flow*) e em subsuperfície (*throughflow*), nos impactos pela gota de chuva (*splash*), além da expansão de forças (descontração) (CASSETI, 2005).

O autor explica a atuação da água partindo da constatação de que, quando precipitada sobre uma vertente, pode tomar vários caminhos: ser evapotranspirada, armazenada ou, ainda, interceptada pelas depressões do terreno. A partir de então ocorre o processo de infiltração na zona de maior permeabilidade, podendo chegar a maiores profundidades, com armazenamento da umidade no solo e fluxo de subsuperfície. O excedente, ou seja, o que não foi infiltrado, fica armazenado em depressões superficiais, onde parte é evaporada e outra escoada na superfície, podendo integrar o fluxo fluvial.

A dinâmica hídrica nas encostas se faz, portanto, por meio de transferências ou movimentos verticais e laterais, em superfície e subsuperfície.

Como enfatiza Cunha (2002), a drenagem vertical ocorre especialmente no interior da cobertura pedológica em condições de regimes hídricos variáveis (saturado e/ou não saturado), dependentes da organização do solo (predominâncias texturais, organização estrutural, disposição de macro e microporosidade) e da distribuição da água pluvial.

Os movimentos verticais podem ocorrer de forma descendente e ascendente. Os descendentes ocorrem com maior velocidade nos solos saturados e com menor velocidade nos não saturados, processando-se através de ação da gravidade e capilaridade. A força de gravidade ocorre principalmente pelo movimento da água nos macroporos em solos saturados, enquanto a força de capilaridade desenvolve-se nos solos não saturados. Os movimentos ascendentes, ocorrem especialmente pela evaporação, favorecidos pelo fenômeno de capilaridade (RICHARD, 1990).

Os movimentos verticais descendentes podem ser afetados, segundo Cunha (2002), pelas diferenças de estrutura e de porosidade dos distintos horizontes do solo. A diferenciação

entre os horizontes modifica progressivamente os caracteres hidrodinâmicos do perfil: a permeabilidade dos horizontes de acumulação diminui; a macroporosidade desaparece quase totalmente de certos horizontes; aparecem descontinuidades que rompem o processo de ascensão capilar. Em consequência, a água, bloqueada na sua percolação vertical, pode se reorientar e seguir as descontinuidades no sentido da declividade, promovendo assim o escoamento lateral.

Sobre os movimentos laterais, ressalta-se que, em zonas saturadas, as linhas potenciais tendem a ser normais à força de gravidade e os fluxos seguem orientações tanto vertical, quanto paralela à superfície. Em condições não saturadas, os poros por onde os fluxos subsuperficiais passam podem encontrar-se apenas parcialmente saturados e, dessa forma, a água pode não fluir de acordo com a gravidade, mas acompanhar os vazios ou variações de textura, com traçados que parecem aleatórios (GUERRA; CUNHA, 1994; CUNHA, 2002).

Nesse sentido, Mesquita e Morais (2004) ressaltam que os fluxos hídricos ocorridos nas vertentes podem ser melhor compreendidos a partir da avaliação da condutividade hidráulica do solo, saturada ( $K_{sat}$ ) e não saturada ( $K$ ).

O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, o que é denominado de condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990). A partir da condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ), utilizando modelos matemáticos, pode-se determinar sua condutividade hidráulica não saturada ( $K$ ) e, assim, obter informações sobre o movimento de água e solutos nos solos (MESQUITA; MORAIS, 2004).

Para esses autores, a condutividade hidráulica saturada de um solo é determinada tanto pela geometria e continuidade dos poros preenchidos com água, tornando-se dependente, portanto, de sua forma, quantidade, distribuição e continuidade, quanto por relações entre a  $K_{sat}$  e outras variáveis não hidráulicas do solo, como densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, que influenciam a distribuição dos poros e, por consequência, a permeabilidade e o transporte de solutos nos solos.

Dessa forma, cabe destacar que a variabilidade da condutividade hidráulica do solo, ao longo dos diferentes setores da vertente, encontra-se relacionada a uma série de variáveis que englobam tanto a organização geométrica dos poros, quanto os atributos pedológicos, podendo ainda ser influenciada pelas atividades antrópicas de uso e manejo do solo.

Com os distintos usos do solo, segundo Mesquita e Morais (2004), a porosidade pode modificar-se e, conseqüentemente a isso, altera-se também a  $K_{sat}$ . Para os autores, a magnitude dessas modificações estruturais, ocasionadas pelo manejo, depende da ocorrência e da frequência das operações de práticas agrícolas superficiais e subsuperficiais no solo e, também,

do efeito compactador produzido pelo trânsito do maquinário agrícola ou de animais. Ademais, a morfologia, orientação e tamanho do sistema radicular dos vegetais podem afetar a Ksat. Portanto, estas relações devem ser avaliadas para permitir conclusões seguras e definitivas para a compreensão dos fluxos hídricos nos solos e, conseqüentemente, na vertente.

Conforme destacam Ruellan e Dosso (1993), os processos hidrológicos ocorridos nas vertentes, sejam verticais ou laterais, desencadeiam de forma simultânea o transporte de materiais minerais e orgânicos. Esses movimentos desenvolvem processos eluviais e iluviais no solo, produzindo transformações pedológicas nos vários setores da vertente.

Sob estes aspectos, Zaparoli e Gasparetto (2010) enfatizam que podem ocorrer frentes de transformação pedológicas nos níveis de alta, média e baixa vertente. As frentes de transformação, segundo os autores, podem expressar processos verticais de e-iluviação, adensamentos, avanços laterais e remontantes de determinados horizontes do solo. Essas frentes apresentam evolução e velocidades particulares, dependentes de fatores como forma da vertente e declividade, textura e estrutura do solo, das oscilações do lençol freático e estrutura da rocha.

Embora as frentes de transformação ocorram naturalmente ao longo das encostas, também é possível verificar alterações de fluxos superficiais e subsuperficiais e transformações pedológicas nos horizontes dos solos oriundas de atividades antrópicas, em diferentes setores de vertente. Sobre esses aspectos os trabalhos de Silveira (1998), Uhde (2009), Zaparoli e Gasparetto (2010) e Magalhães (2013), desenvolvidos em ambientes rurais, demonstram alterações no sistema estrutural e na macro e microporosidade do solo, oriundas das atividades de uso e manejo. Essas transformações, de acordo com esses autores, trazem desequilíbrios pedomorfológicos, com implicações na condutividade hidráulica do solo, sobretudo nos horizontes superficiais e na parte superior dos horizontes subsuperficiais.

Desse modo, os processos hídrico-mecânicos, superficiais e subsuperficiais, naturais e/ou alterados pela ação antrópica, ocorridos nas encostas, ao mesmo tempo em que são elementos “condicionados” pelas variáveis morfológicas como forma, comprimento e declividade, também são elementos “condicionantes” das características morfológicas associadas às vertentes.

Entender as diferentes morfologias e os diferentes processos associados às vertentes significa a possibilidade de compreender tanto a distribuição espacial dos sistemas de vertentes, como a distribuição espacial dos diferentes sistemas pedológicos, ambos intimamente relacionados.

### 1.3 AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS E OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS

As interações de solo e relevo podem ser expressas por meio de relações específicas entre esses dois elementos, na escala da vertente, e de relações sistêmicas envolvendo mais elementos (solo-relevo-rocha, solo-relevo-clima, solo-relevo-uso, solo-relevo-tempo), na escala da paisagem. Às relações específicas associam-se, principalmente, a influência da morfologia do relevo nos fluxos hídricos, responsáveis pelo nível de desenvolvimento pedogenético, ou mesmo pela influência da organização e composição do solo (textura, estrutura, porosidade, atividade biológica), nos processos evolutivos das vertentes. Já as relações sistêmicas envolvem um conjunto de interações entre os diversos componentes que estruturam a paisagem.

No que se refere à escala da vertente, Oliveira (2005) enfatiza que as formas de relevo mantêm relação direta com os processos de gênese e evolução dos solos. Para o autor, a morfologia das vertentes, ou seja, suas concavidades e convexidades, rupturas e comprimentos, têm implicações diretas na convergência ou dispersão das águas de enxurrada e na movimentação interna dos fluxos hídricos ao longo das vertentes e, conseqüentemente, na erosão, na modelagem das formas de relevo e na formação e variabilidade espacial dos solos.

No que tange à escala da paisagem, a distribuição dos solos é controlada, em parte, pela rocha sotoposta e pelas condições climáticas que, associadas à declividade, definem suas características e propriedades morfológicas.

Para melhor compreensão das interações morfopedológicas em suas interfaces com a paisagem devem ser resgatados alguns paradigmas estabelecidos por Hudson (1990), apresentados por Campos (2012):

(a) dentro de uma unidade solo-paisagem ocorre interação entre os cinco fatores de formação em diferentes magnitudes resultando em diferentes tipos de solos; (b) os solos dentro de uma mesma unidade solo-paisagem são mais similares quando comparados a solos em outras unidades; (c) áreas com as formas do relevo semelhantes, também apresentaram [sic] associação de solos com características similares; (d) áreas adjacentes de diferentes unidades solo-paisagem apresentam relações espaciais; (e) uma vez que as quantidades de solos e as unidades de paisagem são determinadas na área, o tipo de solo pode ser inferido pela identificação das unidades solo-paisagem (CAMPOS, 2012, p. 967).

A estreita relação entre os tipos de formas de relevo com os solos e dos solos com a litologia e o tipo climático atuante, também é enfatizada por Ross (2010). Para o autor, não se pode entender a gênese e a dinâmica das formas de relevo sem que se entenda os mecanismos

motores de sua geração e as diferentes interferências dos demais componentes em uma determinada unidade de paisagem.

Nesse contexto, é importante ressaltar que a interação entre o solo, o relevo e a paisagem, podem ser melhor compreendidas, a partir dos conceitos de “vertentes características” e “sistemas pedológicos”.

A utilização do termo “vertentes características” surge nas décadas de 1970 e 1980, com os trabalhos de Young (1972) e Parsons (1988). Nesses trabalhos, os perfis de vertentes foram utilizados para caracterizar diferentes tipos de terreno utilizando distribuição típica de ângulos de inclinação. Dessa forma, as diferenças nas distribuições de ângulo e de frequência de inclinação, particularmente relacionadas com a litologia (resistência do material de origem), ao clima (por meio de precipitação e temperatura) e ao estado evolutivo da encosta, constituíram as bases para o estudo de vertentes características (DIKAU, 2004).

Dikau (2004) destaca que essas premissas partiam do entendimento de que perfis de vertente, geralmente, cobrem vários domínios de processos. Esses domínios em uma descrição generalizada apresentariam, ambientes de erosão, na parte superior de um declive, transporte, na média encosta e, na seção basal, ambientes de deposição.

No contexto atual, os estudos das vertentes características são condicionados a análise qualitativa, utilizando-se do estudo de topossequências, para descrever a disposição das diferentes unidades de inclinação no interior de um mesmo perfil de encosta. Segundo Dikau (2004), essa caracterização de sequências oferece informações sobre o sistema de vertente. Assim, as topossequências podem ser utilizadas para classificar encostas típicas, permitindo representar tanto uma vertente simples (de sequência única, por exemplo, um elemento de ligação retilíneo do cume ao vale), ou duas ou mais unidades (multi-sequências, como por exemplo as vertentes convexo-côncavas).

Dessa forma, o estudo das vertentes características ocorre necessariamente com a classificação do perfil, considerando suas concavidades, convexidades e inclinação retilínea, identificadas no transecto da vertente. A classificação morfológica das vertentes possibilita a espacialização da curvatura e, principalmente, a associação do grau de inclinação com os diferentes processos geomorfológicos.

A espacialização e o mapeamento de vertentes características, também vêm sendo realizadas por meio de modelos digitais de elevação, ou seja, modelos matemáticos que auxiliam na identificação dos graus de angulação da vertente. Nesses modelos, as vertentes côncavas têm valores de curvatura negativos, as convexas valores positivos e as retilíneas apresentam valor de curvatura nulo ou muito próximas a zero, considerando que, na natureza,

difícilmente encontra-se vertentes com curvatura nula (VALERIANO, 2003; BERVIGLIERI, et al., 2012).

Frente às possibilidades de caracterização de vertentes típicas, por meio de análise qualitativa, em uma associação de formas e processos, ou mesmo por meio de análises quantitativas, tendo em vista a utilização de modelos numéricos de terreno, muitos trabalhos têm possibilitado a identificação de domínios de vertentes de forma espacializada.

A identificação e a caracterização da estrutura e funcionamento da vertente característica e, por extensão, da unidade de paisagem onde está inserida, se complementam com o reconhecimento do sistema pedológico a ela associado (NÓBREGA; CUNHA, 2011).

Segundo Ruellan e Dosso (1993), a cobertura pedológica é estruturada em diferentes níveis, partindo da organização das partículas até da unidade de paisagem. São quatro tipos de estruturas que, conforme os autores citados, correspondem a quatro escalas diferentes de organização da cobertura pedológica: as organizações elementares (como constituintes, agregados, concentrações, vazios, traços de atividade biológica); as assembleias (associação de um certo número de organizações elementares e as relações entre elas); os horizontes (volumes pedológicos mais ou menos paralelos à superfície do terreno, caracterizados por vários tipos de assembleias e suas inter-relações); e os sistemas pedológicos.

Ruellan e Dosso (1993) definem o sistema pedológico como o arranjo dos horizontes entre si, vertical e lateralmente, considerando-se a escala da unidade de relevo. Esse sistema é descrito em termos de horizontes e relações entre horizontes, ou seja, como são esses horizontes e como se organizam verticalmente e se sucedem lateralmente. Os autores especificam que esse conjunto de horizontes que constituem o sistema pedológico é caracterizado por um mesmo tipo de dinâmica evolutiva. Assim, a evolução do meio onde estão inseridos promove progressivamente modificações de estruturas e, conseqüentemente, de funcionamento, levando a sua transformação, isto é, ao autodesenvolvimento do sistema. Como o sistema pedológico se desenvolve na escala de uma unidade de modelado, os autores complementam que ele corresponde também a uma unidade de funcionamento hidrodinâmico.

O sistema pedológico pode, portanto, ser caracterizado como um conjunto de horizontes, com dinâmica, funcionamento e organização própria, com distribuição dominante, particularmente vinculado aos diferentes segmentos da vertente. Encontram-se associados à dinâmica topográfica, climática, geológica e biológica ocorrida em períodos recentes e passados. A compreensão da dinâmica desses fatores, observados inicialmente na escala da paisagem e posteriormente na escala da vertente, quando associada às interferências antrópicas,

permite inferir o estado e equilíbrio e/ou transformação em que se encontra a cobertura pedológica.

Os trabalhos de identificação de sistemas pedológicos e vertentes características têm recorrido à metodologia da análise estrutural da cobertura pedológica como a principal forma de abordagem, considerando suas possibilidades de sistematização e representação dos atributos morfopedológicos (VIDAL TORRADO et al., 2005).

O princípio desta metodologia parte da reconstituição, inicialmente bidimensional, em topossequências, da organização da cobertura pedológica, investigada por meio de tradagens, realizadas sequencialmente no sentido do topo para jusante. Posteriormente, trincheiras são abertas em pontos selecionados a partir do levantamento realizado por sondagens, a fim de se observar as transições verticais e laterais entre os horizontes. Em seguida, tomando como base o reconhecimento de outras topossequências transversais e paralelas, busca-se reconstituir a distribuição espacial (tridimensional) das organizações pedológicas, a partir da reprodução dos limites entre os horizontes em mapas, sob a forma de curvas de isodiferenciação, representando as posições onde se iniciam ou terminam horizontes e/ou outras feições pedológicas ou litológicas (QUEIROZ NETO, 2002).

Sob esta perspectiva, a disseminação dos trabalhos utilizando a metodologia da análise estrutural permite uma nova concepção de estudo e abordagem pedológica. Estes trabalhos possibilitam compreender, de forma detalhada, as correlações existentes entre as formas de relevo (declividade, concavidade, convexidade e comprimento das encostas) e a organização da cobertura pedológica ao longo das vertentes.

Diversos trabalhos (NUNES, 2001; MOTTA et al., 2002; MANOSSO; NOBREGA, 2009; CAMPOS et al., 2010; FACCO et al., 2012; FONTANA et al., 2014), realizados em diferentes regiões do país, recorreram a essa metodologia, empregando sobretudo a análise bidimensional da cobertura pedológica para, juntamente com diversos outros elementos naturais e antrópicos, reconhecer e caracterizar as vertentes características e os seus sistemas pedológicos como formas de expressão da estrutura e funcionamento da paisagem.

A investigação com ênfase nas relações entre as classes de solos e a morfologia das vertentes também é designada como morfopedologia e as unidades espaciais caracterizadas por determinados arranjos morfopedológicos são denominadas de unidades morfopedológicas.

A morfopedologia, de acordo com Castro e Salomão (2000), permite cartografar unidades relativamente homogêneas, produtos da inter-relação entre substrato geológico, relevo e solos, que constituem unidades temporo-espaciais e intrínsecas do meio físico, reconhecíveis em médias e grandes escalas. As unidades morfopedológicas, definidas com ênfase no

comportamento hídrico de vertentes, permitem destacar sistemas pedológicos dominantes, caracterizados pelo *continuum* dos seus horizontes, dispostos vertical e lateralmente do topo à base dos interflúvios (RIBEIRO; SALOMÃO, 2003).

Essas pesquisas de cunho morfopedológico, além de permitirem a identificação de topossequências típicas e o entendimento da distribuição espacial da cobertura pedológica em uma região, ainda possibilitam a extrapolação de informações disponíveis em mapas de solos em qualquer escala, para locais e objetivos mais específicos, implicando a redução de tempo e custo para obtenção de dados ambientais básicos (MOTTA et al., 2002).

Nesta perspectiva, é importante ressaltar que o fato do solo e do relevo constituírem corpos tridimensionais da paisagem, faz com que os pontos de observação e a obtenção de dados sejam estabelecidos a partir de ações conjuntas de gabinete e campo. Em gabinete executam-se as consultas e interpretação de cartas temáticas geológicas, geomorfológicas, pedológicas (padrão de drenagem, estrutura geológica, litologia, padrões macromorfológicos do relevo, dentre outras). Em campo, por sua vez, são realizadas as observações das formas das vertentes como rupturas de declives, sinais de erosão, estado da superfície, dentre outros aspectos (MANFREDINE et al., 2005).

Na atualidade, como enfatiza Vidal Torrado et al. (2005), os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) permitem elaborar com rapidez mapas temáticos, com a vantagem de ordenar dados e fornecer uma visão geral das relações entre o solo e o relevo. Essas aproximações são especialmente importantes para indicar tendências que possam ser verificadas nos estudos detalhados de vertentes, além de quantificar facilmente as relações que possam existir entre superfícies geomórficas, solos e substratos geológicos, em uma mesma unidade de paisagem.

#### 1.4 FRAGILIDADE E PONTENCIALIDADE AMBIENTAL: DISCUSSÃO METODOLÓGICA

As pesquisas que visam a identificação e o mapeamento das fragilidades e potencialidades ambientais envolvem processos metodológicos voltados à análise, ao monitoramento e à classificação das áreas em termos de estabilidade/instabilidade e/ou vulnerabilidade. Esses mapeamentos geram produtos cartográficos, considerados fundamentais ao planejamento ambiental e territorial da paisagem.



De acordo com Sporn (2001), a importância dos mapeamentos de fragilidade e potencialidade ambiental ocorre em razão de que os sistemas ambientais, face às intervenções humanas, apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características “genéticas”. Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima, geologia e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, alterando o seu estado de equilíbrio dinâmico.

Dessa forma, a análise dos elementos físicos de forma integrada e com metodologias adequadas possibilita obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas das susceptibilidades naturais e daquelas produzidas pelas intervenções antrópicas. Nesse sentido, faz-se necessário uma discussão mais ampla a respeito das propostas metodológicas associadas aos mapeamentos qualitativos e quantitativos no âmbito ambiental.

No contexto atual, uma das propostas metodológicas mais utilizada no cenário nacional pauta-se nos modelos de análise de “fragilidade potencial e emergente”, empregados por Ross (1994). Nesses modelos, as características naturais (relevo, solo, clima e geologia), assim como os diferentes usos e coberturas da terra, são expressos em diferentes graus de fragilidades, geralmente classificados como: muito fraco (1), fraco (2), médio (3), forte (4) e muito forte (5). Nessa proposta, os valores numéricos mais baixos representam as áreas de maior estabilidade, com menor risco a processos de degradação ambiental, sobretudo de natureza erosiva, enquanto os mais altos caracterizam as áreas de instabilidade e, por consequência, mais suscetíveis à instalação de processos de degradação, sejam de origem natural ou antrópica.

De acordo com Ross (1994), os níveis de fragilidade podem ser avaliados a partir de duas condições: o da fragilidade ambiental potencial e o da fragilidade ambiental emergente. No primeiro caso, é considerada a fragilidade correlacionada às condições naturais, avaliando-se as relações entre as formas de relevo e os diferentes tipos de solos. São esses elementos analisados pelo autor para evidenciar as características da fragilidade potencial. No segundo caso, o da fragilidade ambiental emergente, são avaliados, além dos aspectos relativos ao relevo e aos solos, os tipos de usos das terras e os graus de proteção que conferem às superfícies.

No que se refere ao relevo, Ross (2010) destaca que as formas de mensuração adotadas com maior frequência são os intervalos de classes de declividades, já consagrados nos estudos de capacidade de uso e aptidão agrícola, associados com aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotecnia, indicados pela influência nos processos erosivos, nos riscos de escorregamentos e na frequência de inundações. Nesse parâmetro, são sugeridos cinco intervalos de porcentagens, 0-6%, 6-12%, 12-20%, 20-30% e maior que 30%, os quais correspondem a uma classificação variando de muito fraca a muito forte fragilidade.

Tratando-se das informações de natureza lito-pedológica, o mesmo autor enfatiza que as características do manto de alteração (solo mais alterita) devem ser hierarquizadas em função do maior e menor grau de fragilidade, face as suas características físicas e minerais referentes à ação antrópica e, sobretudo, das águas pluviais. Nessa análise, a classificação das classes pedológicas, em relação aos níveis de fragilidade, ocorre com base no atributo de erodibilidade dos diferentes tipos de solos, em face do escoamento superficial das águas pluviais. Desse modo, as classes com textura arenosa, mal drenadas e de menor profundidade tendem a apresentar maior fragilidade, quando comparadas às classes de textura argilosa, bem drenadas e de maior desenvolvimento pedogenético.

Para determinação da fragilidade referente ao uso e cobertura do solo, Ross (2010) propõe uma hierarquia voltada aos graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal e pelas práticas antrópicas com relação à ação das águas pluviais. Nesse parâmetro, as áreas com florestas correspondem aos setores com alta proteção, enquanto que as pastagens, e os cultivos agrícolas permanentes e temporários são, respectivamente, classificados como de média e baixa proteção.

A análise da fragilidade conta com a interpretação e a elaboração de cartas temáticas, consideradas produtos de análise (cartas de declividade, solo e uso do solo). Posteriormente, essas cartas são cruzadas e interpretadas, criando condições para a construção das cartas de síntese (fragilidade potencial e emergente).

O método desenvolvido por Ross (2010), para a análise da fragilidade potencial e emergente, adota os princípios da ecodinâmica”, formulados por Tricart (1977). Ao propor a metodologia, que designou como ecodinâmica, Tricart (1977) adota o conceito ecológico para estudar as relações entre os diferentes elementos do meio ambiente, de modo sistêmico. Aponta, entretanto, o componente morfogênico como o mais importante. Para esse autor, os processos morfogênicos são os responsáveis pela instabilidade da superfície e a morfodinâmica é um fator limitante para o desenvolvimento dos seres vivos. Em termos práticos, reconhece a necessidade de uma “taxonomia dos tipos de ambientes fundada no seu grau de estabilidade-instabilidade morfodinâmica” (TRICART, 1977, p. 29), como forma de atender à necessidade de “conservação-restauração dinâmica dos recursos ecológicos”.

A ecodinâmica surge, desse modo, como uma metodologia baseada no estudo da dinâmica dos ecótopos, ou unidades ecodinâmicas que se caracterizam “por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses” (TRICART, 1977, p. 32). A base para a classificação ecodinâmica dos meios é realizada fundamentalmente por meio do balanço geomorfogênese x pedogênese, chegando-se ao final

da análise na identificação de unidades ecodinâmicas estáveis, *intergrades* (intermediárias) e instáveis. As áreas em que prevalecem os processos morfogênicos são entendidas como instáveis, enquanto nas que predominam a pedogênese são as estáveis. Quando há um equilíbrio entre ambos, sua estabilidade é definida como intermediária. O resultado é expresso em uma carta ecodinâmica.

Ross (1994) adaptou os conceitos de unidades estáveis e instáveis para gerar os pressupostos metodológicos da análise da fragilidade potencial e emergente. Essas análises, desenvolvidas com objetivo de nortear as intervenções antrópicas, atuais e futuras, são um dos principais instrumentos da análise da fragilidade ambiental.

Neste raciocínio, Stolle (2007) ressalta que as preocupações com a degradação ambiental, devido às pressões das atividades antrópicas, propiciaram o surgimento de inúmeros estudos e metodologias em avaliações ambientais. Para a autora, um dos desafios encontrados nesse tipo de trabalho refere-se ao modo como as características do ambiente são expressas.

Sporl (2001), ao comparar três modelos metodológicos aplicados aos estudos da fragilidade ambiental, verificou que o principal problema, nesses modelos, está relacionado à atribuição de “pesos” das variáveis (geomorfológicas, pedológicas, geológicas, climáticas e de uso do solo). Segundo a autora, essa avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva, pois é sempre complicado avaliar quanto cada uma dessas variáveis contribui para estabelecer o grau de fragilidade.

No modelo proposto por Ross (1994), assume-se, no processo de operacionalização, a declividade como elemento principal para a definição da fragilidade potencial, matizando os graus obtidos com as variações de tipos de solos e clima e gerando a carta de fragilidade potencial, a qual é posteriormente associada aos aspectos de uso do solo e a vegetação, para elaboração da carta de fragilidade emergente.

Nesse sentido, Bonifácio (2013), inspirada na metodologia de Ross (1994) propõe uma mudança no modo de avaliação, ao sugerir o tipo de solo e suas propriedades como elemento definidor da classe de fragilidade potencial. Nesse modelo, a classe de solo, suas propriedades e susceptibilidades, embora se apresentem como determinantes no primeiro nível, leva em consideração também a declividade e os demais elementos. Para a autora, a maior valorização das classes de solo ocorre devido ao fato de refletirem um nível de integração maior dos elementos constituintes do ambiente físico ao longo do tempo. Desse modo, a declividade também é considerada, porém passa a ser o elemento que hierarquiza o grau de fragilidade dentro da classe de solo. A classe de fragilidade potencial é obtida pela média da soma dos pesos do solo e da declividade. Para a definição da fragilidade emergente é considerado, como

no método original, o grau de cobertura vegetal e proteção da superfície. Esse grau é acrescido ao resultado da fragilidade potencial para a obtenção da classe de fragilidade emergente.

Já no modelo de análise proposto por Crepani et al. (1996), por meio de unidades territoriais básicas, a ponderação apresenta “pesos” iguais, ou seja, os diferentes atributos (declividade, solos, rochas, clima e vegetação) são somados e divididos, resultando na média aritmética dos valores individuais. Nessa proposta, todos os elementos mantêm o mesmo nível de influência na realização do mapa de vulnerabilidade.

De acordo com Sporn e Ross (2004), os diferentes modelos metodológicos podem apresentar pontos favoráveis e desfavoráveis. A valorização de um único elemento, como a declividade pode, por exemplo, classificar como fragilidade muito fraca uma área de relevo relativamente plano, mas onde outras variáveis, como as propriedades do tipo de solo, podem ser as responsáveis pela fragilidade. Por outro lado, uma valorização igualitária dos atributos pode, também, “mascarar” ou atenuar o resultado final do índice de fragilidade da unidade identificada.

Sendo assim, parece conveniente que as variações de maior ou menor fragilidade, atribuídas às características naturais e antrópicas, sejam elencadas de acordo com a escala de análise e com as peculiaridades naturais e antrópicas da área de estudo. Para tanto, diferentes autores afirmam que os estudos de fragilidade e potencialidade, independente dos pesos e das formas de ponderação dos atributos de análise, podem ser confirmados, ou mais bem compreendidos, quando associados a outros mapeamentos como, por exemplo, aqueles relacionados às susceptibilidades erosivas, bem como a capacidade de uso do solo (SPORN; ROSS, 2004; STOLLE, 2007, LEPSCH, 2015).

Os mapeamentos referentes às susceptibilidades erosivas geralmente são realizados por meio da análise de um conjunto de fatores como: erosividade (R), erodibilidade (K), topografia (LS), manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P). Esses fatores compõem os elementos de análise amplamente difundidos na Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1978). A equação tem por objetivo a estimativa de perda do solo em toneladas por hectare ao ano ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ).

A EUPS, segundo Bueno et al. (2010), é uma ferramenta que vem sendo utilizada com considerável sucesso, pois possibilita estabelecer paralelos com a suscetibilidade natural dos solos à erosão, quando a análise envolve apenas os fatores inerentes ao meio natural, e paralelos com riscos atuais de erosão, quando introduzidos os fatores antrópicos.

Trabalhos aplicados como os de Denardin (1990), Mannigel et al. (2002), Tomazoni et al. (2005), demonstram que a erodibilidade constitui um dos elementos de maior relevância,

dentre as variáveis relacionadas à perda do solo. Segundo os autores, os principais índices de erosão variam de acordo com os tipos de solo, sobretudo em ambientes onde há condições topográficas, climáticas e práticas de uso, manejo e conservação semelhantes.

Neste contexto, Demarchi e Zimback (2014) destacam que o conhecimento dos tipos de solo, de suas propriedades físicas, químicas e das características hidrológicas possibilita fazer inferências sobre sua suscetibilidade natural à erosão. O processo erosivo pode ser controlado por diversos fatores, com destaque para o comprimento de rampa e declividade do terreno (fator topográfico), as características da chuva (principalmente a intensidade), a cobertura e o tipo de manejo do solo e as práticas conservacionistas utilizadas. No entanto, alguns solos erodem mais facilmente que outros quando as demais condições são mantidas inalteradas.

Os estudos que recorrem à análise da erosão dos solos como elemento de representação das susceptibilidades naturais, frente às intervenções antrópicas, se apoiam, cada vez mais, em mapeamentos de solos para a definição das aptidões agrícolas e da capacidade de uso do solo.

De acordo com Pereira e Lombardi Neto (2004), em termos de avaliação do potencial das terras, apesar da existência de diversos sistemas, no Brasil, os mais adotados são: o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO-FILHO; BEEK, 1995) e o sistema de capacidade de uso (LEPSCH et al., 1991).

No Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), são analisados seis grupos e quatro classes de aptidão agrícola em três níveis tecnológicos.

Os grupos de aptidão 1, 2 e 3 identificam terras cujo uso mais intensivo é a lavoura. O grupo 4 representa terras cujo tipo de uso mais intensivo é a pastagem plantada, enquanto no grupo 5 o uso mais intensivo das terras limita-se à silvicultura e pastagem natural. O grupo 6 abrange áreas de terras consideradas inaptas para qualquer uma das atividades agrícolas citadas, estando sua ocupação condicionada à preservação da fauna e da flora. As classes de aptidão (boa, regular, restrita e inapta) são definidas para um determinado tipo de uso em função dos graus de limitação (N: nulo, L: ligeiro, M: moderado, F: forte e MF: muito forte) em cada gleba de terra. No método, os níveis tecnológicos revelam o conjunto de tecnologias empregadas pelo agricultor e evoluem do nível A para o C (A-baixo, B-médio e C-alto) (SILVA et al., 2010, p. 1989).

De acordo com os autores, quanto mais elevado o nível tecnológico (nível C), maior a inversão de capital e tecnologias, aumentando as possibilidades de superar as condições limitantes de uma determinada gleba de terra e de viabilizar produções economicamente sustentadas.

No mapeamento realizado na escala estadual, o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES (1995) propôs uma adaptação da

metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995) para classificação da aptidão. Nesse levantamento, o IPARDES apresenta como resultado final do mapeamento quatro grandes classes:

**Classe 1 – boa**, são terras com solos sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, considerando as condições de manejo e apresentam poucas restrições à agricultura. **Classe 2 – Regular**: para terras com solos com limitações moderadas para a produção sustentada de determinado tipo de utilização, considerando as condições de manejo. **Classe 3 – Restrita**: para terras com solos com limitações fortes para a produção sustentada de determinado tipo de utilização, considerando as condições de manejo. Terras muito acidentadas com declives de 20 a 40% não se prestam para culturas anuais sendo indicadas para pastagens e reflorestamento. **Classe 4 - Inapta**: para terras com solos impróprios para a utilização de insumos e mecanização para a utilização com lavouras. Terras com características muito adversas, economicamente não agricultáveis, e por isso não tem aptidão agrícola. Pode ser utilizado com pastagem plantada, silvicultura ou pastagem natural, no entanto, são indicadas para a preservação da flora e da fauna, recreação ou outro tipo de uso que não seja agrícola (FEIDEN et al., 2011, p. 40-41).

A determinação das classes de aptidão agrícola, como ressalta Delarmelinda (2011), objetiva orientar o uso mais adequado das terras pela identificação das suas limitações e o modo como essas limitações restringem a aptidão. Segundo a autora, a adequação da forma de utilização das terras a sua aptidão agrícola consiste em um fator preponderante para sustentabilidade dos sistemas agrícolas, silviculturais, agroflorestais ou extrativistas, à medida que favorece a otimização da produção e previne os processos de degradação das terras. Por esse motivo, os mapeamentos de aptidão das terras são considerados indispensáveis ao planejamento de regiões essencialmente agrícolas como, por exemplo, a região delimitada pela unidade hidrográfica do Paraná 3.

No mesmo sentido, insere-se o mapeamento da capacidade de uso proposto por Lepsch et al. (1991). Nesse sistema, também são caracterizados grupos, classes, subclasses, visando a identificação das melhores práticas de uso e/ou preservação.

Os grupos constituem o primeiro nível de análise e estabelecem três modelos de utilização do solo em ordem decrescente, determinados pelas letras A, B, C. O grupo A não apresenta nenhum tipo de restrição ao uso agrícola ou pecuário, contemplando terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre. O grupo B engloba terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre. Enquanto o grupo C compreende terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, porém apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água (LEPSCH et al., 2015).

Nesse sistema, cada grupo contém diferentes classes: o grupo A apresenta as classes I, II, III e IV; o grupo B, as classes V, VI e VII; o grupo C, a classe VIII. Essas classes apresentam, segundo Lepsch (2015), os níveis de conservação que devem ser empregados em cada parcela de solo.

**Classe I:** terras sem ou com ligeiras limitações permanentes em relação ao risco de degradação para o uso agrícola intensivo; **Classe II:** terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau moderado para uso agrícola intensivo; são terras cultiváveis com problemas simples de conservação; **Classe III:** terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau severo para uso agrícola intensivo; são terras cultiváveis, mas apresentam problemas complexos de conservação; **Classe IV:** terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em graus muito severos se usados para cultivos intensivos; devem ser apenas cultiváveis ocasionalmente ou com extensão limitada, com a escolha de exploração adequadas; **Classe V:** terras sem ou com pequeno risco de degradação pela erosão, mas com outras limitações não possíveis de serem removidas e que podem fazer com que seu uso seja limitado apenas para pastagens, reflorestamentos ou vida silvestre; **Classe VI:** terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau severo, que fazem com que possam ser usadas somente para pastagens e/ou reflorestamento, ou ainda, em casos especiais, com certas culturas permanentes protetoras do solo; **Classe VII:** terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau muito severo, mesmo quando usadas para pastagens e/ou reflorestamento, que devem no caso, ser manejadas com extremo cuidado; **Classe VIII:** terras impróprias para culturas, pastagens ou reflorestamentos, por isso devem ser destinadas ao abrigo e à proteção da fauna e flora silvestre, aos ambientes de recreação protegidos, bem como para armazenamento de água (LEPSCH et al., 2015, p. 71-72).

Nesse modelo, à determinação das classes de capacidade de uso podem ainda ser associadas as subclasses, nas quais são definidos os fatores limitantes, como os referentes ao relevo, que evidencia o risco erosão (como por exemplo áreas de declive acentuado), ao solo (como solos de baixa profundidade e textura arenosa), as limitações hídricas (relativas ao excesso de água) ou, ainda, climáticas (áreas de seca prolongada, ou risco constante de geadas). Embora um conjunto de fatores pedológicos, topográficos, hídricos e climáticos sejam considerados na determinação da capacidade de uso, Melo e Guerra (2013) destacam que, em grande parte dos estudos, o solo é o principal fator natural condicionador da capacidade de uso da terra.

Dessa forma, diferentes trabalhos, quer sejam os de capacidade de uso do solo, de aptidão, ou mesmo de fragilidade ambiental, destacam a importância do conhecimento dos solos e suas relações com o relevo e a dinâmica hídrica como indispensável para a análise ambiental. Assim, a identificação de diferentes conjuntos pedológicos em associação com as unidades geomorfológicas pode facilitar a execução desses mapeamentos, possibilitando a execução de

propostas para a otimização do uso do solo e aplicação de práticas de manejo que respeitem suas limitações.

De modo geral, as metodologias que buscam a determinação das fragilidades e potencialidades ambientais têm como fundamento principal a produção de documentos cartográficos, capazes de demonstrar a fragilidade dos elementos físicos em relação às práticas empregadas. Esses mapeamentos podem ser aplicados em diferentes escalas e unidades de análise, pois trazem informações que são úteis ao planejamento ambiental e territorial.

Com base nessas concepções, os trabalhos mais recentes, como Tomazoni et al. (2005), Silva et al. (2010), Martins e Rodrigues (2012), Santos et al. (2012), têm empregado técnicas de geoprocessamento no intuito de gerar cartas de fragilidade, erodibilidade, aptidão e capacidade de uso do solo. Para esses autores, os SIGs, colaboram tanto na classificação individual das vulnerabilidades e susceptibilidades dos elementos naturais e antrópicos, quanto na análise integrada, recorrendo à utilização de matriz ponderada que, além de propiciar rapidez de processamento, amplia a capacidade de modelagem e decisão.

Esses estudos, sobretudo aqueles desenvolvidos sob a perspectiva da análise integrada e sistêmica, visam contribuir com o planejamento ambiental, pois possibilitam identificar as fragilidades e as potencialidades da paisagem, proporcionando uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento econômico e ambiental.



## **CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS**

Os procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa apresentam um conjunto de concepções teóricas, associadas a diferentes métodos e técnicas com o intuito de compreender a organização da paisagem, das vertentes e dos sistemas pedológicos associados e, ainda, suas relações com as fragilidades e potencialidades ambientais de unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Paraná 3 (BP3). Para tanto, as atividades de caráter teórico, metodológico e técnico utilizadas na pesquisa são apresentadas em três tópicos: atividades de gabinete, campo e laboratório.

### **2.1 ATIVIDADES DE GABINETE**

As atividades de gabinete compreenderam necessariamente a etapa de revisão bibliográfica, o levantamento de dados secundários, a produção de material cartográfico, com destaque para a elaboração das cartas temáticas, assim como a análise integral hipsométrica.

#### **2.1.1 Levantamento de dados históricos e censitários**

Nesta etapa, buscou-se informações de caráter histórico e censitário (documentos cartográficos, dados de censos, trabalhos científicos já existentes sobre a área de pesquisa). Os dados levantados contribuíram para a análise dos processos históricos e econômicos da área de estudo, sendo que os dados e as informações econômicas, sociais e ambientais foram coletados de instituições como: IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social), ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

#### **2.1.2 Produção de material cartográfico**

A produção de material cartográfico consistiu na elaboração de cartas temáticas (de análise, correlação e síntese) da área de abrangência da bacia hidrográfica do Paraná 3.

Para elaboração da carta geológica da bacia foi utilizado, como base cartográfica, o mapa geológico do Paraná, disponível na escala de 1:250.000 (MINEROPAR, 2015). Também

foi empregado o mapa geológico do Zoneamento Ecológico Econômico do Paraná (ITCG, 2015), o qual foi georreferenciado e plotado no quadrante de abrangência da área de estudo e, desse modo, foram representadas as principais formações geológicas por meio dos SIGs Global Mapper15.1 e ArcGis 9.3.

As cartas de hipsometria, declividade e curvatura vertical foram elaboradas a partir dos dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Para tanto, construiu-se um mosaico com as imagens que contemplam a área de estudo: 23s555, 23s54, 24s555, 24s54, 25s555 e 25s54, resolução espacial de ~30m, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais através do projeto TOPODATA (INPE, 2013). O *software* utilizado para a confecção dessas cartas foi o ArcGis 9.3 por meio de sua extensão ArcMap.

Para elaboração da carta hipsométrica foi criada uma estrutura de grade triangular conhecida como TIN (*Triangular Irregular Network*), a partir dos dados SRTM. Com a grade triangular foram geradas curvas de nível, por meio da barra de ferramentas “*3D analyst*”. Em seguida, foram estabelecidas sete classes altimétricas com intervalos de 100 metros, com o emprego da ferramenta “*classification*”.

Na elaboração da carta de declividade, também foi utilizada a estrutura de grade triangular, com a geração de um novo plano de informação com índices de declividade. Os índices foram extraídos por meio da guia “*layers properties*” do TIN. Após esta etapa, seguiu-se para a definição e o número de classes de declividade predominantes. Por meio da ferramenta “*slope*” na guia “*layer properties*”, seguiu-se para a alternativa “*classification*” e, em seguida, selecionou-se a opção “*classify*”. Nessa etapa, selecionou-se um intervalo de seis classes de declividade (0 – 3%, 3 – 6%, 6 – 12%, 12 – 20%, 20 – 30% e > 30%), seguindo os limites propostos por Ross (1994).

O mapeamento de curvatura vertical também foi realizado por meio da obtenção de imagens disponibilizadas pelo projeto TOPODATA (INPE, 2013). O projeto disponibiliza imagens georreferenciadas e gratuitas de todo o território nacional. Para tanto, foram importadas imagens de relevo, com a divisão de 3 classes de curvatura (convexo, côncavo e retilíneo), em formato GeoTiff (32 bits). As imagens foram posteriormente inseridas no recorte espacial da área de estudo e editadas com classificação colorida (convexo - cor vermelha; côncavo - cor azul e retilíneo - cor amarela), por meio da guia ArcMap, do *software* ArcGis 9.3.

Para elaboração da carta pedológica, foi utilizado como base cartográfica o Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, na escala 1:250000 (EMBRAPA, 2008). As informações sobre a cobertura pedológica foram obtidas por meio do

site do ITCG (2013), em formato *shapefile*. As informações foram processadas pelos *softwares* Global Mapper 15.1 e ArcGis 9.3.

Os mapeamentos referentes aos dados da estrutura socioeconômica da bacia (cartas de IDH – Índice de Desenvolvimento Humano, PIB – Produto Interno Bruto, Produção Agropecuária e Estrutura Fundiária) foram desenvolvidos com o emprego das bases municipais disponibilizadas pelo IBGE (2010). Utilizando-se a base cartográfica municipal, foram coletados dados institucionais do IBGE (2006, 2011, 2012) e IPARDES (2010, 2011, 2012). Os dados foram espacializados e convertidos em mapas utilizando-se o software ArcGis 9.3.

O mapeamento de uso e cobertura da terra da área de estudo foi obtido a partir da análise de imagens do satélite Landsat 8, com cenas orbitais do ano de 2015, disponibilizadas pelo INPE (2015). Com a utilização do *software* ArcGis 9.3, foram geradas as composições coloridas (RGB), utilizando as bandas 4, 5 e 6. Em seguida, utilizou-se a metodologia de classificação supervisionada, por meio do classificador *MAXVER* (*Maximum Likelihood Classification*). Nesse processo, associaram-se pontos de controle para a identificação das classes de uso e cobertura, atribuindo o significado de cada classe aos *pixels* nas imagens processadas. Na sequência, foram aplicados filtros, visando a diminuição de erros de classificação por meio da ferramenta “*Majority Filter*”. Esses procedimentos permitiram identificar as classes de vegetação, agricultura, pastagem e corpos hídricos da BP3. Para a identificação detalhada das áreas urbanas, recorreu-se à vetorização manual da imagem RGB. O processo de vetorização consistiu na delimitação de polígonos envolvendo os limites urbanos (cidades, distritos e pequenos núcleos urbanos). A delimitação foi realizada com a ferramenta “*Digitizer Tool*”, do software Global Mapper 15.1. Os polígonos vetorizados foram exportados no formato *shapefile* e importados no projeto de uso e cobertura do ArcGis 9.3, no qual foram classificados como área urbana.

Após a elaboração e a interpretação das cartas temáticas de análise, foram desenvolvidas cartas de correlação e de síntese, envolvendo a delimitação e construção da carta de unidades de paisagem, bem como as cartas de fragilidade e capacidade de uso do solo.

A carta de unidades de paisagem da BP3 foi elaborada com base na delimitação dos compartimentos originalmente propostos por Bade e Rocha (2013). Os compartimentos de paisagem foram delimitados a partir de um conjunto de informações referentes à estrutura geocológica, com ênfase nos aspectos geomorfológicos presentes na bacia. Para delimitação dos compartimentos em termos gerais e regionais, aplicou os preceitos teóricos e metodológicos propostos por Ross (1992) e, em particular, os adotados por Santos et al. (2006), relacionado à hierarquia da compartimentação proposta no mapeamento geomorfológico do Paraná. Bade e

Rocha (2013), considerando a escala da unidade hidrográfica, aprimorou e redefiniu localmente os limites das sub-unidades morfoesculturais por meio da análise integrada dos elementos da paisagem. Desse modo, foram identificadas 5 unidades de paisagem (1 - Cascavel, 2 - São Francisco, 3 - Foz do Iguaçu, 4 - Marechal Cândido Rondon e 5 - Guaíra), a grosso modo equivalentes às subunidades morfoesculturais do estado do Paraná, mas que em virtude de variações significativas para a escala da unidade hidrográfica foram desmembradas e/ou subdivididas. No contexto mais recente Rocha e Bade (2016), realizaram um refinamento nos limites entre as unidades de Foz do Iguaçu e São Francisco, devido as informações obtidas referentes à distribuição espacial da cobertura pedológica e a organização geomorfológica da BP3.

Para a avaliação das potencialidades e fragilidades associadas à compartimentação da paisagem, foram também elaboradas, além das cartas temáticas já apresentadas, cartas de fragilidade (potencial e emergente) e carta de classificação das terras no sistema de capacidade de uso.

Para a elaboração das cartas de fragilidade potencial e emergente, empregou-se a metodologia proposta por Bonifácio (2013), inspirada naquela sugerida por Ross (1994).

Na avaliação da fragilidade potencial, foram utilizadas as cartas de solo e declividade. Na metodologia adotada, atribui-se aos solos e às faixas de declividade pesos em valores crescentes de 1 a 5, de acordo com seus atributos e potencialidades para o desencadeamento e desenvolvimento de processos erosivos, adotando e adaptando os critérios propostos por Ross (1994), os quais definirão, em conjunto, o grau de fragilidade potencial da área. Nesta avaliação da fragilidade potencial, considerou-se a condição da superfície original, ou seja, recoberta por vegetação florestal. Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os pesos atribuídos para os solos e para as faixas de declividade, respectivamente.

Quadro 1: Pesos atribuídos aos solos em função da classe e das características texturais.

<b>Pesos</b>	<b>Solos</b>
1	Latossolo Vermelho, textura argilosa
2	Nitossolo Vermelho, textura argilosa
3	Latossolo Vermelho, textura média
4	Argissolo Vermelho, textura média/arenosa
5	Neossolos, Gleissolos, Organossolos

Quadro 2: Pesos atribuídos às faixas de declividade.

<b>Pesos</b>	<b>Declividade</b>
1	< 6%
2	6 a 12%
3	12 a 20%
4	20 a 30%
5	> 30%

Fonte: ROSS (1994).

A carta de fragilidade potencial foi elaborada a partir da média aritmética obtida a partir da soma dos pesos do solo e da declividade. Para a ponderação dos graus de fragilidade (Quadro 3), seguiram-se as recomendações de Bonifácio (2013), que ressalta, em seus critérios, o tipo de solo e suas propriedades como elementos definidores da fragilidade. Nesse modelo, a declividade apresentou-se como o elemento que hierarquiza os graus de fragilidade dentro de cada classe de solo.

Quadro 3: Graus e classes de fragilidade.

<b>Graus</b>	<b>Classe</b>
1	Muito fraca
2	Fraca
3	Moderada
4	Forte
5	Muito forte

Para a determinação da fragilidade emergente, foram associados aos valores de fragilidade potencial os graus de proteção atribuídos ao uso e cobertura do solo. Desse modo, as áreas de pastagem e agricultura (Quadro 4) receberam pesos específicos, os quais foram somados ao valor médio que definiu a fragilidade potencial. A carta de fragilidade emergente

foi gerada pela equação (1), aplicando-se os mesmos critérios de classificação apresentados no Quadro 3.

$$Fragilidade\ emergente = \left( \frac{solo + declividade}{2} \right) + uso\ da\ terra \quad \text{Equação 1}$$

A partir da soma, aplicando-se os mesmos critérios de classificação apresentados no Quadro 3, foi gerado como resultado a carta de fragilidade emergente. As áreas recobertas por vegetação florestal mantêm o mesmo valor obtido na carta de fragilidade potencial.

Quadro 4: Pesos atribuídos ao uso e cobertura da terra.

<b>Usos da Terra</b>	
Vegetação florestal	0
Pastagem	+ 0,5
Culturas	+ 1,0

Fonte: BONIFÁCIO (2013).

A análise ponderada dos dados de fragilidade (potencial e emergente) e os cálculos para obtenção da média das informações referentes ao solo, declividade e uso e cobertura da terra, foram processadas pelo *software* ArcGis 9.3, utilizando-se da ferramenta “álgebra de mapas”.

Para retratar as potencialidades ecológicas da bacia, frente à utilização das atividades antrópicas, recorreu-se à elaboração da carta de capacidade de uso da terra, utilizando-se dos preceitos metodológicos propostos por Lepsch et al. (2015).

A classificação das terras, no sistema de capacidade de uso foi realizada com base na distribuição espacial das classes de solos existentes na bacia. A identificação das classes de solo, considerando os níveis categóricos (ordem, subordens, grandes grupos e subgrupos) do SiBICS (EMBRAPA, 2013), serviu de base cartográfica para a avaliação dos critérios diagnósticos e dos fatores restritivos de capacidade de uso.

Seguindo as recomendações de Lepsch (2015), foram avaliados, em cada classe de solo, os critérios diagnósticos obrigatórios que compõem a fórmula mínima: profundidade efetiva do solo, textura, permeabilidade, declividade e erosão, assim como fatores restritivos associados à presença de hidromorfismo e os riscos de inundação. A avaliação dos critérios diagnósticos e dos fatores restritivos (Quadro 5), permitiram determinar as classes e subclasses de capacidade de uso (Quadro 6).

Quadro 5: Critérios utilizados para determinação das classes de capacidade de uso do solo, segundo Lepsch (2015).

Limitações			Classes de Capacidade de Uso									
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
<b>Profundidade Efetiva</b>	1	Muito profundo (> 2m)	X									
	2	Profundo (1 - 2m)		X								
	3	Pouco Profundo(0,5 - 1m)			X							
	4	Raso (0,25 - 0,5m)				X						
	5	Muito raso (< 0,25m)						X				
<b>Textura</b>	1	Muito argilosa	X									
	2	Argilosa	X									
	3	Média			X							
	4	Siltosa				X						
	5	Arenosa					X					
	6	Solos orgânicos								X		
<b>Permeabilidade</b>	1	Excessivamente drenado				X						
	2	Fortemente drenado			X							
	3	Acentuadamente drenado		X								
	4	Bem drenado	X									
	5	Moderadamente drenado		X								
	6	Imperfeitamente drenado			X							
	7	Mal drenado				X						
	8	Muito mal drenado					X					
<b>Declividade</b>	A	0 – 3%	X									
	B	3 – 6%		X								
	C	6 – 12%			X							
	D	12 – 20%				X						
	E	20 – 30%						X				
	F	> 30%								X		
<b>Erosão</b>	<b>Laminar</b>	0	Não aparente	X								
		1	Ligeira		X							
		2	Moderada			X						
		3	Severa					X				
		4	Muito severa						X			
		5	Extremamente severa							X		
	<b>Sulcos</b>	<b>Superficiais</b>	7	Ocasionais		X						
			8	Frequentes			X					
			9	Muito frequentes				X				
		<b>Rasos</b>	7	Ocasionais			X					
			8	Frequentes				X				
			9	Muito frequentes					X			
		<b>Profundos</b>	7	Ocasionais				X				
			8	Frequentes					X			
			9	Muito frequentes						X		
<b>Muito Profundos (Voçorocas)</b>	7	Ocasionais						X				
	8	Frequentes							X			
	9	Muito frequentes								X		
<b>Risco de Inundação</b>	0	Sem risco	X									
	1	Ocasional			X							
	2	Frequente						X				
	3	Muito frequente								X		
<b>Hidromorfismo</b>	0	Não aparente	X									
	hi0	Presente, mas em grau não identificado			X							
	hi1	Prof. >100 cm				X						
	hi2	Prof. (50-100 cm)					X					
	hi3	Prof. (25-50 cm)						X				

Quadro 6: Classes e subclasses de capacidade de uso do solo, segundo Lepsch (2015).

<b>Classes de Capacidade de Capacidade de Uso</b>	
<b>Classe I</b>	Terras sem ou com ligeiras limitações permanentes em relação ao risco de degradação para o uso agrícola intensivo.
<b>Classe II</b>	Terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau moderado para uso agrícola intensivo; são terras cultiváveis com problemas simples de conservação.
<b>Classe III</b>	Terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau severo para uso agrícola intensivo; são terras cultiváveis, mas apresentam problemas complexos de conservação.
<b>Classe IV</b>	Terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em graus muito severos se usados para cultivos intensivos; devem ser apenas cultiváveis ocasionalmente ou com extensão limitada, com a escolha de exploração adequadas.
<b>Classe V</b>	Terras sem ou com pequeno risco de degradação pela erosão, mas com outras limitações não possíveis de serem removidas e que podem fazer com que seu uso seja limitado apenas para pastagens, reflorestamentos ou vida silvestre.
<b>Classe VI</b>	Terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau severo, que fazem com que possam ser usadas somente para pastagens e/ou reflorestamento, ou ainda, em casos especiais, com certas culturas permanentes protetoras do solo.
<b>Classe VII</b>	Terras com limitações permanentes e/ou risco de degradação em grau muito severo, mesmo quando usadas para pastagens e/ou reflorestamento, que devem no caso, ser manejadas com extremo cuidado.
<b>Classe VIII</b>	Terras impróprias para culturas, pastagens ou reflorestamentos, por isso devem ser destinadas ao abrigo e à proteção da fauna e flora silvestre, aos ambientes de recreação protegidos, bem como para armazenamento de água.
<b>Subclasses de Capacidade de Uso</b>	
<b>e – relevo</b>	Limitações relativas ao relevo, com restrições principalmente associadas ao declive acentuado e a presença de erosão e/ou de risco potencial.
<b>s – solo</b>	Limitações relativas ao solo, com restrições associadas a baixa profundidade e a textura do solo.
<b>a – água</b>	Limitações relativas a água, com restrições associadas a presença de hidromorfismo, risco de inundação e lençol freático elevado.
<b>c – clima</b>	Limitações relativas ao clima, com restrições associadas a áreas com seca prolongada ou risco de geada, granizo e neve.

A carta de capacidade de uso, com espacialização das classes e subclasses, foi desenvolvida com o auxílio do *software* ArcGis 9.3.



### 2.1.3 Análise de Integral Hipsométrica

A análise de integral hipsométrica foi desenvolvida em nove sub-bacias hidrográficas que correspondem, em termos altimétricos, aos setores superior, médio e inferior da BP3. Em cada setor, foram escolhidas três sub-bacias consideradas representativas.

Para avaliação dos valores das integrais hipsométricas, foram utilizadas cartas topográficas digitalizadas, em escala 1:50.000, fornecidas ITCG (2013). As cartas foram georreferenciadas e importadas para o *software* Global Mapper 15.1, no qual foram delimitados os divisores de água das sub-bacias e calculados os valores de área e altitude das cotas altimétricas. Os valores permitiram a elaboração das curvas hipsométricas normalizadas e, a partir delas, o cálculo dos valores da integral hipsométrica ( $H_i$ ) e integral de erosão ( $E_i$ ).

A curva hipsométrica (Figura 3) é a representação gráfica da variação de altitude da bacia, em relação à área, tendo como referência um plano horizontal arbitrário. A integral hipsométrica ( $H_i$ ) é um valor adimensional, obtida a partir de curvas hipsométricas normalizadas (CHN). Essas últimas são confeccionadas para cada sub-bacia com a plotagem dos dados da área relativa ( $a/A$ ) no eixo  $x$  e os dados da elevação relativa ( $h/H$ ) no eixo  $y$ . O valor de  $a$  representa a área entre duas curvas de nível consecutivas e  $A$  constitui a área total da bacia, enquanto que  $h$  representa a amplitude altimétrica entre as curvas e  $H$  a amplitude altimétrica total da bacia (STRAHLER, 1952; SCHUMM, 1956).

O índice da integral hipsométrica ( $H_i$ ) é calculado mensurando a área formada abaixo da curva normalizada. Pela proposta de Strahler (1952),  $H_i$  representa o volume de materiais que pode ser erodido na bacia tendo como nível referencial a cota da foz, enquanto  $E_i$  (integral de erosão) é constituído pelo campo localizado acima da curva e representa a porção já erodida da bacia. Os valores de  $H_i$  e  $E_i$  são complementares e a soma de ambos deve totalizar o valor da unidade.

No presente trabalho, os cálculos de área e altitude relativa, assim como os gráficos das curvas hipsométricas normalizadas foram elaborados com o uso do *software* Excel 2010, enquanto os valores de  $H_i$  e  $E_i$ , da área do gráfico de curva hipsométrica foram quantificados de forma manual por meio do método da quadrícula.

Baseado nos valores de  $H_i$ , Strahler (1952) definiu três estágios evolutivos do relevo. Curvas convexas com valores de  $H_i > 0,60$  representam terrenos pouco rebaixados, com atuação menor da denudação. Na situação oposta, curvas côncavas e com valores de  $H_i < 0,40$  sugerem terrenos rebaixados e que sofreram denudação mais intensa. Além das duas categorias citadas, Strahler (1952) definiu um grupo intermediário denominado de maduro, caracterizado por

curvas quase retilíneas ou em forma de “S” com valores de  $H_i$  variando entre 0,40 e 0,60 (Figura 3).

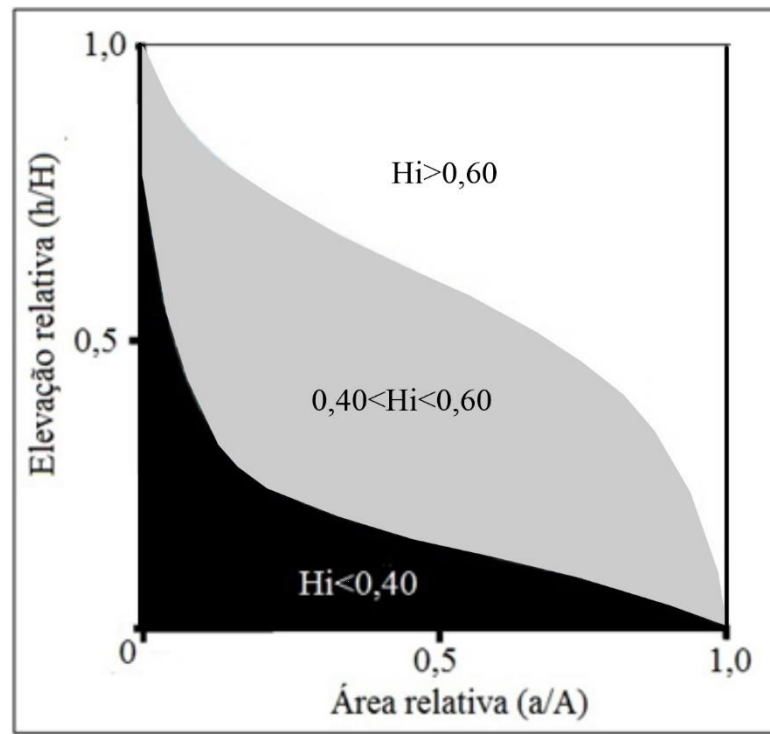


Figura 3: Modelos representativos de curvas hipsométricas normalizadas. Fonte: modificado de Ohmori (1993).

## 2.2 ATIVIDADES DE CAMPO

As atividades de campo foram determinadas e guiadas pela análise prévia de documentos cartográficos levantados e produzidos em gabinete. Tomando como base os limites das unidades de paisagem, juntamente com as cartas de hipsometria, declividade, curvatura vertical, solos e uso da terra, foram realizados trabalhos de campo visando o reconhecimento das vertentes características e dos seus sistemas pedológicos predominantes. Na sequência, foram realizados os trabalhos de levantamento, descrição e coleta de dados e amostras ao longo da vertente característica (topossequência) selecionada. Esses trabalhos de campo sobre a vertente característica foram desenvolvidos em duas etapas: a primeira, contemplando a análise bidimensional da cobertura pedológica (levantamentos topográficos e pedológicos) e a segunda, envolvendo as análises hídricas do solo (velocidade de infiltração e condutividade hidráulica).

### 2.2.1 Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica

Para o reconhecimento e estudo dos sistemas pedológicos foram empregados os preceitos teórico-metodológicos da Análise Estrutural, privilegiando particularmente a análise bidimensional da cobertura pedológica, descrita em Boulet *et al.* (1982a). Nessa etapa, nas três unidades de paisagem (Cascavel, São Francisco e Foz do Iguaçu), foram realizados levantamentos de topossequências de solo (uma em cada unidade de paisagem), contemplando os procedimentos apresentados a seguir:

- Levantamento do perfil topográfico - a localização dos setores representativos para elaboração dos perfis topográficos foi inicialmente determinada na etapa anterior, envolvendo a análise das cartas temáticas e o reconhecimento em campo em cada unidade de paisagem. O processo de seleção empregou critérios topográficos, morfológicos, cobertura pedológica e uso atual das terras. Dessa forma, foram selecionados eixos topográficos típicos (transectos), capazes de evidenciar a forma da vertente e a organização da cobertura pedológica com as suas variações verticais e laterais – definição da topossequência. O levantamento, com o emprego de clinômetro, metro e trena, possibilitou a elaboração do perfil topográfico dos eixos considerados representativos, levando em consideração as características morfopedológicas;

- Levantamento pedológico - o levantamento prévio da cobertura pedológica, do topo ao sopé das topossequências, foi executado através de sondagens, utilizando-se o trado holandês e efetuando-se coletas de amostras a cada 10 cm de profundidade e organizando-as em pedocomparadores. Para a análise detalhada das topossequências foram abertas um total de 9 trincheiras. As trincheiras foram distribuídas em função dos segmentos da vertente das principais transições, verticais e laterais, verificadas no levantamento pedológico. Na sequência foram realizadas descrições macromorfológicas (cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, atividade biológica, feições pedológicas e transição) nos horizontes pedológicos e coletadas um total de 75 amostras deformadas e indeformadas para a realização de análises físicas e químicas, seguindo as recomendações de Santos *et al.* (2005).

### 2.2.2 Análises Hídricas do Solo

A avaliação do comportamento hídrico do solo consistiu na determinação da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica. Essas análises foram realizadas *in situ*, junto aos perfis de solos descritos nas trincheiras abertas ao longo das topossequências analisadas na etapa anterior.

Inicialmente, foram realizadas perfurações com o trado holandês, considerando a profundidade central dos horizontes descritos na trincheira. Na profundidade central de cada horizonte foram realizadas três medições sequenciais, visando a avaliação da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica dos volumes pedológicos. As análises foram desenvolvidas com o uso do permeômetro de Guelph (Figura 4), a partir da aplicação de uma carga hidráulica e o uso do reservatório combinado, conforme proposto por Elrick et al. (1989).

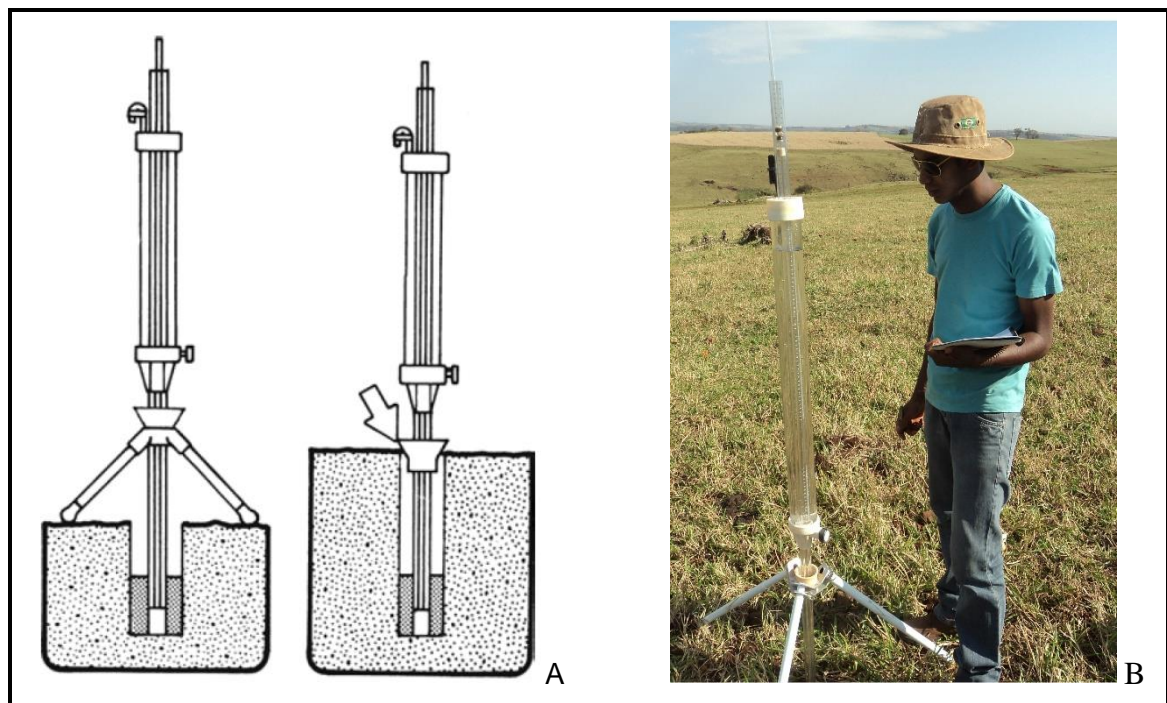


Figura 4. Avaliação da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica do solo: A – perfil esquemático do Permeômetro de Guelph (*Soilmoisture, 2012*), B – Avaliação *in situ*.

A determinação da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica do solo ocorreu com a aplicação de uma carga constante de água ( $h$ ), em um furo de sondagem com raio determinado ( $a$ ); com medições em intervalos de tempo ( $t$ ) do volume de água que se infiltra no solo ( $R$ ), e que passa pela seção transversal (área) do tubo acrílico graduado do permeômetro (A).

Para o cálculo da velocidade de infiltração foi utilizada a equação 2:

$$V_i = \frac{h_1 - h_2}{t_1 - t_2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:  $V_i$  = Velocidade de infiltração (mm/h);  
 $h_1$  = altura inicial da lâmina d'água (cm);  
 $h_2$  = altura da lâmina d'água (cm) no  $t_2$ ;  
 $t_1$  = tempo inicial (min), na  $h_1$ ;  
 $t_2$  = tempo decorrido (min).

Para o cálculo da condutividade hidráulica foram utilizadas as equações (3) e (4):

$$Q = R \times A \quad \text{Equação 3}$$

Onde:  $Q$  = vazão do regime permanente;  
 $R$  = razão da vazão constante obtida durante os ensaios;  
 $A$  = área do reservatório do permeâmetro utilizado.

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + \frac{2\pi h}{\alpha})} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:  $K_{fs}$  = condutividade hidráulica saturada;  
 $C$  = parâmetro fator de forma, que depende da relação  $H/a$  e das características do solo;  
 $H$  = altura da carga hidráulica aplicada em campo (cm);  
 $a$  = diâmetro do furo da sondagem aberta pelo trado no solo (cm);  
 $\alpha$  = parâmetro obtido pela avaliação *in situ* da macroporosidade e textura do solo (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de  $\alpha$  sugeridos para os solos de acordo com sua macroporosidade e textura.

$\alpha$ (cm-1)	Tipo de Solo
0,01	Argilas compactas (aterros, <i>liners</i> , sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras
0,12	Argilas até areias finas com alta e moderada quantidade de macroporos e fissuras
0,36	Areia Grossa e solos com macroporos e fissuras

Fonte: ELRICK et al. (1989).

## 2.3 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As atividades laboratoriais contemplaram a realização das análises físicas e químicas das amostras dos horizontes pedológicos, coletadas nas trincheiras dispostas ao longo das topossequências.

### 2.3.1 Análises Físicas

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon. As análises de densidade de solo e de partículas e da determinação da porosidade total foram executadas no Laboratório de Solos da UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. A execução das análises seguiu os métodos e procedimentos do Manual de Métodos e Análise de Solo (EMBRAPA, 1997):

- Determinação da granulometria: método do densímetro de BOUYOUCOS;
- Determinação da densidade do solo: método do anel volumétrico;
- Determinação da densidade de partículas: método do balão volumétrico e álcool etílico;
- Determinação da porosidade total calculada: obtido com os dados de densidade do solo ( $D_s$ ) e de partículas ( $D_p$ ).

### 2.3.2 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon. Os procedimentos adotados para as análises químicas de rotina, basearam-se nos métodos e técnicas de análises propostos pela EMBRAPA (1997).

- Determinação do fósforo e do potássio: utilizando a solução extratora de Mehlich;
- Determinação do alumínio, cálcio e magnésio: utilizando a solução de KCl 1N;
- Determinação do carbono: método Walkley-Black;
- Determinação do pH (água e Cloreto de cálcio).

### CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA SOCIOECONÔMICA E GEOECOLÓGICA DA BACIA DO PARANÁ 3

A bacia hidrográfica do Paraná 3 (BP3) localiza-se na mesorregião Oeste do Estado do Paraná, entre as latitudes 24°01' S e 25°35' S e longitudes 53°26' W e 54°37' W, abrangendo uma área de aproximadamente 8.000 km<sup>2</sup> que abriga, de modo parcial ou total, os territórios de 28 municípios (Figura 5).

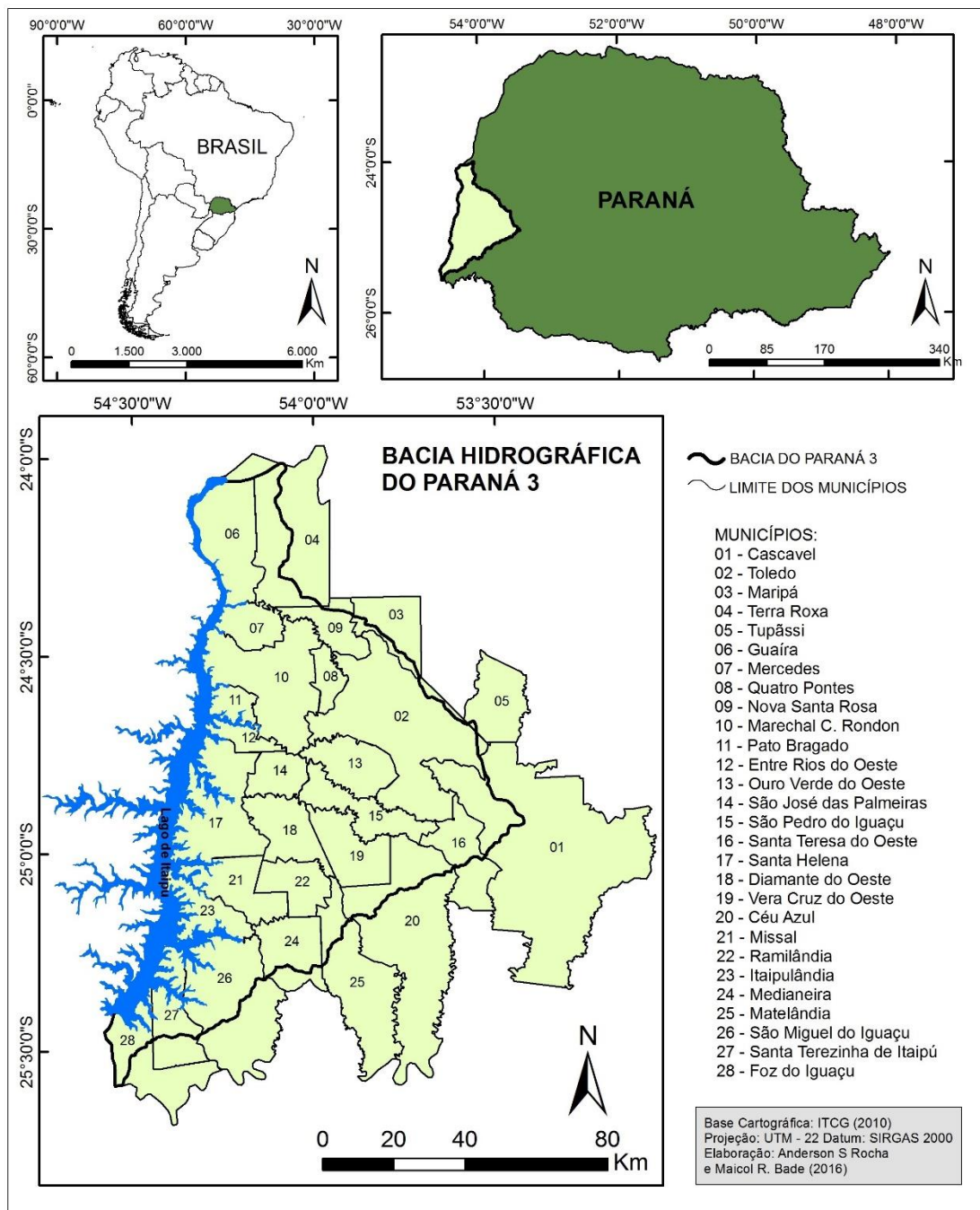


Figura 5: Localização da área de estudo: bacia hidrográfica do Paraná 3.

A área denominada como BP3 representa uma das doze unidades hidrográficas do Estado do Paraná, delimitadas pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, com o objetivo de gestão, monitoramento e planejamento ambiental. As unidades hidrográficas foram instituídas pela Resolução Nº 49/2006/CERH (SEMA, 2006).

As unidades de paisagem delimitadas no interior da unidade hidrográfica do Paraná 3 foram identificadas, inicialmente, a partir de variações na estrutura geocológica. Entretanto, ao longo do processo de ocupação e povoamento dessa área, várias outras interferências de cunho social, econômico, cultural e religioso foram adicionadas, produzindo alterações e novos padrões fisionômicos e de funcionamento para essa paisagem. Nesse aspecto, os diversos ciclos históricos que ocorreram no Oeste do Paraná são componentes importantes para explicar as transformações da paisagem ao longo do tempo e a sua composição e condição atual.

### 3.1 PROCESSOS HISTÓRICOS NA BACIA DO PARANÁ 3

As condições geoambientais da unidade hidrográfica do Paraná 3 encontram-se intensamente relacionadas aos diferentes momentos históricos vivenciados no contexto do Oeste paranaense. Esses distintos momentos representam, também, a evolução dos diferentes ciclos que permitem compreender e contextualizar a atual organização socioeconômica e socioambiental do espaço em análise.

Trabalhos que retratam a evolução histórica regional (MAGALHÃES, 1996; PFLUCK, 2002; LIMA, 2006; GREGORY, 2007; PRIORI et al., 2012; BECKER; CARVALHAL, 2012) demonstram que os momentos histórico-econômicos mais importantes ocorreram a partir da década de 1940 (início do processo de colonização), gerando uma sucessão de fases marcadas por transformações significativas nas formas de produção desse espaço, que se refletem na evolução e organização da paisagem. A análise do material bibliográfico permite identificar 3 grandes períodos representativos em termos de alterações estruturais, históricas, econômica, social e mesmo ambiental da região:

- Primeiro período (1940 – 1960) – Colonização e expansão das frentes agrícolas;
- Segundo período (1960 – 1980) – Tecnificação da agricultura e urbanização;
- Terceiro período (1980 – 2010) – Expansão urbana e agroindustrial.



O primeiro momento compreende o efetivo processo de colonização e expansão das frentes agrícolas dos principais municípios inseridos na bacia, que remonta às décadas de 1940 e 1960, e desencadeou-se na região a partir do mais consolidado sistema de colonização: a implementação de empresas colonizadoras. Esse processo ocorreu após as fases de ocupação primitivas, inicialmente desencadeadas pelos indígenas e pelas missões jesuíticas, seguida do sistema de ocupação obrageiro:

O processo da ocupação da região Oeste ocorreu em quatro etapas. A primeira, e mais antiga, decorre da ocupação pelos índios que se espalhavam também por todo o território do continente sul-americano. A segunda fase corresponde à atuação e presença dos padres jesuítas espanhóis que desenvolveram várias reduções (missões) pelo território. Esses aldeamentos indígenas, apesar de destruídos na primeira metade do século XVII pelos bandeirantes paulistas, conservaram forte a presença espanhola na região. A terceira etapa data do período entre 1881 e 1930, que corresponde à introdução do sistema das Obrages, entre Foz do Iguaçu e Guaíra, cujo objetivo principal era a exploração extrativista da erva-mate e da madeira. Por último, a quarta fase ou a etapa recente aconteceu principalmente pela atuação das empresas colonizadoras que efetivaram a colonização moderna do Oeste paranaense. (PRIORI et al., 2012, p. 75-76).

Assim, após a denominada “Marcha para o Oeste”, idealizada pelo Governo Vargas, com intuito político territorial de brasileiro o Oeste paranaense, começa a chegada de companhias colonizadoras, assim como a dos gaúchos e catarinenses, instalando-se articulações voltadas à colonização e à expansão de frentes agrícolas (MAGALHÃES, 1996; GREGORY, 2007).

Dentre as empresas que atuaram no Oeste do Estado, merecem destaque as companhias Industrial Madeireira e Colonizadora Rio Paraná Ltda. (Maripá), Pinho e Terras Ltda., Industrial Agrícola Bento Gonçalves, Colonizadora Gaúcha Ltda., Colonizadora Matelândia, Colonizadora Criciúma, Sociedade Colonizadora União D'Oeste Ltda. e Colonizadora Norte do Paraná (PRIORI et al., 2012).

Conforme destaca Magalhães (1996), a partir da década de 1940, as empresas colonizadoras foram responsáveis pela venda e distribuição de terras, inicialmente divididas em pequenas propriedades. Essas propriedades foram destinadas a um grande contingente de produtores gaúchos e catarinenses, bem como fluxos expressivos provenientes do Norte paranaense, complementando o intenso povoamento do Oeste do território estadual.

Nesse processo, foi estabelecido um grande número de propriedades rurais, sustentadas por atividades agrícolas e pecuárias de caráter mercantil e de subsistência, caracterizando a efetiva ocupação regional entre as décadas de 1950 e 1960. Conforme ressalta Priori et al., (2012), a organização fundiária particularmente fomentada pela colonizadora Maripá

privilegiou a venda das terras em pequenas propriedades, com tamanho aproximado entre 10 alqueires (24 ha), visando com que cada propriedade tivesse acesso a um curso d'água.

Esse contexto apresentou, do ponto de vista econômico e ambiental, a efetiva colonização resultante do aproveitamento de um espaço predominantemente propício à atividade agropecuária, em virtude do solo “fértil” e relevo dominante suave ondulado. Em contrapartida, fomentou as primeiras alterações na paisagem, promovidas pelo intenso desmatamento e degradação dos fundos de vale, conforme demonstram as pesquisas de Pfluck (2002), Moresco (2007) e Rocha (2011).

De acordo com as informações e dados colhidos em diversos documentos (IPARDES, 2015; IBGE, 2015; PRIORI et al., 2012), verifica-se que, concomitante à instalação e à expansão agrícola, inicia-se a formação dos primeiros núcleos urbanos. A partir da década de 1950, os primeiros núcleos urbanos começam a concentrar uma importante parcela da população, favorecendo um conjunto de emancipações, sobretudo ao longo das últimas cinco décadas do século XX (Figura 6).

O primeiro município emancipado oficialmente foi o de Foz do Iguaçu, em 1914, resultante do desmembramento de Guarapuava. Sequencialmente, na década de 1950, foram instalados os municípios de Guaíra, Cascavel e Toledo, todos desmembrados de Foz do Iguaçu. Nas décadas seguintes, sobretudo entre 1960 e 1990, foram desmembrados os demais municípios pertencentes à BP3.

Conforme mostra a figura 6, a fragmentação dos municípios ocorrida entre 1961 e 1970, possibilitou a instalação de sete novos municípios (Céu Azul, Marechal Cândido Rondon, Matelândia, Medianeira, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Terra Roxa). Nesse período, a maior parte da população regional ainda residia na área rural.

Nas décadas seguintes, ocorre uma forte migração populacional do campo para a cidade e os aglomerados urbanos começam a comportar maior porcentual populacional. Nesse contexto, entre 1971 e 1990, são emancipados outros nove municípios (Nova Santa Rosa, Ouro Verde do Oeste, Diamante do Oeste, Missal, Santa Terezinha de Itaipu, São José da Palmeiras e Vera Cruz do Oeste, Santa Tereza do Oeste e Tupãssi), seguidos da formação de mais oito novos municípios (Maripá, Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Mercedes, Pato Bragado, Quatro Pontes, Ramilândia e São Pedro do Iguaçu), na década de 1990.

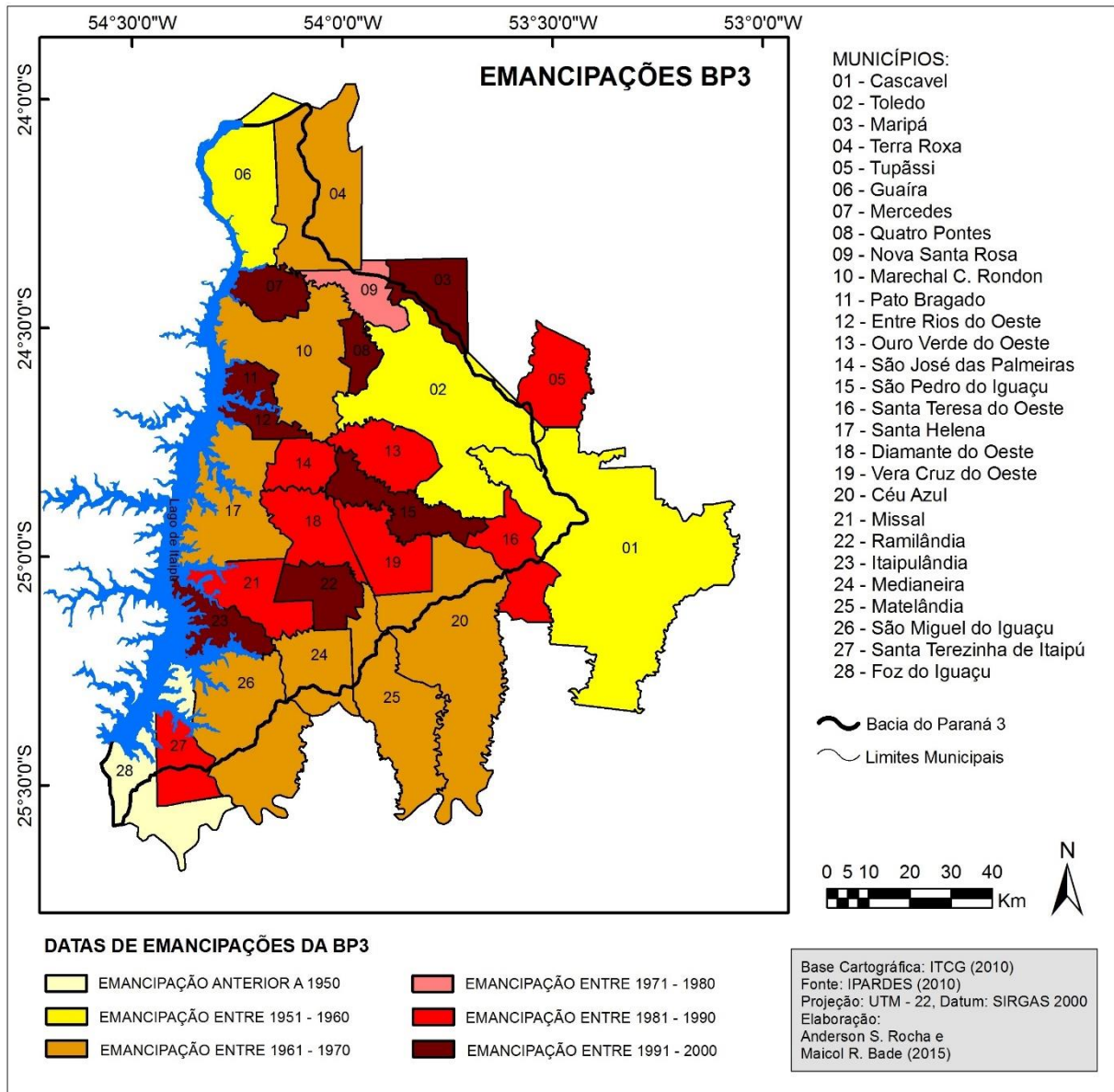


Figura 6. Evolução da emancipação dos municípios da BP3.

O grande número de emancipações ocorridas no cenário da BP3, especialmente entre as décadas de 1960 e 1980, caracteriza a transição de um sistema histórico-econômico e, ao mesmo tempo, cultural e ambiental, que retrata o período representado por dois grandes fenômenos: a tecnificação da agricultura e o intenso processo de urbanização.

Esses fenômenos, que enfatizam um segundo período histórico-econômico do Oeste paranaense, inicialmente foram fomentados pela modernização da agricultura que resultou do denominado “êxodo rural” regional (GREGORY, 2007). Nos anos 1950 e 1960, implementou-se, no Oeste do Paraná, uma modernização conservadora na agricultura, caracterizada pelo avanço da mecanização, pelo uso mais intenso de maquinários e implementos agrícolas. Nesse processo, a agricultura de subsistência vinculada a um mercado mais próximo dos colonos

começou a ceder lugar a empresas rurais capitalistas (GREGORY, 2007). Durante o processo de modernização, ocorreu um forte incentivo governamental à monocultura, inicialmente destinada à exportação do trigo e da soja e, posteriormente, do milho, em detrimento à policultura de subsistência. Dessa forma, a modernização da agricultura provocou a perda de autonomia e descapitalização dos pequenos agricultores, favorecendo a concentração de terras por alguns agricultores mais abastados (PFLUCK, 2002).

Conforme afirma Gregory (2007), a modernização da agricultura, nos moldes das inovações tecnológicas baseadas na Revolução Verde, repercutiu significativamente no conjunto de relações sociais, na cultura e na produção agropecuária. Essas novas relações foram responsáveis por um conjunto de transformações espaciais no Oeste do Paraná, com reflexos na estrutura fundiária.

As mudanças na estrutura fundiária regional podem ser primeiramente observadas pela diminuição do número de propriedades rurais. Conforme demonstram os dados dos Censos do IBGE, entre 1970 e 1995/1996, o número de estabelecimentos rurais dos municípios inseridos na mesorregião Oeste sofreu uma redução de aproximadamente 34%, passando de 83.216 em 1970, para 54.773 em 1995/1996 (IPARDES, 2008).

Nesse sentido, a modernização aliada a outros fatores resultou na concentração de terras e fomentou o processo emigratório rural, levando um grande contingente populacional à cidade. A evolução do crescimento populacional urbano dos municípios da BP3 pode ser visualizada na figura 7, que caracteriza o expressivo e contínuo aumento na população urbana em detrimento da população rural, a partir da década de 1970.

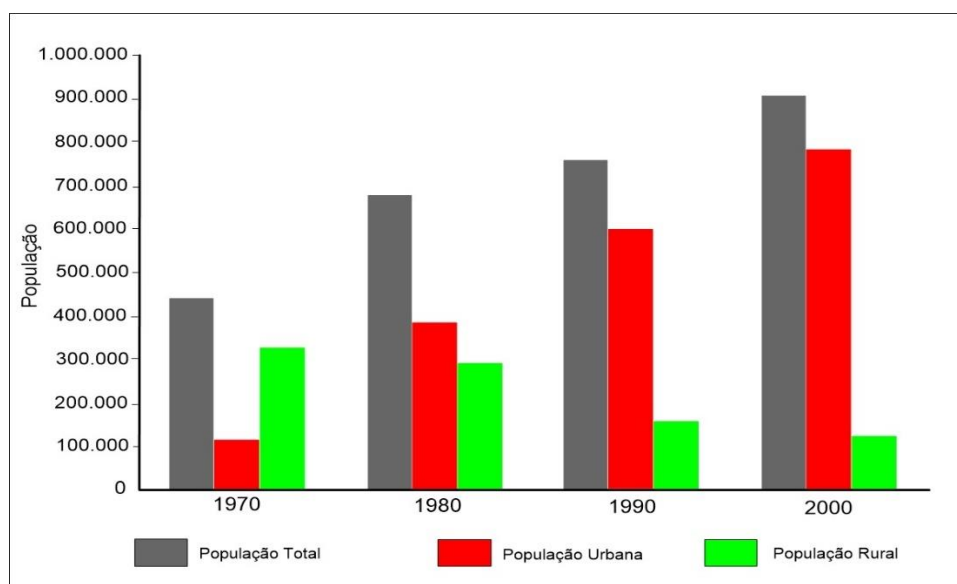


Figura 7: Evolução populacional entre as décadas de 1970 e 2000 dos municípios da BP3. Fonte: Adaptado de Fabris et al. (2011).

O adensamento de algumas cidades começa a consolidar espaços de convivência urbana, significando a possibilidade de expansão do capital, por meio de um setor de comércio e serviços voltado às atividades agropecuárias e à possibilidade de consumo de bens duráveis por parte da população rural, que começa a experimentar os primeiros frutos de um período que seria conhecido mais adiante como “milagre econômico”. Nesse período, algumas poucas cidades tornam-se referência para as relações comerciais que a agropecuária necessitava para estabelecer seu vínculo com o mercado nacional/ internacional e, ao mesmo tempo, tornar-se o local de implantação das agroindústrias emergentes (IPARDES, 2008).

Nesse processo, a consolidação da urbanização, além de estar associada à modernização da agricultura e à implementação das primeiras indústrias, também esteve fortemente relacionada à construção da hidrelétrica e formação do lago de Itaipu.

A hidrelétrica de Itaipu, localizada no leito do rio Paraná na fronteira do Brasil e Paraguai, entre as cidades de Foz do Iguaçu e Ciudad Del Este, apresenta como marco principal as décadas de 1970 e 1980. Conforme destaca Lima (2006), o período de construção da hidrelétrica de Itaipu, desde os trabalhos preliminares de preparação do local e construção da primeira unidade geradora, foi de oito anos, de 1975 a 1983.

A Usina constitui a maior e mais importante unidade geradora de energia elétrica do país, atendendo cerca de 25% do consumo nacional. As instalações de Itaipu compreendem um conjunto de barragens principais e laterais, com um comprimento total de 7.760 m ao longo do rio Paraná, contemplando um reservatório que cobre uma área de nível máximo de 1.460 km<sup>2</sup>, sendo 835 km<sup>2</sup> em território brasileiro e 625 km<sup>2</sup> no território Paraguai, somando o total de 170 km de extensão (LIMA, 2006).

A construção de Itaipu foi responsável por uma série de transformações diretas e indiretas para o contexto regional. Essas transformações trouxeram impactos de ordem ambiental, econômica, social, cultural.

Entre as principais alterações de ordem ambiental estão a formação do reservatório de Itaipu, a qual promoveu o alagamento do Saltos de Sete Quedas, no município de Guaíra, e a inundação marginal, que afeta 16 municípios limieiros situados nas proximidades do rio Paraná. Essas inundações promoveram ainda, entre outros aspectos, a alteração na dinâmica hídrica do rio Paraná e seus tributários, nos setores baixos dos seus cursos, e a inundação de uma significativa área de vegetação nativa, como se constatou nos levantamentos de campo, mapas e imagens fotográficas (Figura 8).



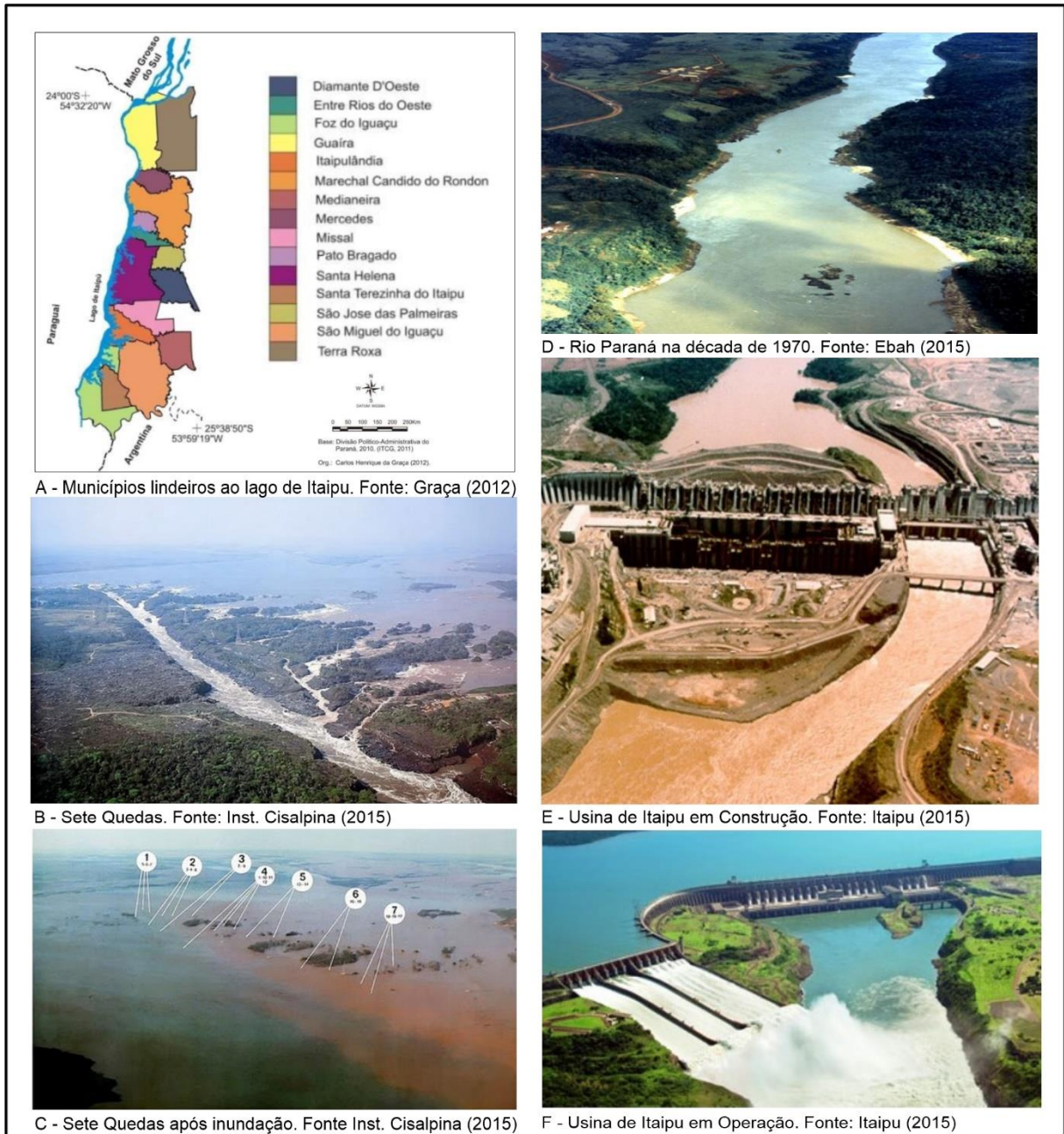


Figura 8: A - Municípios lindeiros ao lago de Itaipu; B - Sete Quedas; C – Sete Quedas após inundação; D – Rio Paraná na Década de 1970; E – Usina de Itaipu em Construção; F - Usina de Itaipu em Operação.

No tocante aos aspectos econômico, social e cultural, destacaram-se os embates decorrentes da própria construção da usina, como aponta Lima (2006), que promoveu inicialmente o crescimento populacional desordenado da cidade de Foz do Iguaçu, a destruturação do sistema turístico da cidade de Guaíra e a desapropriação dos agricultores residentes na área susceptível ao alagamento. Essas transformações afetaram principalmente o modo de vida da população lindeira, seja no contexto rural, a exemplo dos agricultores indenizados que tiveram que migrar para a cidade e para novas frentes agrícolas, ou mesmo no

contexto urbano, considerando a problemática das aplicações decorrentes dos investimentos dos *royalties* de Itaipu (receita repassada pela Itaipu aos municípios, como sistema de compensação pelo alagamento).

Vale ressaltar que, após a formação do Lago de Itaipu e principalmente nas últimas três décadas, o conjunto de fatores associados (expropriação de agricultores lindeiros, tecnificação da agricultura, migração populacional do campo para a cidade) desencadearam a expansão urbana, geralmente desordenada, e o crescimento agroindustrial na área de abrangência da BP3.

Com isso, a maioria dos municípios apresentaram aumentos da urbanização no período de 1996 a 2007. A partir do ano de 2007, de acordo com Fabris et al., (2012) os municípios com maiores taxas de urbanização foram Foz do Iguaçu, Cascavel e Toledo, com 99,30%, 94,20% e 89,76% respectivamente. Para os autores, esses municípios se consolidaram como os mais urbanizados na região, refletindo suas posições de maiores centros populacionais e econômicos. Por outro lado, existem três municípios em que a maior parte da população reside no meio rural, ou seja, o grau de urbanização é inferior a 50%, sendo eles: Diamante do Oeste, Santa Helena e Mercedes.

Nas últimas décadas do século XX e no início do século XXI, a grande concentração urbana, associada à produção de *commodities* no meio rural, promoveu um forte crescimento do setor agroindustrial. Esse processo de formação agroindustrial teve início na década de 1980 e despontou nas duas décadas seguintes como resultado do investimento no setor secundário, especialmente por parte de uma série de cooperativas regionais. Entre as cooperativas destacam-se a Cooperativa Copagrill, com sede em Marechal Cândido Rondon, a Lar e a Frimesa, em Medianeira, a Cooperlac e a BRF Sadia em Toledo e a Coopavel em Cascavel.

Assim, o último grande período histórico-econômico da região é caracterizado pelo crescimento agroindustrial, sobretudo voltado ao setor alimentício, ocorrido nas últimas décadas do século XX, conforme demonstra Becker e Carvalhal (2012), bem como pelo elevado crescimento urbano, evidenciado nas pesquisas de Fabris *et al.* (2011) e Casagrande (2014).

Os três processos históricos abordados mantiveram relação direta com a apropriação dos recursos da natureza, com conseqüente transformação da paisagem na área de abrangência da BP3. O primeiro período, entre 1940 e 1960, marca o início do processo de alteração com intenso desmatamento das áreas de vegetação nativa e o segundo e terceiro períodos, entre 1960 e 1980 e 1980 e 2012, respectivamente, demonstram a intensificação da utilização dos recursos naturais (solo e água). Essa apropriação, posteriormente, colaborou com a intensificação de problemas ambientais como a erosão, contaminação e apropriação de áreas de maior fragilidade

ambiental, como os fundos de vale e as cabeceiras de drenagem, conforme demonstra o estudo de Rocha (2011).

De modo geral, os três processos histórico-evolutivos elencados apresentam os fundamentos básicos para a compreensão da atual estrutura socioeconômica e da atual dinâmica geocológica da bacia do Paraná 3.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA SOCIOECONÔMICA NA BACIA DO PARANÁ 3

Os municípios inseridos na bacia do Paraná 3 apresentam relevantes disparidades em termos sociais e econômicos. As distinções intermunicipais podem ser observadas por meio de dados socioeconômicos, como o Índice de Desenvolvimento Humano, o Produto Interno Bruto e o Valor de Produção Agropecuária, assim como por meio de dados que demonstram a organização espacial, como a estrutura fundiária municipal.

Do ponto de vista dos indicadores sociais, as principais diferenças estão relacionadas às três dimensões do desenvolvimento humano (renda per capita, educação e saúde), que são consideradas para a obtenção dos índices de IDH. Com base na análise dos índices de IDH fornecidos pelo IPARDES (1991, 2000, 2010), os municípios da BP3 passaram por uma importante evolução: em 1991, todos os 28 municípios apresentavam índices classificados como muito baixos (0 – 0,499) e baixos (0,500-0,599); no ano de 2000, somente 5 municípios foram classificados como baixo, 19 com índices médios (0,600 - 0,699) e 4 com índices altos (0,700 - 0,799). Os dados de 2010, entretanto, revelam transformações ainda mais profundas nesses índices: apenas 4 municípios (São Pedro do Iguaçu, Diamante do Oeste, Vera Cruz do Oeste e Ramilândia) obtiveram índices médios e os demais 24 municípios apresentaram os indicadores de IDH altos (Figura 9).

Segundo os dados do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), embora os índices referentes ao IDH apresentem diferenciação em termos de educação e saúde, as principais ambiguidades dos municípios inseridos na bacia são decorrentes da disparidade em termos de PIB *per capita*.



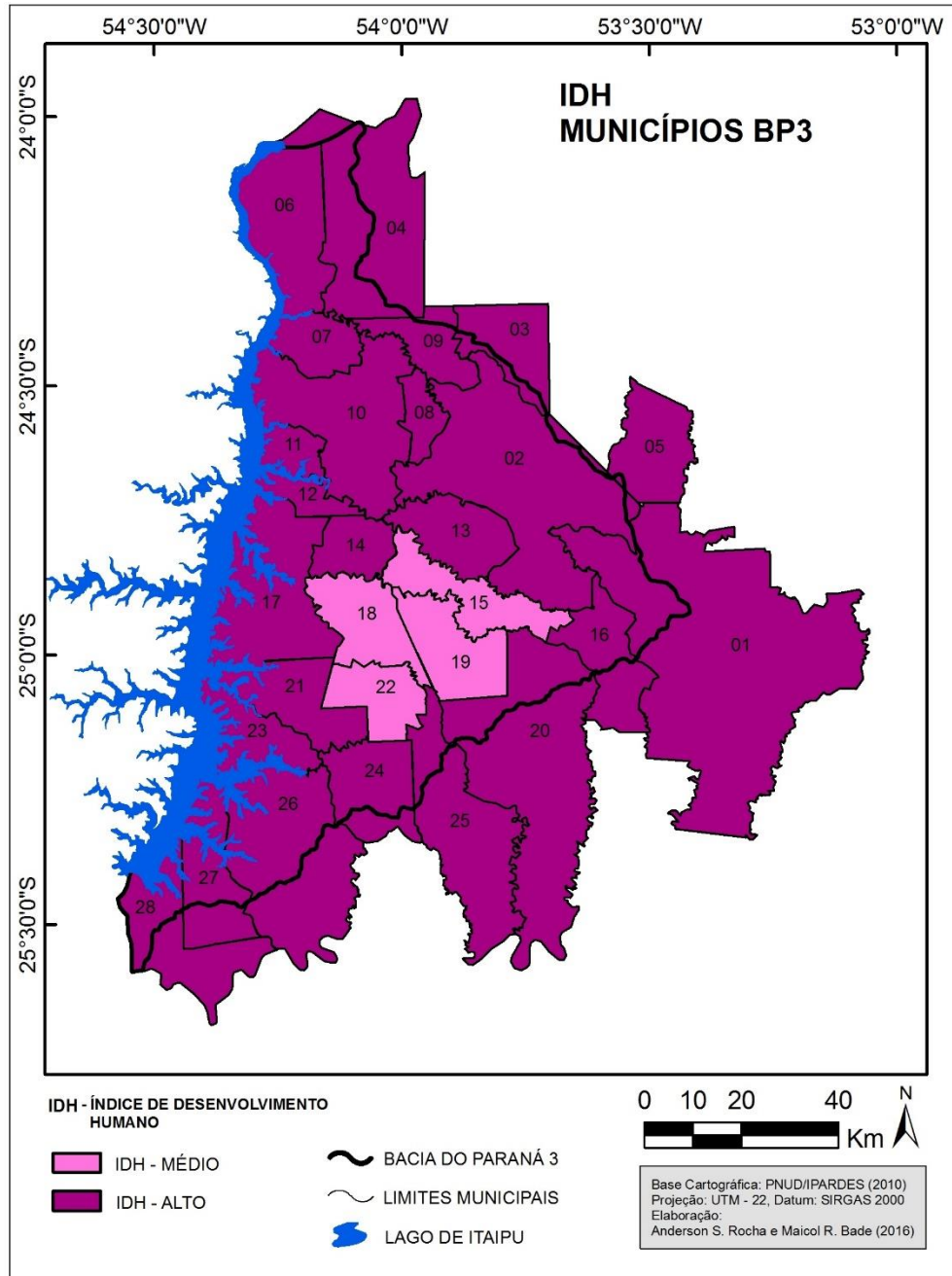


Figura 9: Índice de desenvolvimento humano dos municípios da BP3.

Dentre os 28 municípios inseridos na bacia, observa-se uma concentração, em termos espaciais, em sua área central, onde predominam valores de PIB *per capita* entre R\$11.000,00 e R\$20.000,00, com exceção do município de Diamante do Oeste, que apresenta valor inferior a R\$11.000,00. Nos setores Nordeste, Leste e Sul da bacia verifica-se a concentração dos municípios com os maiores valores de PIB *per capita*, variando entre R\$20.000,00 e R\$40.000 (Figura 10).

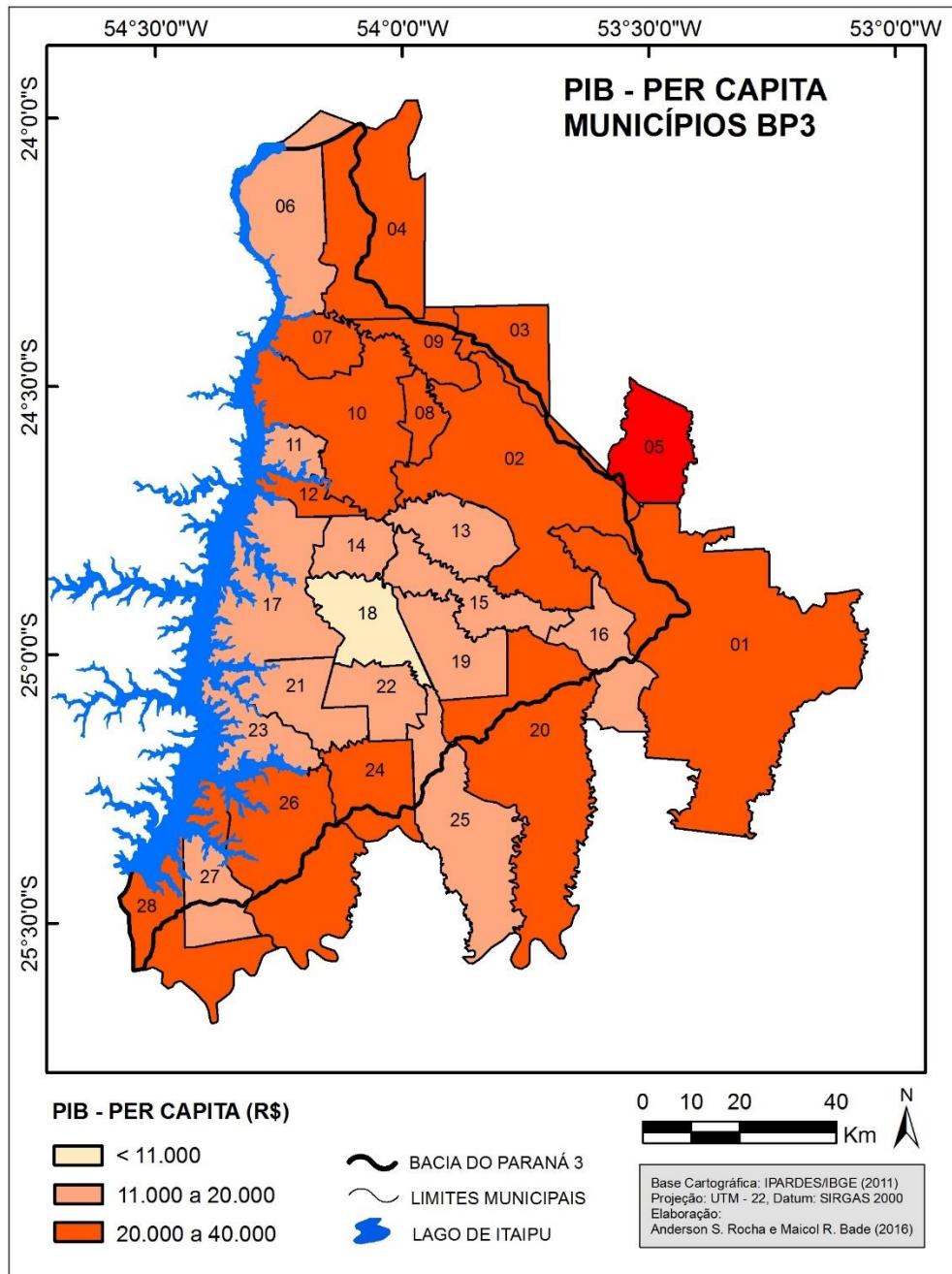


Figura 10: PIB *per capita* dos municípios da BP3.

Os agrupamentos municipais que apresentam alto, médio e baixo PIB *per capita* estão intimamente relacionados aos setores econômicos mais relevantes na conjuntura regional da bacia do Paraná 3. De acordo com os dados do Comitê Gestor da Bacia (2011), as práticas econômicas desenvolvidas nesse espaço estão voltadas ao setor primário e secundário, com uma baixíssima representatividade no âmbito do setor terciário.

Os dois grandes setores econômicos (primário e secundário) compreendem um conjunto de atividades, que no contexto da área de abrangência da bacia, encontram-se associados de forma direta e indireta às atividades agropecuárias. Segundo o Censo Agropecuário do IBGE

(2006), a economia regional engloba basicamente atividades que envolvem o cultivo de culturas temporárias, seguida de cultivos permanentes e pastagem. A alta representatividade do setor agropecuário e sua composição (culturas temporárias, permanentes e pastagens) pode ser caracterizada, também, pela variação espacial dos valores de produção agropecuária (Figura 11).

A participação dos municípios no valor bruto de produção agropecuária do Estado do Paraná apresenta porcentagens que possibilitam compreender a relação entre as atividades agropecuárias, o valor de produção agregado e a concentração do setor secundário, principalmente voltado à agroindústria.

Conforme demonstram os dados do IPARDES e IBGE (2012), os municípios de Cascavel, Toledo, Marechal Cândido Rondon, Santa Helena e São Miguel do Iguaçu apresentam valor de produção que varia entre 0,50 e 2,09% do total de 53 bilhões de reais produzidos em todo o Estado. Esses municípios comportam o maior valor de produção bruta da bacia, com áreas de cultivo temporário geralmente acima de 30.000 hectares, e são responsáveis, também, pela concentração das principais sedes agroindustriais presentes nesse espaço, como as Cooperativas Agroindustriais Copagril (Sede em Marechal Cândido Rondon), a Cooperlac e BRF Sadia (Toledo) e a Coopavel (Sede em Cascavel).

Sequencialmente, apresentam-se os municípios de Santa Teresa, Céu Azul, Matelândia, Medianeira, Missal, Vera Cruz, Tupãssi, Maripá, Nova Santa Rosa, Terra Roxa e Guaíra com valor médio de produção, variando entre 0,25 e 0,50% do total produzido no Estado. Nesses municípios, a agricultura temporária normalmente compreende áreas entre 10.000 e 30.000 hectares, com baixa expressividade das demais culturas e do setor secundário, com exceção de Medianeira que apresenta relevante produtividade do setor industrial (alimentício e agroindustrial), em razão das sedes administrativas e industriais das empresas Lar e Frimesa.

Os municípios com menor valor bruto agregado de produção são Mercedes, Quatro Pontes, Pato Bragado, Entre Rios do Oeste, Ouro Verde, São José, São Pedro, Diamante do Oeste, Ramilândia, Foz do Iguaçu, Santa Terezinha e Itaipulândia (Figura 11). Nos municípios localizados na área central da bacia, evidenciam-se pequenas áreas agrícolas, domínio de pastagem e áreas altamente declivosas, naturalmente improdutivas, onde se encontram as manchas de vegetação florestal (naturais ou plantadas), justificando o baixo valor de produção.

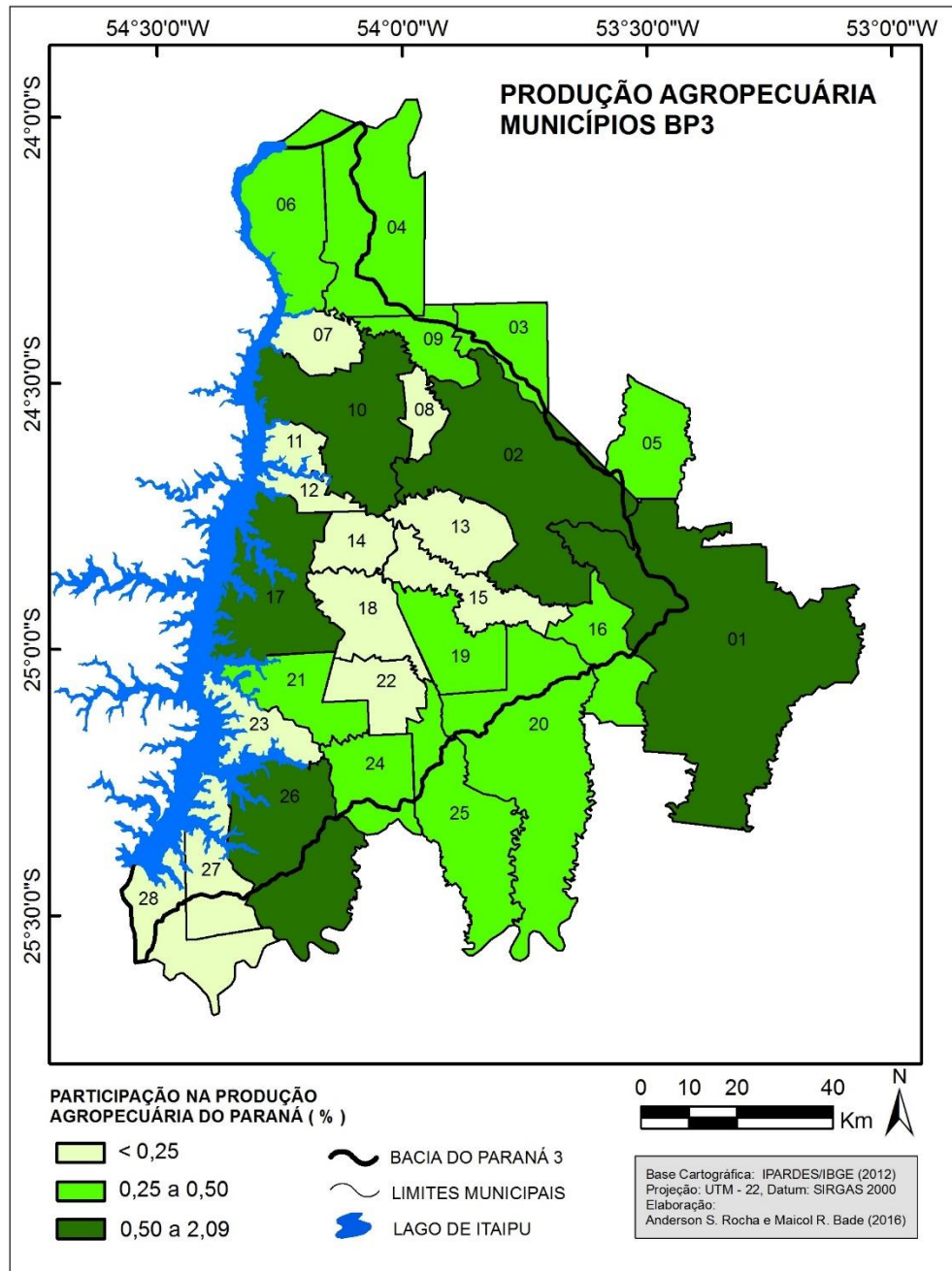


Figura 11. Produção Agropecuária dos municípios da BP3.

Já nos municípios localizados à margem do rio Paraná, a agricultura é mais representativa e as condições naturais são mais favoráveis a essa atividade. No entanto, esses municípios apresentam uma pequena área territorial, elemento motivador dos baixos índices de porcentagem do valor produtivo agropecuário.

No que se refere a estrutura fundiária, identificam-se duas grandes áreas em termos de participação da agricultura familiar e do agronegócio. De acordo com os dados do IPARDES e IBGE (2006), a estrutura fundiária regional nos setores Centro-Oeste e Centro-Sul da bacia apresenta maior participação da agricultura familiar, correspondendo entre 43 e 86% da

produção total, enquanto, nos extremos (Norte e Sul) e na porção Leste, predomina o agronegócio e a agricultura familiar é reduzida, variando a sua participação entre 21,5 e 43% (Figura 12).

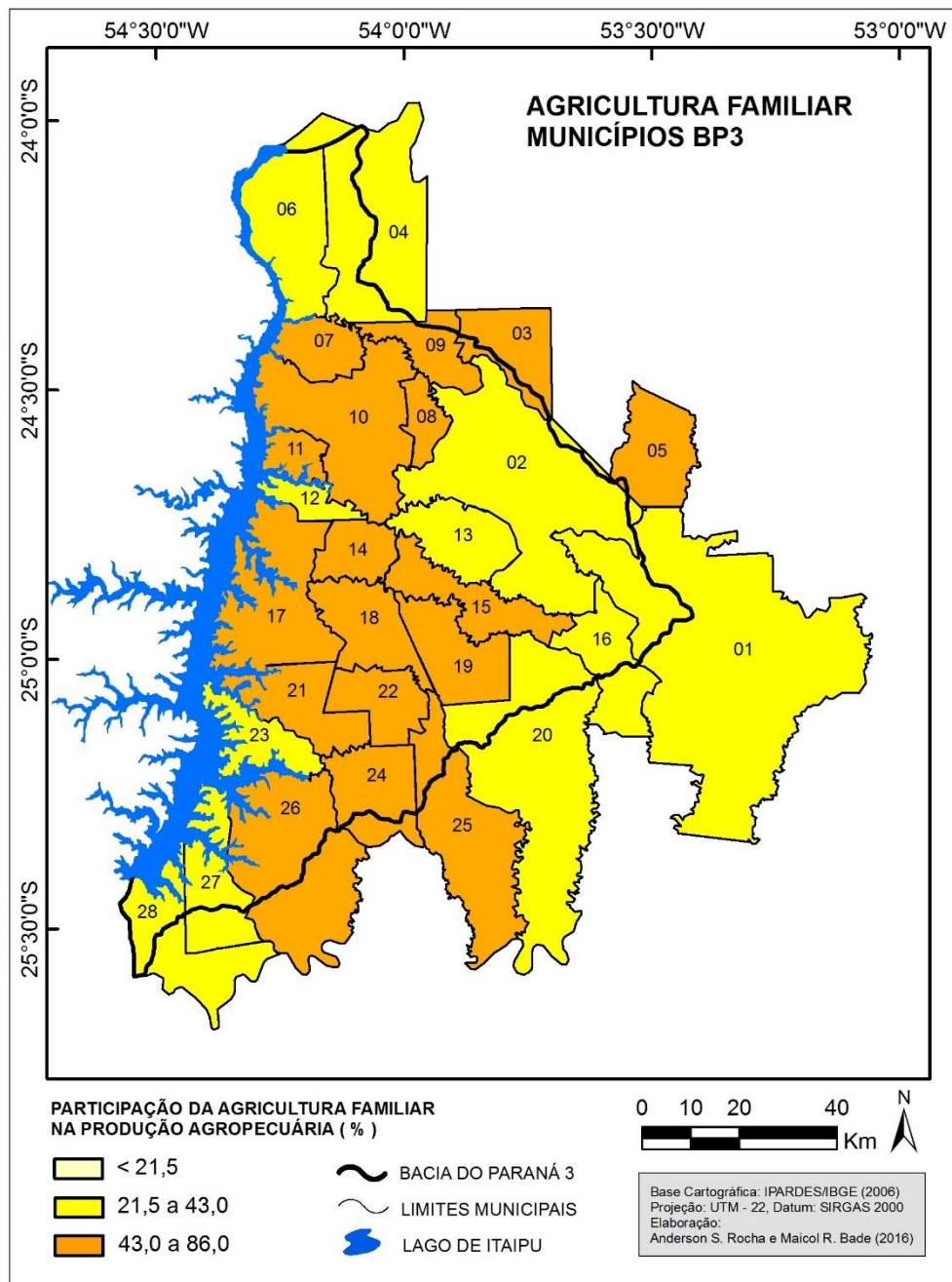


Figura 12. Participação da agricultura familiar frente ao agronegócio na BP3.

De modo geral, a estrutura socioeconômica da BP3, refletida em sua dinâmica agropecuária e agroindustrial, apresenta forte conexão com a estrutura geocológica, já que esta representa, também, a base dos recursos naturais apropriados e transformados pela sociedade e economia local. Assim, tendo em vista as inter-relações existentes entre as atividades

socioeconômicas e o potencial ecológico representado por essa estrutura geoecológica, faz-se necessário o reconhecimento adequado da sua constituição e funcionamento, assim como das suas fragilidades e potencialidades.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA GEOECOLÓGICA NA BACIA DO PARANÁ 3

A unidade hidrográfica BP3 compreende um conjunto de bacias com direcionamento de drenagem de leste para oeste, tributárias do rio Paraná, desaguando diretamente no Reservatório do Lago de Itaipu. A BP3 é subdividida em 12 sub-bacias, abrangendo os cursos principais dos rios Taturi, Chororó, Guaçu, Marreco, São Francisco Verdadeiro, Santa Quitéria, São Francisco Falso Braço Norte, São Francisco Falso Braço Sul, São Vicente, Ocoí, Pinto e Passo-Cuê (Figura 13).

O padrão de drenagem predominante é de dendrítico a sub-dendrítico. Em alguns setores, apresenta padrão sub-retangular. A densidade de drenagem varia relativamente pouco no interior da BP3. O setor central, onde se localizam os rios São Francisco Verdadeiro e Falso, apresenta uma densidade de drenagem baixa, de valor médio de  $0,65 \text{ km/km}^2$ . Na porção Leste, região entre Cascavel, Toledo e Santa Teresa do Oeste, que corresponde aos setores topograficamente mais altos e que abriga grande parte dos trechos superiores e cabeceiras dos principais cursos da unidade hidrográfica, a densidade de drenagem também é baixa, com valor médio de  $0,68 \text{ km/km}^2$ . Entretanto, nos setores localizados às margens do Rio Paraná, topograficamente mais baixos e caracterizados por relevo relativamente plano, observa-se o maior valor médio de densidade ( $0,90 \text{ km/km}^2$ ), reflexo, conforme Fernandez et al. (2011), da maior quantidade de cursos d'água de primeira ordem, que drenam diretamente para o lago de Itaipu.

Os principais cursos hídricos da bacia do Paraná 3 apresentam comportamento diferenciado em relação às condições morfológicas dos perfis longitudinais e a presença setorizada de anomalias, marcadas por rupturas de declives (BALLER, 2014). Conforme demonstra o autor, os rios localizados na parte central da bacia (Guaçu, São Francisco Verdadeiro, Santa Quitéria e São Francisco Braço Norte) compreendem traçados e segmentos convexos, com maior concentração de trechos anômalos, onde se identificam as rupturas de declive (*knickzones*). Já os rios localizados nos extremos Norte e Sul da bacia (Taturi, Passo-Cuê, Pinto e São Vicente) possuem perfis mais próximos de um traçado côncavo, ausência de rupturas e menor desenvolvimento altimétrico. A presença de setores anômalos, evidenciados



pelas rupturas de declive, pode estar relacionada, ainda de acordo com Baller (2014), aos fatores estruturais, como a sequência de derrames basálticos e os lineamentos geológicos existentes na área de abrangência da BP3.

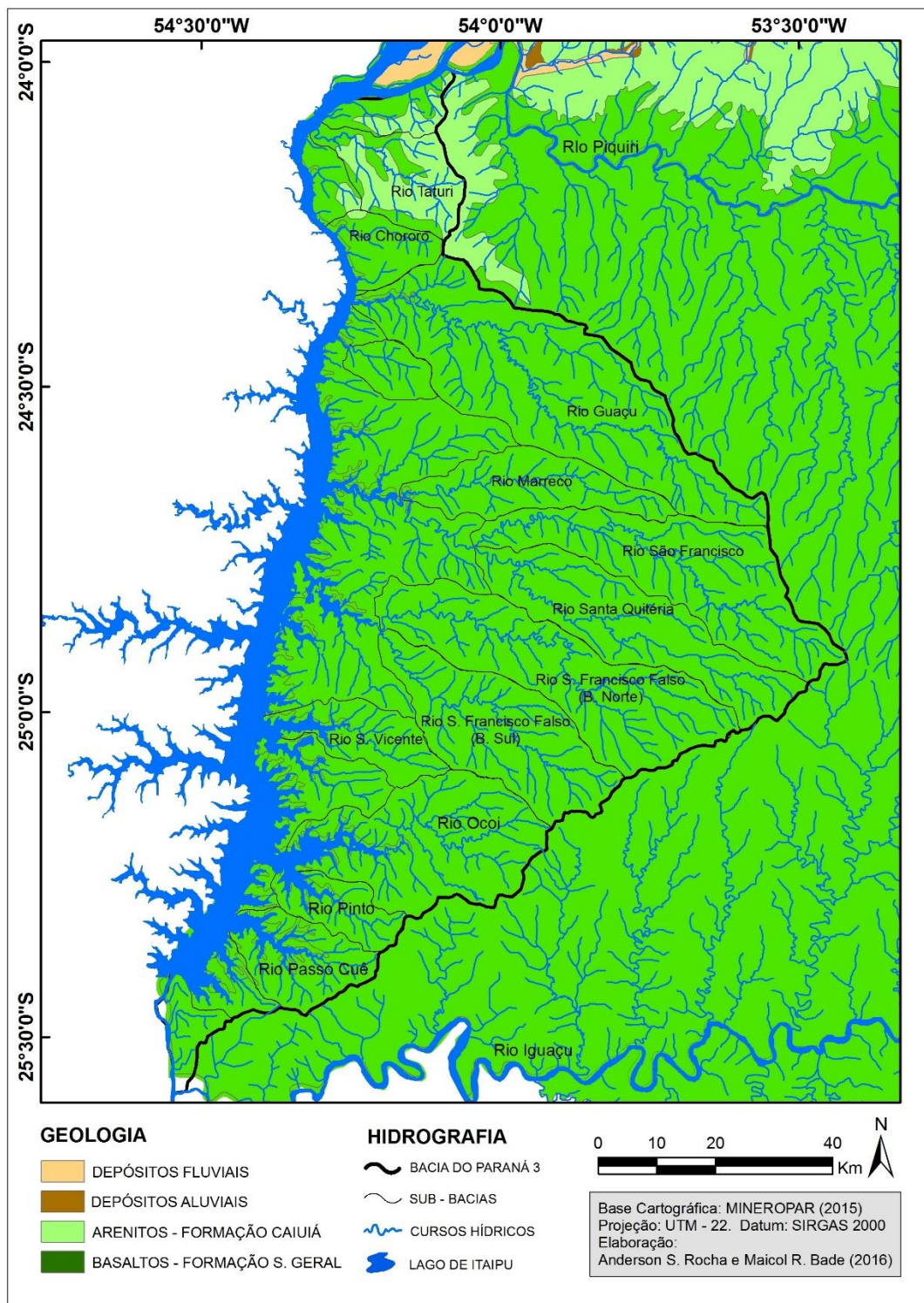


Figura 13: Geologia e Hidrografia da BP3.

Do ponto de vista geológico a área de estudo encontra-se inserida no interior da Bacia Sedimentar do Paraná, onde o substrato é constituído predominantemente por rochas basálticas da Formação Serra Geral, constituídas pelos derrames vulcânicos da era Mesozoica e do período cretáceo. Ao Norte da bacia, observa-se uma zona de contato entre rochas ígneas efusivas e as rochas sedimentares compostas por arenitos da Formação Caiuá, também do cretáceo. Às margens do Rio Paraná, verificam-se sedimentos recentes de idade Quaternária compondo os depósitos de origem fluvial e aluviais (MINEROPAR, 2015).

As rochas efusivas caracterizam-se regionalmente por empilhamentos sucessivos de lavas, compostas por unidades tabulares (derrames) individualmente bem definidas, denominadas de trapp, com espessura média de 30 metros (NARDY et al., 2002). Cada derrame apresenta, por sua vez, ao longo da sua espessura, variações texturais e estruturais. Na base dos derrames, ocorrem finas camadas de aspecto vítreo com pequenas vesículas, devido ao rápido resfriamento no contato com o substrato. A parte intermediária possui textura microcristalina, geralmente muito escura quando não alterada, e diaclasamento vertical (estrutura pseudo-colunar). A parte superior, zona de desgaseificação superficial das lavas em resfriamento rápido, tem aspecto vesicular e escoriáceo, com coloração avermelhada (oxidação e pequenas alterações) (LEINZ, 1949).

Apesar do substrato geológico predominantemente basáltico, é possível observar importantes variações topográficas e morfológicas que permitem identificar diferentes ambientes geomórficos no setor de montante, no setor intermediário e no setor inferior, localizado às margens do rio Paraná (Figuras 14 e 15).

O setor de montante caracteriza-se predominantemente por colinas amplas a médias com topos planos, alongados e vales em V, modelados por vertentes convexo-retilíneas, com declividades que variam entre 0-12%. Esse setor representa o início do interflúvio que delimita a Bacia do rio Paraná 3 e as bacias do rio Iguaçu, ao Sul, e a do Piquiri, ao Norte. Esse compartimento superior abriga as principais nascentes dos rios que drenam a unidade hidrográfica BP3.

O setor intermediário da bacia, situado ao longo dos cursos médios dos rios Marreco, São Francisco Verdadeiro, Santa Quitéria, São Francisco Falso – Braço Norte e Sul, representa o ambiente geomorfológico de maior dissecação atual da bacia. Esse compartimento exhibe espigões estreitos dispostos de Leste para Oeste, modelados pelo encaixe dos cursos principais (figura 14). Nesse setor, as vertentes são convexo-côncavas e convexo-retilíneas, muitas vezes segmentadas em patamares, alternando declividades fracas e muito fortes – entre 6 e 30%. Os



topos dos níveis topográficos embutidos entre os espigões principais são curtos e estreitos e os vales em V e U, conferindo um aspecto geral de relevo amorrado.

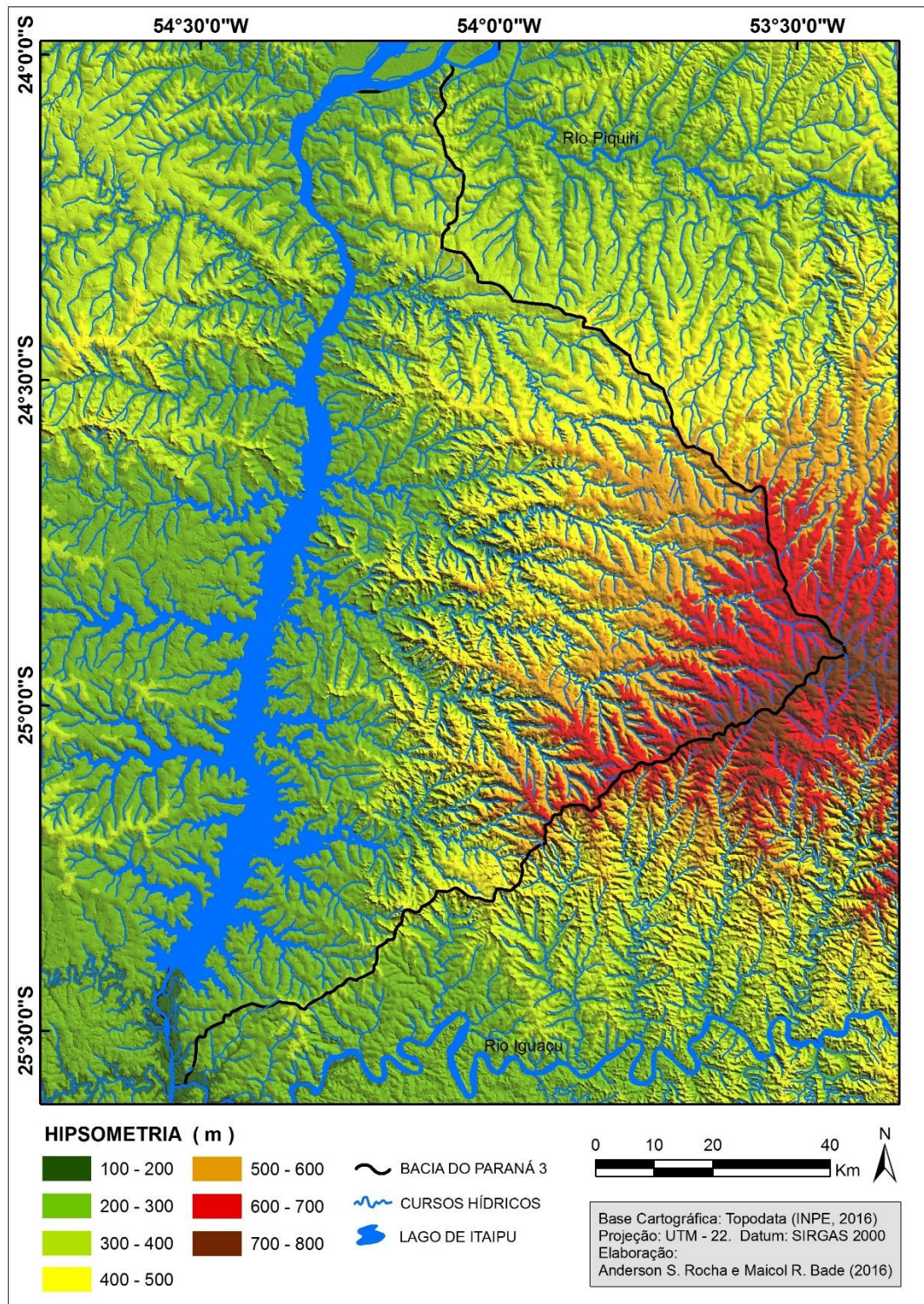


Figura 14: Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.



O setor inferior da unidade hidrográfica, localizado às margens do rio Paraná, contempla o ambiente geomorfológico de menor entalhe. É basicamente composto por colinas médias a amplas, topos largos e achatados e vertentes convexo-retilíneas com declividades fracas, predominantes entre 0-3%, formando vales em V muito abertos (Figuras 14 e 15).

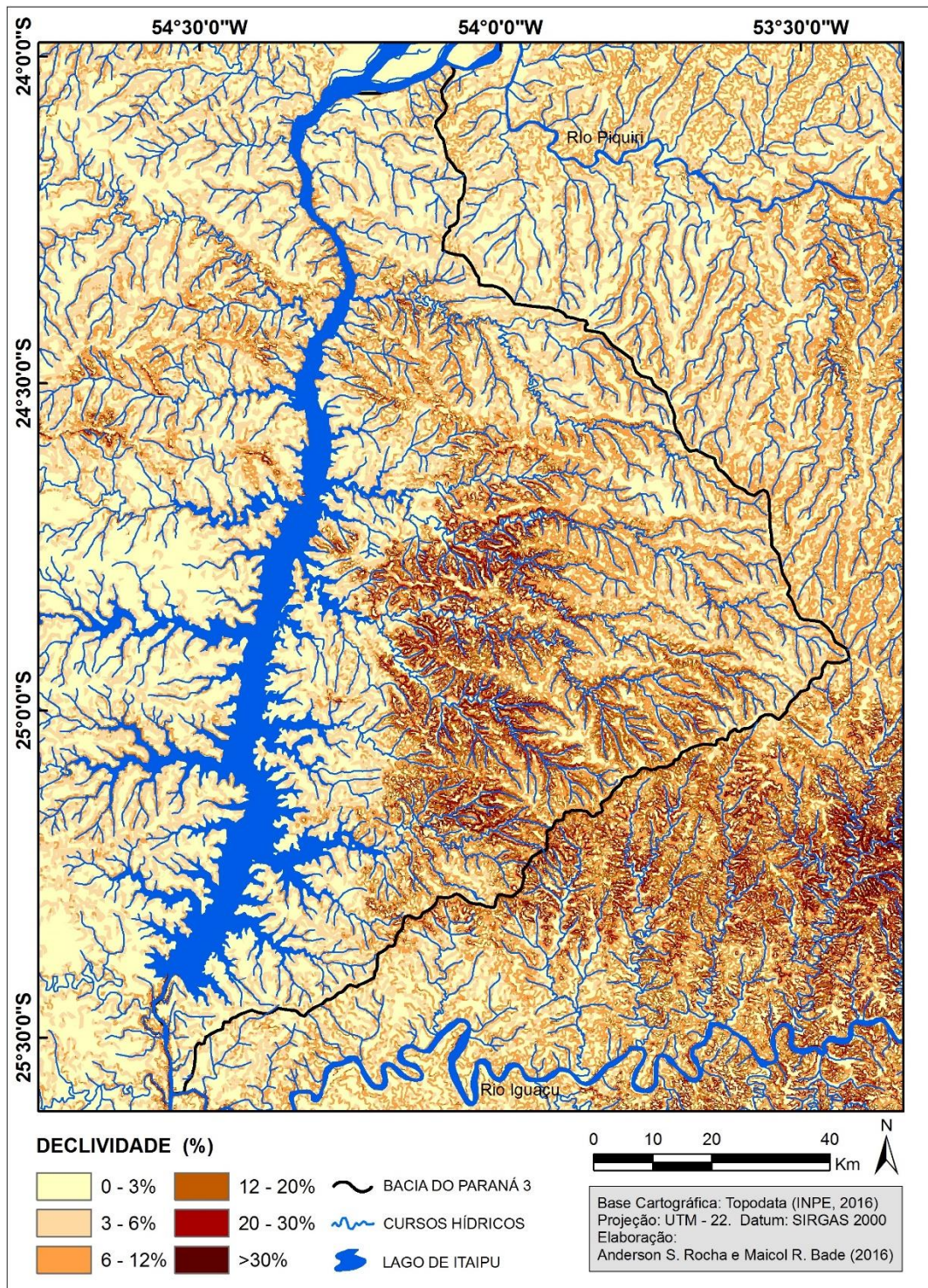


Figura 15: Declividade da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.



No que se refere à cobertura pedológica, constata-se que as principais classes de solos presentes na BP3 são compostas por LATOSSOLOS VERMELHOS e NITOSSOLOS VERMELHOS em associação com os NEOSSOLOS LITÓLICOS, sendo que, os GLEISSOLOS HÁPLICOS e ORGANOSSOLOS MÉSICOS aparecem em pequenas áreas planas e alagadiças, às margens do Rio Paraná (Figura 16).

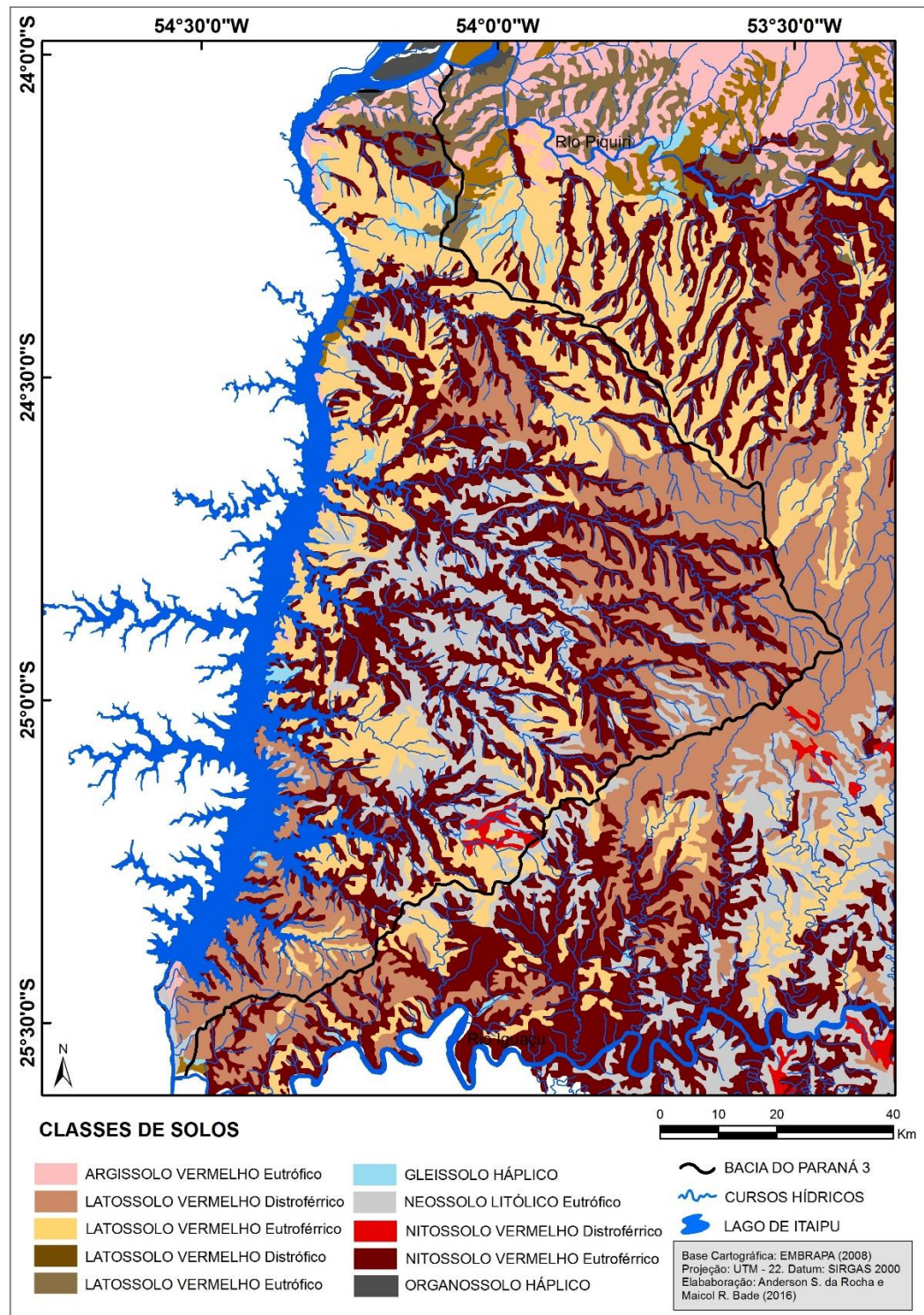


Figura 16: Cobertura Pedológica da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Conforme evidenciam os mapeamentos de Bhering e Santos (2008) e Embrapa (2013), na BP3, predominam solos de textura argilosa, ocorrendo, entretanto, uma zona de contato de basaltos com os arenitos da Formação Caiuá na porção norte, onde ocorre uma pequena mancha de solos de textura média e/ou arenosa, com predominância dos LATOSSOLOS e ARGISSOLOS VERMELHOS (Figura 16).

De modo geral, os LATOSSOLOS comumente ocorrem nos setores de relevos de dissecação baixa, ao longo das secções de topo até média vertente, enquanto os NITOSSOLOS distribuem-se principalmente nas secções de média a baixa vertente, em áreas cuja dissecação do relevo varia entre média e baixa. Os NEOSSOLOS (Litólicos e Regolíticos), solos de baixo desenvolvimento pedogenético, ocorrem em associação com os anteriores, predominantemente nos setores de dissecação mais alta e declividades maiores, também, associados a rupturas de declive.

Do ponto de vista climático, na BP3, ocorre o clima Cfa da classificação de Köppen (1990). A área de abrangência da bacia, compreende variações significativas no comportamento dos principais elementos climáticos (pluviosidade e temperatura). De acordo com as cartas climáticas do estado do Paraná (Caviglione et al., 2000), os totais anuais mais elevados de precipitação ocorrem no setor leste e sul da bacia, onde variam entre 1900 e 2100 mm. Entretanto, em direção ao norte, os valores diminuem, variando os totais anuais entre 1400 e 1500 mm, próximo a Guaíra. As temperaturas médias anuais, também apresentam variações significativas, caracterizadas por médias entre 20-21°C, na região de Cascavel, 21-22°C, na área de Foz do Iguaçu e 22-23°, nas proximidades do Rio Paraná, estendendo-se no sentido norte em direção à Guaíra.

No âmbito da distribuição dos remanescentes fitogeográficos, destacam-se as formações: Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Montana e Floresta Ombrófila Mista Montana, a última ocupando os setores topográficos mais elevados (ITCG, 2013).

No contexto regional, a bacia apresenta em suas regiões limítrofes duas importantes unidades de conservação: o Parque Nacional do Iguaçu, situado junto ao limite sul da área, e o Parque Nacional de Ilha Grande, localizado junto ao limite norte. De acordo com o ICMBio (2015), as unidades de conservação contemplam a presença de dois corredores de biodiversidade, o Caiuá-Ilha Grande e o Iguaçu-Paraná.

Cabe ressaltar que a espacialização da distribuição fitogeográfica e climática apresenta forte correlação com a setorização topográfica da bacia. Nos setores de montante, caracterizados pelas cotas entre 600 e 800 metros de altitude, domina a Floresta Ombrófila

Mista e o clima Cfb. Nas áreas que apresentam altitudes entre 500 e 600 m, verifica-se a Floresta Estacional Semidecidual Montana, enquanto nas cotas entre 100 e 500 m ocorre a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ambas submetidas ao clima Cfa.

Em relação ao uso e cobertura da terra (Figura 17, Tabela 3), verifica-se que a unidade hidrográfica do Paraná 3 contempla, principalmente, os usos agrícolas e pecuários. A agricultura compõe a classe de uso dominante e abrange cerca de 70% da área total da bacia. Em geral, os cultivos agrícolas são de soja, milho, trigo e aveia e apresentam sistema de manejo de plantio direto. A distribuição das áreas agrícolas encontra-se especialmente associada aos setores de relevo com baixa dissecação e solos mais profundos, localizados nos setores alto e baixo da bacia.

A atividade pecuária, representada pelos setores compostos por áreas de pastagens, ocupa pouco mais de 2% da área de estudo. Esses setores normalmente exibem o manejo de gado (corte e leiteiro) de forma extensiva. Em termos de localização, as pastagens ocupam basicamente o setor intermediário da bacia, onde predominam alta dissecação do relevo e solos rasos. No norte da bacia, também se verifica uma estreita faixa composta pela pastagem associada às áreas recobertas com solos de textura média, oriundos do arenito da Formação Caiuá.

Os remanescentes florestais da BP3 distribuem-se principalmente às margens dos principais cursos hídricos, assim como em setores onde há maiores limitações físico-naturais (altas declividades e solos de baixa fertilidade natural) que impedem o desenvolvimento de atividades antrópicas. Embora a vegetação natural tenha sido devastada no processo de ocupação, verifica-se uma área representativa de mata (natural e reflorestada), ao longo da bacia. Atualmente a vegetação ocupa uma área superior a 16% do total, sendo que grande parte é correspondente a áreas reflorestadas após a formação do reservatório de Itaipu, com incentivo do programa Cultivando Água Boa.

A margem esquerda do reservatório de Itaipu, juntamente com os afluentes do rio Paraná situados em território brasileiro, somam uma área de aproximadamente 618 km<sup>2</sup>. A relevante área, composta por corpos hídricos, reflete a grande magnitude da área alagada, responsável pelo expressivo percentual de corpos hídricos, superior a 7% do total da área de estudo.

As áreas urbanizadas, ao longo da unidade hidrográfica, ocupam cerca de 2%. As principais sedes municipais localizam-se em sua maioria nas regiões limítrofes aos divisores de água da bacia e encontram-se dispostas, principalmente, nos setores de topo, onde normalmente se verificam as áreas mais aplainadas do relevo.



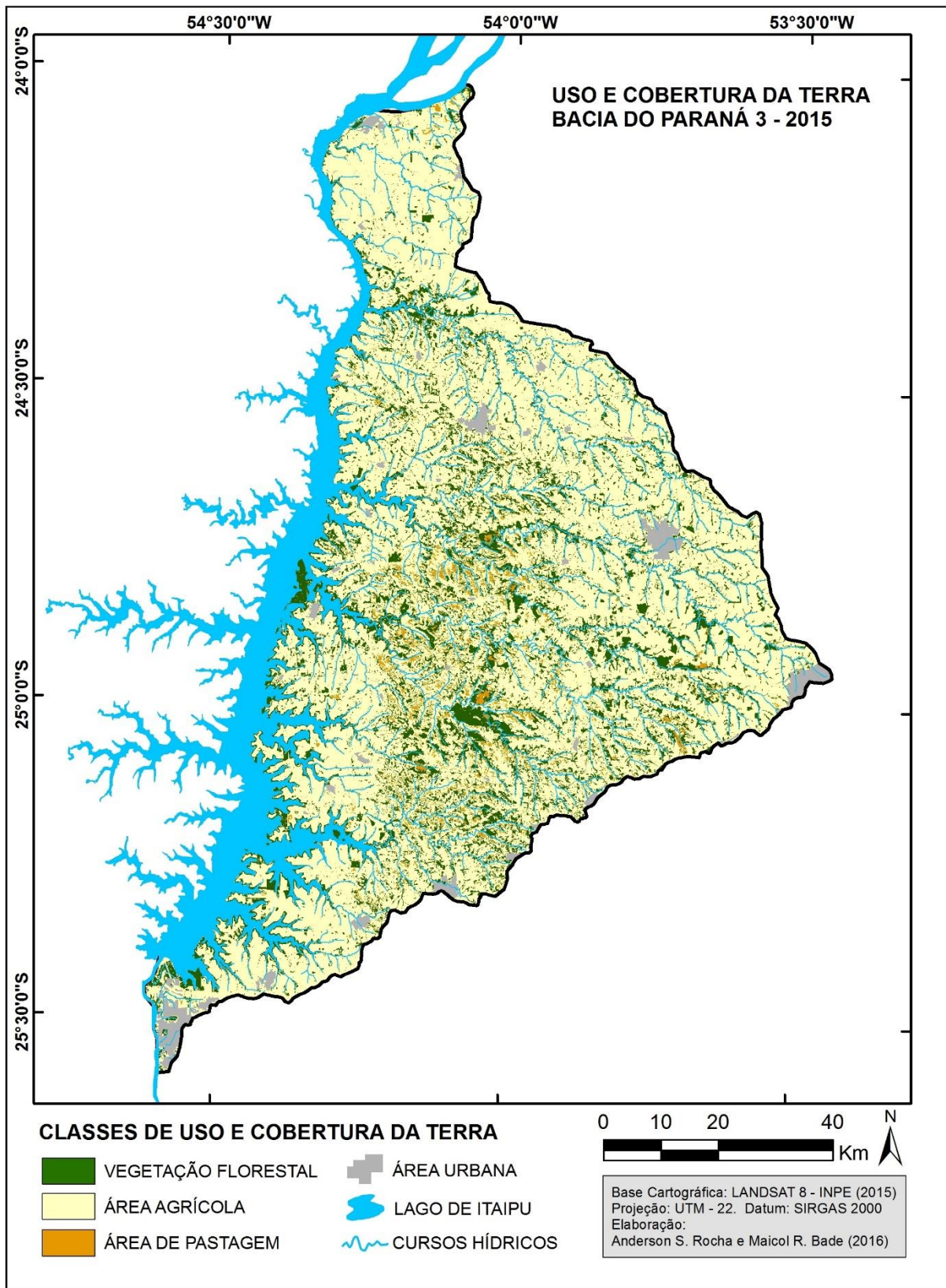


Figura 17: Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Tabela 3: Classes de Uso e Cobertura da Terra da Bacia do Paraná 3.

CLASSES DE USO COBERTURA DA TERRA	ÁREA	
	(Km <sup>2</sup> )	( % )
VEGETAÇÃO FLORESTAL	1461,23	16,75
ÁREA AGRÍCOLA	6260,10	71,74
ÁREA DE PASTAGEM	190,17	2,18
CORPOS HÍDRICOS	618,03	7,08
ÁREA URBANA	196,71	2,25
TOTAL	8726,24	100

O conhecimento da distribuição espacial do uso da terra, assim como da organização da estrutura geocológica da área, considerando as variáveis geológicas, climáticas, fitogeográficas, geomorfológicas, pedológicas e hídricas, possibilita estabelecer diversas relações em termos de dinâmica e funcionamento da paisagem. Constata-se, dessa maneira, que cada unidade de paisagem identificada na escala regional apresenta, de fato, uma identidade em termos de estrutura geocológica e socioeconômica.

## **CAPÍTULO 4: DAS UNIDADES DE PAISAGEM AOS SISTEMAS PEDOLÓGICOS E AS SUAS IMPLICAÇÕES NAS FRAGILIDADES E POTENCIALIDADES AMBIENTAIS NA BACIA DO PARANÁ 3**

O presente capítulo tem como objetivo a caracterização da estrutura e funcionamento da paisagem nos compartimentos identificados no interior da unidade hidrográfica do Paraná 3, com o intuito de compreender suas fragilidades e potencialidades ambientais.

Para tanto, a apresentação e discussão dos resultados, dividem-se em três etapas. Inicialmente, são apresentados os dados gerais sobre os elementos da estrutura geocológica e socioeconômica presentes ao longo das cinco grandes unidades de paisagem da bacia. Posteriormente, é enfatizada a organização geomorfológica e pedológica em três dessas unidades representativas dos setores superior, médio e inferior da unidade hidrográfica BP3. Nessa etapa, são apresentadas as vertentes características e os sistemas pedológicos a elas associados, os quais dão identidade a cada uma das unidades de paisagem analisadas. Finalmente, apresenta-se as fragilidades ambientais (potenciais e emergentes) e as potencialidades quanto ao uso e à ocupação das terras na área de abrangência da BP3.

### **4.1 AS UNIDADES DE PAISAGEM NA BACIA DO PARANÁ 3**

A bacia hidrográfica do Paraná 3, conforme explicitado na Figura 18, apresenta cinco grandes compartimentos de paisagem: 1 – Unidade de Cascavel; 2 – Unidade de São Francisco; 3 – Unidade Foz do Iguaçu; 4 – Unidade Marechal Cândido Rondon; 5 – Unidade de Guaíra. Destas, a unidade de Cascavel apresenta três subunidades: (1.A) - subunidade de Toledo, (1. B) - subunidade de Santa Teresa do Oeste e (1. C) - subunidade de Nova Santa Rosa (BADE; ROCHA, 2013; ROCHA; BADE, 2016).

As unidades e as subunidades de paisagem apresentam importantes variações em termos de estrutura geocológica (geologia, clima, vegetação, relevo, solos), que condicionam usos e atividades antrópicas diferenciadas em razão de seu potencial ecológico.



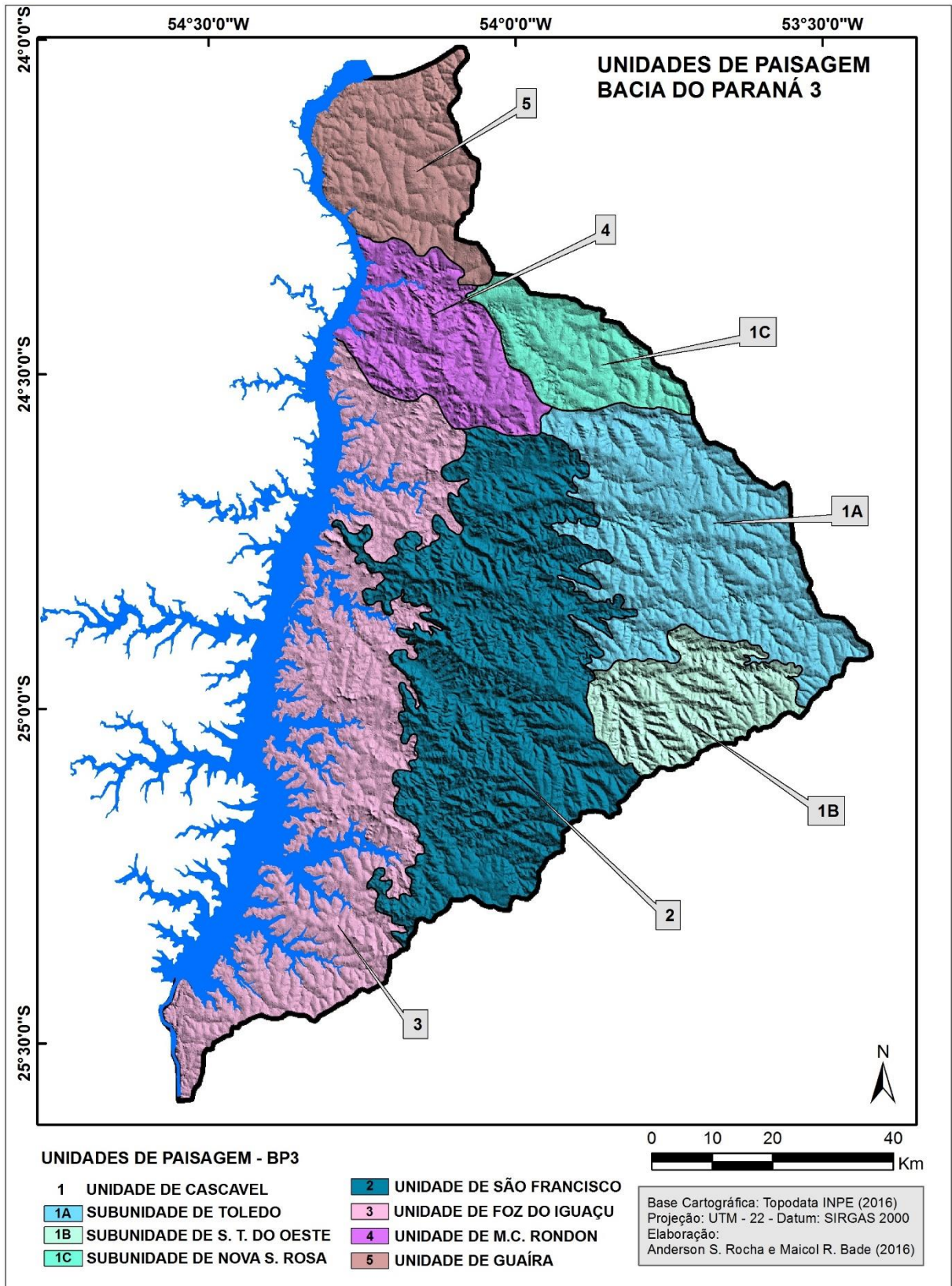


Figura 18: Unidades de paisagem da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Fonte: Rocha e Bade (2016).

A **Unidade de paisagem de Cascavel** localiza-se no Leste, no alto setor da unidade hidrográfica, abrigando as cabeceiras dos principais cursos hídricos formadores da BP3. A unidade é compartimentada em três subunidades: (1.A) - subunidade de Toledo, (1. B) - subunidade de Santa Teresa do Oeste e (1. C) - subunidade de Nova Santa Rosa. Os subcompartimentos, foram delimitados em função do detalhamento em termos de declividade, morfologia das vertentes e condições pedológicas. Em geral, a estrutura geocológica caracteriza-se por relevos de dissecação média e baixa, vertentes de forma convexa-retilínea e solos bem desenvolvidos, comumente utilizados para cultivos temporários. A condição fitogeográfica original predominante na unidade é composta pela Floresta Ombrófila Mista.

Do ponto de vista econômico, a unidade de Cascavel destaca-se como a região de maior desenvolvimento agropecuário, apresentando os mais altos percentuais em termos de valor de produção e de PIB na área da bacia. Os centros urbanos das cidades de Cascavel, Toledo, Santa Teresa, Céu Azul e Nova Santa Rosa ocupam segmentos de topos alongados, bem como os setores localizados ao longo do divisor de água principal da bacia.

A **Unidade de paisagem de São Francisco** representa um compartimento intermediário, localizado na porção central da unidade hidrográfica, entre as altitudes de 200 e 700 metros e abrange especialmente os setores médios dos cursos de água, onde originalmente se estendia a Floresta Estacional Semidecidual Montana. Compõe a unidade de maior dissecação da bacia, com domínio de declividades entre 12 e 20%, solos rasos, predominantemente ocupados por pastagens, em associação com cultivos agrícolas e vegetação florestal.

As implicações da estrutura geocológica são evidenciadas pelos índices econômicos dos municípios que abrangem a unidade. No geral, os municípios apresentam os mais baixos índices em termos de valor de produção agropecuária e de PIB. Os indicadores sociais (IDH) também se apresentam baixos em relação às demais regiões da bacia. Do ponto de vista da estrutura fundiária, duas realidades são observadas: pequenas propriedades com uso de cultivos mistos e grandes estruturas latifundiárias caracterizadas por fazendas voltadas à criação de gado de corte e de leite.

No baixo setor da bacia está a **Unidade de paisagem de Foz do Iguaçu** com altitudes que variam entre 100 e 400 metros. Localizada no extremo Oeste, às margens do lago de Itaipu, a unidade apresenta relevo de dissecação baixa, declividades inferiores a 6%, vertentes retilíneas, onde dominam as classes dos Latossolos e Nitossolos, geralmente ocupados por agricultura temporária. Nessa unidade, assim como nas demais unidades presentes no baixo setor, dominam os remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual Submontana.

No contexto socioeconômico, pode-se observar, com base nos dados do IPARDES (2011) e do IBGE (2012), que os diferentes valores de PIB per capita dos municípios inseridos nessa unidade de paisagem estão associados, em grande parte, à arrecadação de *royalties* municipais, com exceção do município de Foz do Iguaçu que se destaca no setor terciário. Já as diferenças em termos de produção agropecuária estão atreladas à área territorial, ou seja, os municípios que apresentam uma pequena área territorial são também aqueles que exibem os menores valores de produção dentro do compartimento.

Circundada pelas quatro outras grandes unidades identificadas na bacia, encontra-se a **Unidade de paisagem de Marechal Cândido Rondon**. Limita-se ao sul com as unidades de Foz e São Francisco, ao norte com a unidade de Guaíra e a leste com a unidade de Cascavel, enquanto que a oeste se estende até a parte mais estreita do reservatório de Itaipu. Do ponto de vista topográfico, as altitudes variam entre 200 a pouco mais de 500 metros. Nesse compartimento, observam-se duas diferentes realidades geomorfológicas e pedológicas. Em geral, predominam relevos de baixa dissecação, declividades entre 0 e 6%, formas convexo-retilíneas e ocorrência dos Latossolos e Nitossolos. Em menor proporção, em alguns segmentos da unidade, verificam-se dissecação média e declividades entre 6-12%, com vertentes caracterizadas pela morfologia convexo-côncavo-retilínea, em que a presença do Neossolo é mais comum.

Os setores característicos, onde dominam as colinas médias com topos aplainados e vertentes convexo-retilíneas, foram os selecionados para a implantação das sedes municipais e distritais existentes na unidade. Neles, também predomina as culturas temporárias, eventualmente associadas à criação de aves e/ou suínos. Já os setores com maior dissecação do relevo, onde aparecem vertentes compostas por segmentos convexo-côncavo-retilíneos, exibem o uso misto, intercalando pastagem, vegetação natural, agricultura, suinocultura, avicultura e piscicultura.

No extremo norte da bacia hidrográfica, localiza-se a **Unidade de paisagem de Guaíra**, que se diferencia das demais unidades pelas condições geológicas regionais, particularmente caracterizada como zona de contato entre os arenitos da Formação Caiuá e as rochas ígneas efusivas basálticas da Formação Serra Geral. A unidade apresenta altimetria variando entre 200 metros, na calha do rio Paraná, até no máximo 400 metros. O relevo regional caracteriza-se, predominantemente, como plano e suave ondulado, com declividades entre 0 a 6%, onde se destacam as colinas amplas e homogêneas, de topos planos e vales em V aberto, compondo vertentes de formas retilíneas do topo ao sopé.

A cobertura pedológica apresenta dois sistemas predominantes. O primeiro e mais abrangente é caracterizado por solos de textura argilosa, derivados da alteração das rochas basálticas, que abrange particularmente a porção sul da unidade. Esse setor apresenta Latossolo do topo até a média vertente e Nitossolo na baixa vertente. Em alguns setores da unidade, ocorre ainda a passagem para Gleissolos no fundo dos vales. O segundo, caracterizado por solos de textura média, está localizado no setor onde ocorre a Formação Caiuá, situado na porção norte da unidade. Nesse setor, domina o sistema predominantemente composto pela sequência Latossolo, que se estende do topo até a média-baixa vertente, e Argissolo nos segmentos inferiores podendo, entretanto, como no caso anterior, apresentar os Gleissolos em alguns fundos de vale.

A diversidade em termos geológicos, pedológicos e hídricos da unidade também resulta em diferentes tipos de uso. Apesar de toda a unidade ser basicamente composta por vertentes tipicamente convexo-retilíneas, verifica-se, nos sistemas pedológicos de textura média, uma maior expressividade dos cultivos de mandioca e da pecuária, expressa pela disseminação da pastagem, enquanto nos sistemas de solos de textura argilosa constata-se o domínio de culturas de soja e milho. Já nos setores de sopé (fundos de vales) e ou de cabeceiras de drenagem, observa-se basicamente a presença de pastagem e/ou vegetação natural, condicionada pela presença dos solos hidromórficos.

Na unidade de Guaíra, os valores de produção agropecuária apresentam índices médios e a estrutura fundiária atual remete à predominância do agronegócio em detrimento da agricultura familiar.

#### 4.2 AS UNIDADES DE PAISAGEM REPRESENTATIVAS DA BACIA DO PARANÁ 3 E AS SUAS VERTENTES CARACTERÍSTICAS

Para melhor compreensão do comportamento morfopedológico dos setores alto, médio e baixo da unidade hidrográfica foram selecionadas três unidades de paisagem consideradas as mais representativas em termos territoriais, geomorfológicos e pedológicos: a unidade de Cascavel, que representa o setor mais elevado da área; a unidade de São Francisco, que compõe o setor intermediário, e a unidade de Foz do Iguaçu, representado o setor inferior da unidade hidrográfica do Paraná 3.

Para isso, inicialmente, apresentam-se os resultados da análise morfométrica do relevo, realizada com base na curva hipsométrica normal e na integral hipsométrica, como propõe Strahler (1952). Essa análise evidencia as diferenças do relevo e da sua evolução entre as três unidades de paisagem, contribuindo para a identificação das suas vertentes característica.

#### 4.2.1 Análise hipsométrica e evolução do relevo nas principais unidades de paisagem

O arranjo hipsométrico dos setores superior, médio e inferior da unidade hidrográfica do Paraná 3, distingue três grandes compartimentos geomorfológicos, particularmente diferenciados pelas condições altimétricas, morfológicas e morfométricas, como mostra o perfil topográfico (Figura 19) que representa um corte das três principais unidades de paisagem (Unidade de Cascavel, Unidade de São Francisco e Unidade de Foz do Iguaçu).

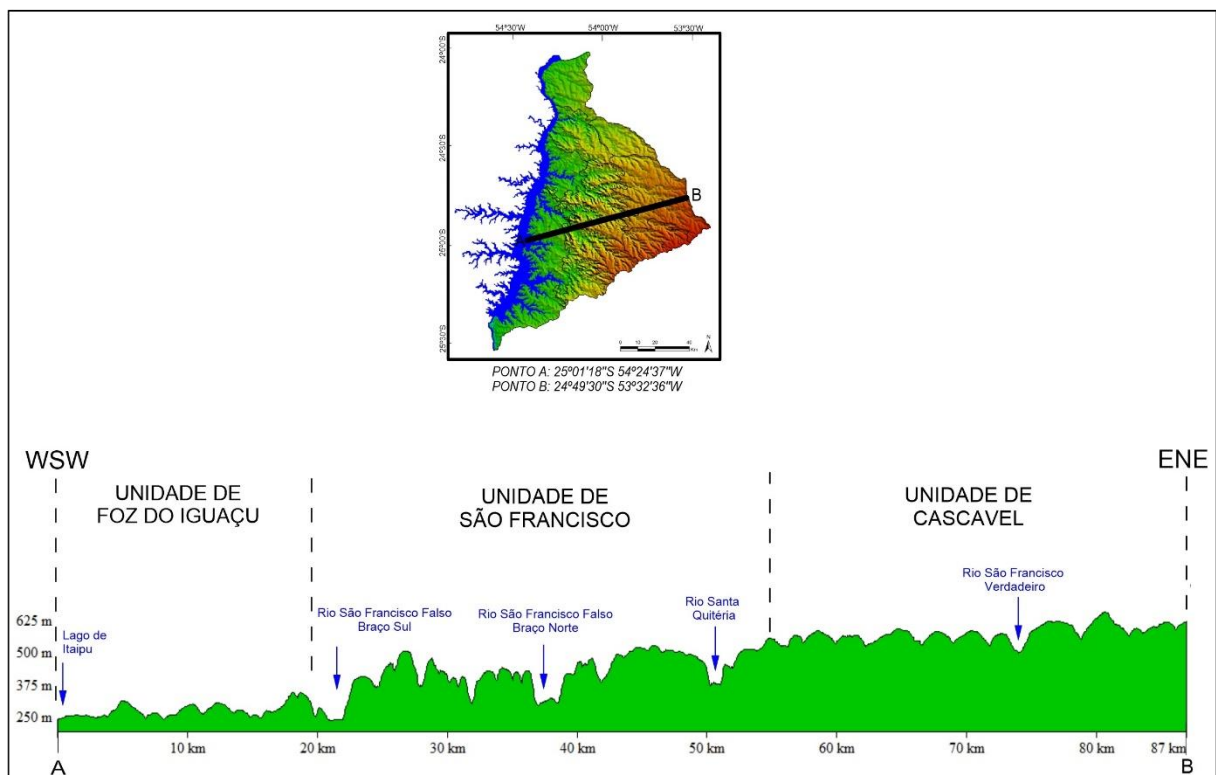


Figura 19: Perfil topográfico transversal da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Visando à quantificação dos índices de integral hipsométrica ( $H_i$ ) foram realizadas análises em três sub-bacias hidrográficas de cada uma das unidades de paisagem selecionadas para o estudo detalhado das vertentes características (Figura 20). Os resultados obtidos foram previamente apresentados e discutidos por Fernandez e Rocha (2016).



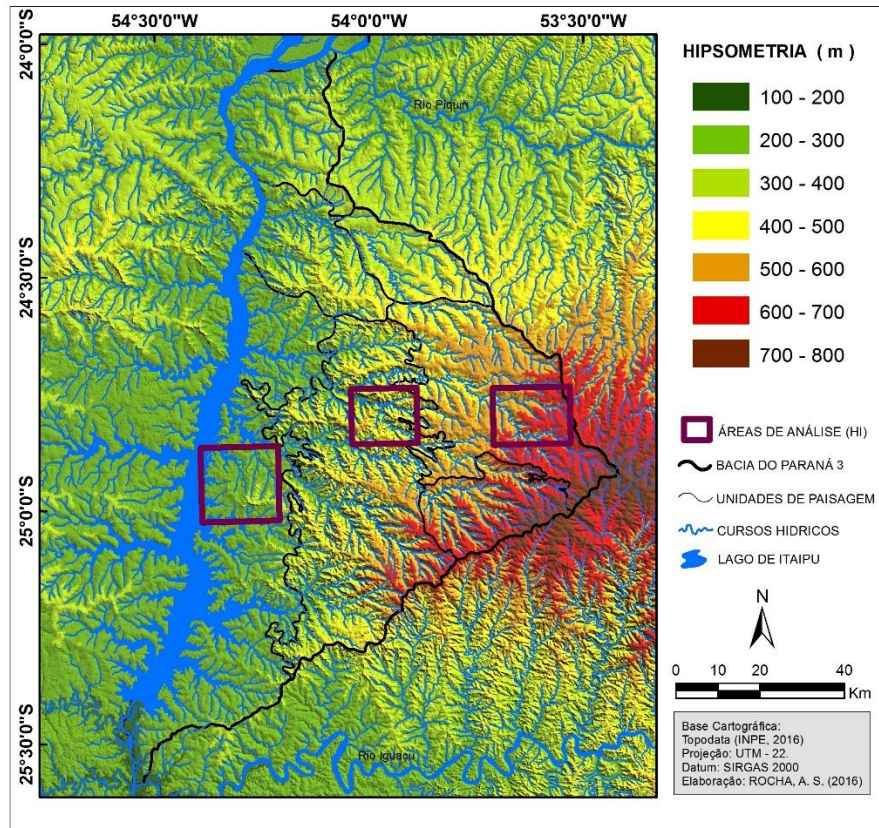


Figura 20: Localização das áreas de análise de integral hipsométrica na BP3.

Na unidade de paisagem de Cascavel (setor superior), foram avaliadas as bacias dos Rios Panambi, Santa Rosa e Ipiranga (Figura 21), obtendo-se  $H_i$  equivalente a 0,670, 0,641 e 0,649, respectivamente (Tabela 4).

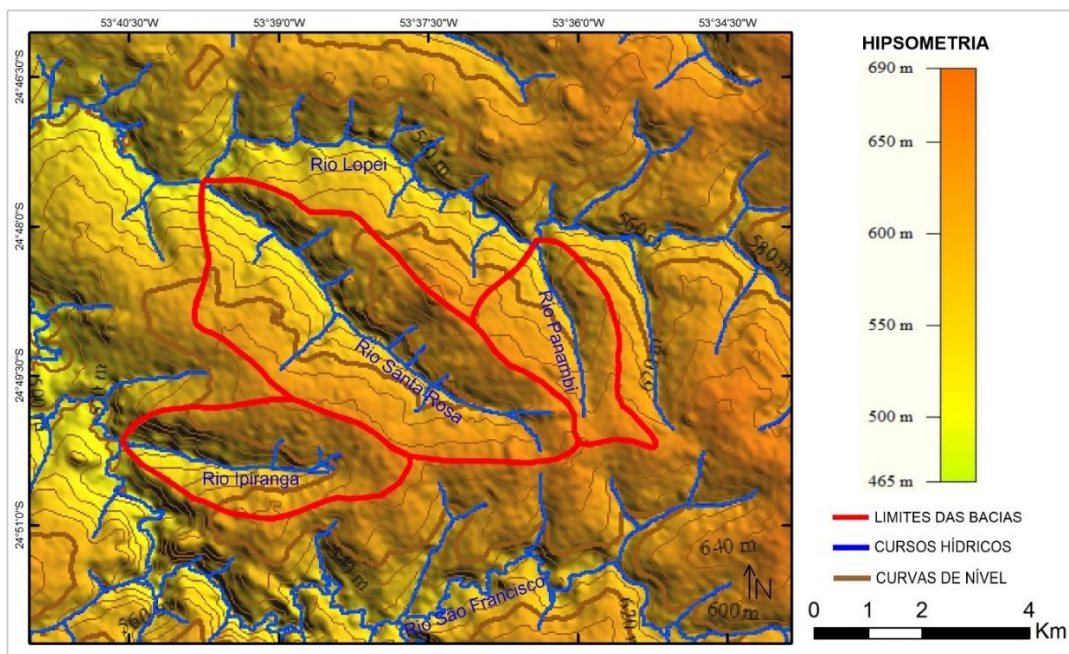


Figura 21: Localização das bacias dos rios Ipiranga, Santa Rosa e Panambi na unidade Cascavel.



Na unidade de paisagem de São Francisco (setor intermediário), foram analisadas as bacias do Rio Três Ranchos, do Piracema e do Zabelê (Figura 22) que apresentaram, respectivamente, Hi de 0,591, 0,604 e 0,573.

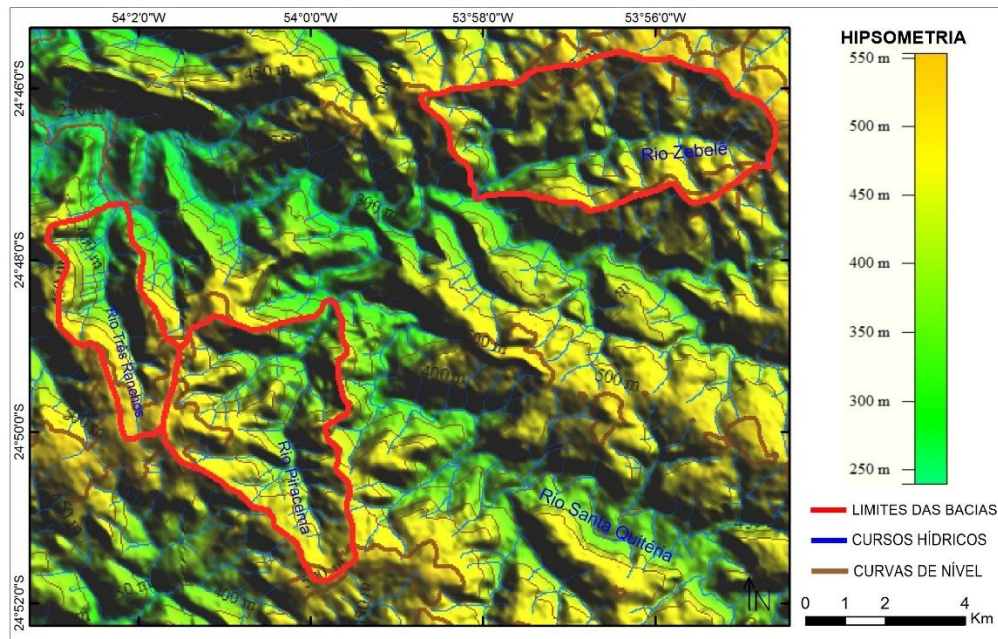


Figura 22: Localização das bacias dos rios Três Ranchos, Piracema e Zabelê na unidade São Francisco.

Na unidade de Foz do Iguaçu (setor inferior), os índices de integral hipsométrica variam em 0,349 na bacia do Pacuri, 0,320 na do Dois Irmãos e 0,318 na bacia do Rio Moreninha (Figura 23).

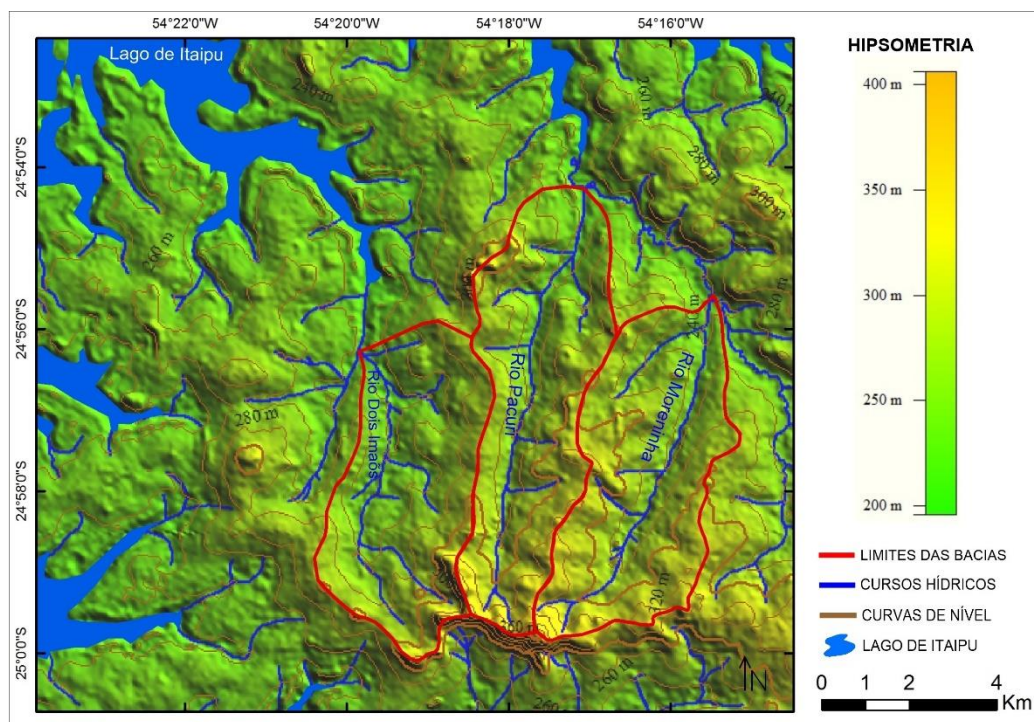


Figura 23: Localização das bacias dos rios Dois Irmãos, Pacuri e Moreninha na unidade Foz do Iguaçu.

Conforme Fernandez e Rocha (2016), os valores de integral hipsométrica (Hi) e de integral de erosão (Ei), calculados nas sub-bacias situadas ao longo das três unidades de paisagem, demonstram uma notória diferença, tanto individualmente, quando nos valores médios: as sub-bacias da unidade de Foz do Iguaçu apresentam valores de Hi baixos (média de 0,328) e Ei altos (média de 0,672), enquanto nas sub-bacias pertencentes à unidade de Cascavel os valores de Hi são altos (média de 0,653) e os de Ei baixos (média de 0,347). Já a unidade de São Francisco apresenta valores moderados de Hi (média de 0,591) e Ei (média de 0,409), conforme demonstram os dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores da integral hipsométrica (Hi) e integral de erosão (Ei), correspondentes as bacias hidrográficas estudadas na BP3.

<b>Unidades de paisagem</b>	<b>Bacias</b>	<b>Municípios</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Cotas max. e min.</b>	<b>Hi</b>	<b>Hi médio</b>	<b>Ei</b>	<b>Ei médio</b>
	Panambi	Cascavel	5,82	663-535	0,670		0,330	
Cascavel	Santa Rosa	Cascavel	18,42	666-504	0,641	0,653	0,359	0,347
	Ipiranga	Cascavel	7,15	658-506	0,649		0,351	
	Três Ranchos	São José das Palmeiras	6,99	539-249	0,596		0,404	
São Francisco	Piracema	São Pedro do Iguaçu	13,53	533-283	0,604	0,591	0,396	0,409
	Zabelê	Ouro Verde do Oeste	16,66	552-310	0,573		0,427	
	Pacuri	Santa Helena	19,86	405-220	0,349		0,651	
Foz do Iguaçu	Dois Irmãos	Santa Helena	19,04	359-226	0,320	0,328	0,680	0,672
	Moreninha	Santa Helena	20,48	405-236	0,315		0,685	

Fonte: FERNANDEZ E ROCHA (2016).

As diferenças reveladas pela integral hipsométrica também aparecem nas formas das curvas hipsométricas normais para as sub-bacias em cada uma das unidades de paisagem estudadas, como mostra a Figura 24. As sub-bacias exibem curvas de formas côncavas na unidade de Foz do Iguaçu, formas retilíneas e em “S” na unidade de São Francisco e formas convexas na unidade de Cascavel.



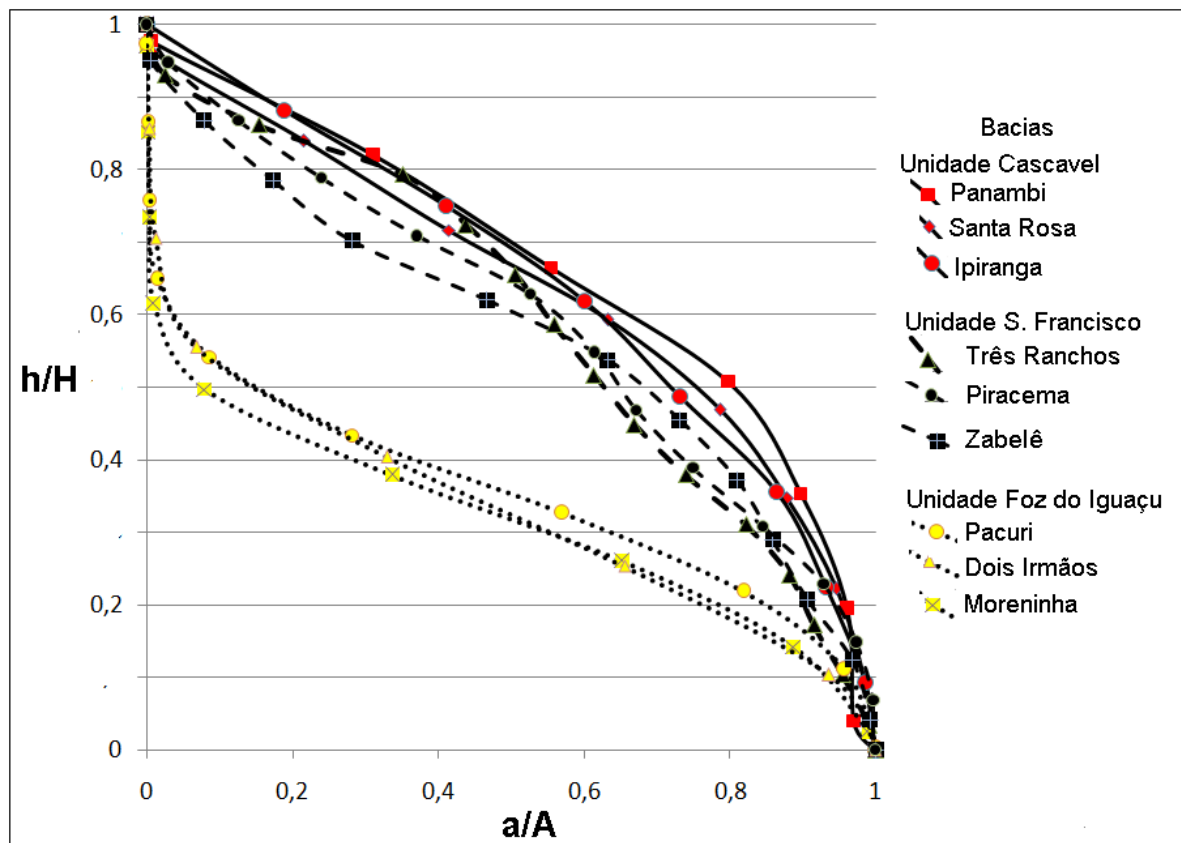


Figura 24: Representação gráfica das curvas hipsométricas normalizadas das bacias selecionadas nas unidades de paisagem na Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Fonte: FERNANDEZ E ROCHA (2016).

As curvas e os valores das integrais hipsométricas comprovam que as três unidades de paisagem, representativas dos setores alto, médio e inferior da unidade hidrográfica, são geomorfologicamente distintas.

Na interpretação clássica de Strahler (1952), como já referido anteriormente, as curvas e as integrais hipsométricas permitem identificar em qual estágio do ciclo geomórfico de Davis determinada área se encontra. Assim, curvas hipsométricas convexas e  $H_i$  superiores a 0,60 indicam o estágio de “juventude”; curvas sinuosas em forma de S e  $H_i$  variando entre 0,40 e 0,60 correspondem ao estágio de “maturidade”; curvas côncavas e  $H_i$  baixos (<0,40) indicam o estágio de senilidade – o peneplano. Em trabalhos mais recentes, entretanto, autores como Ciccacci et al. (1992, 1995), Seta et al. (2007) e Babu et al. (2014) enfatizam que essa análise hipsométrica expressa, também, o grau de denudação (quanto maior a integral hipsométrica menor é o grau de denudação e vice-versa) e a taxa de mudanças morfológicas de uma bacia hidrográfica, fornecendo, ainda, informações sobre a atuação de diferentes processos morfogenéticos.

Considerando-se essa última tendência de interpretação e os parâmetros indicados por Lupia-Palmieri (2013) para a análise hipsométrica, conclui-se que os  $H_i$  baixos e a curva hipsométrica côncava que caracterizam a unidade de Foz do Iguaçu (setor inferior) indicam que esse compartimento sofreu o maior grau de denudação. A unidade de São Francisco (setor médio) apresenta grau de denudação intermediário, mas é nesse setor que, na atualidade, se dá o avanço da erosão, especialmente ao longo dos seus principais rios (São Francisco Verdadeiro, Santa Quitéria e São Francisco Braço Norte). Isso porque, no setor médio da unidade hidrográfica, como relata Baller (2014), ocorre um número maior de trechos de cachoeiras e rápidos ao longo dos canais fluviais, que testemunham o avanço remontante da erosão. Por sua vez, no alto setor da BP3, como mostram as análises das bacias hidrográficas da unidade de Cascavel, o grau de denudação é o mais baixo.

Quando comparadas as características geomórficas dos setores alto, médio e baixo, com os valores da integral hipsométrica de sub-bacias representativas em cada unidade, entende-se que os terrenos a jusante da bacia, mais rebaixados com fraca dissecação atual e baixos valores de  $H_i$  podem ser interpretados como uma área que sofreu a erosão mais intensa e de evolução geomórfica mais recente (Unidade Foz do Iguaçu). A parte central da bacia é ocupada pela frente da erosão remontante, tendo como resultado a formação de relevos com dissecação média a forte e apresenta valores de  $H_i$  intermediários (Unidade São Francisco). Finalmente, as áreas elevadas das cabeceiras dos principais rios da bacia do Paraná 3, com dissecação média e valores elevados de  $H_i$ , representam terrenos que sofreram menor erosão e resultam de evolução geomórfica mais longa (Unidade Cascavel).

Conclui-se, portanto, que as vertentes em cada uma das unidades de paisagem devem refletir essas diferentes condições de evolução geomorfológica em seu modelado e funcionamento.

#### 4.2.2 Unidade de Paisagem de Cascavel

A unidade de Cascavel compreende os setores de alto curso e cabeceiras dos principais formadores da unidade hidrográfica, incluindo grande parte do tríplice divisor de águas entre as bacias: Paraná 3, Iguaçu e Piquiri. Do ponto de vista geomorfológico, a unidade caracteriza-se por apresentar relevo de colinas amplas e médias, com topos geralmente largos e achatados, vertentes convexo-retilíneas recobertas por solos de alto desenvolvimento pedogenético (Figura 25).

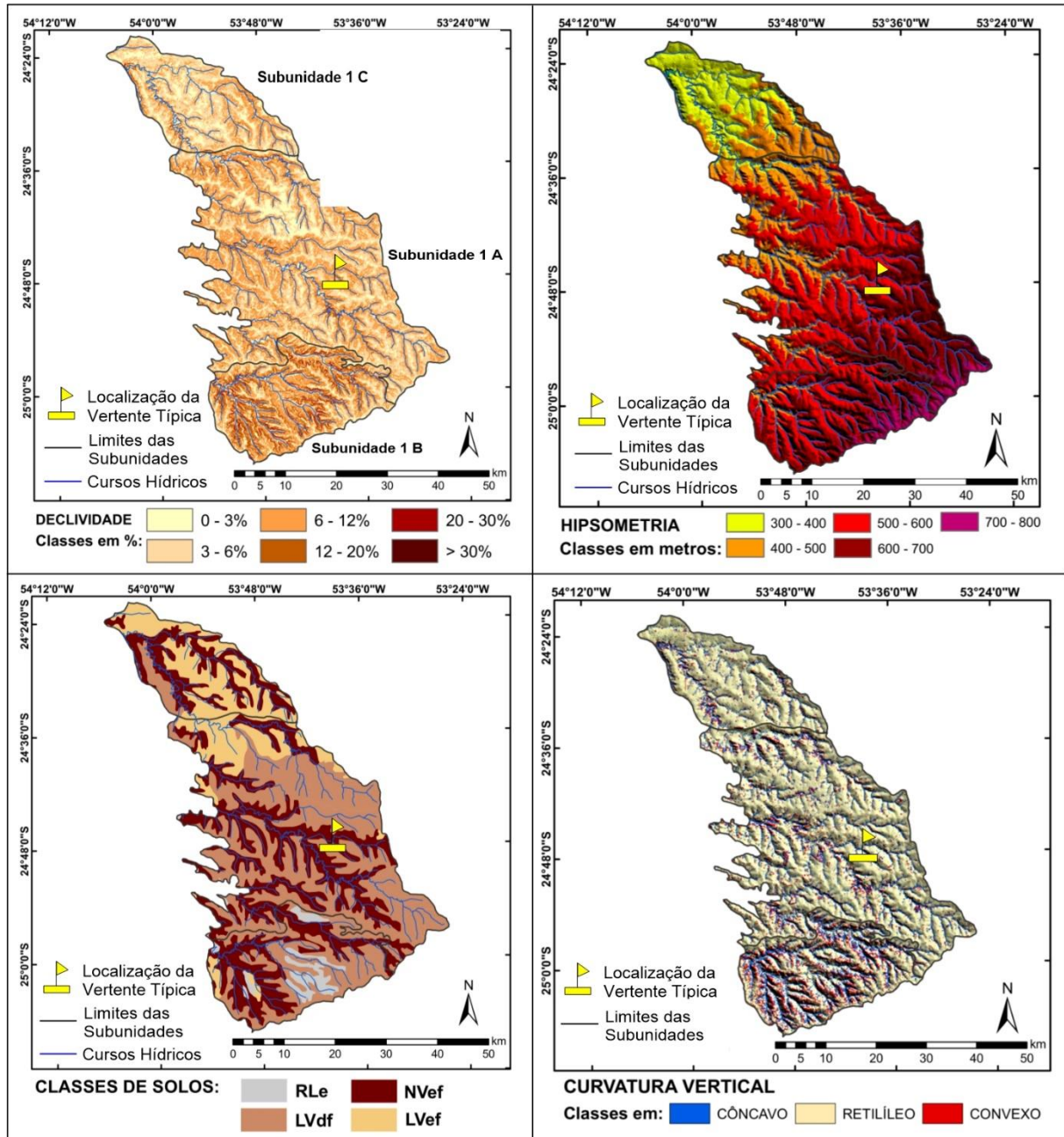


Figura 25: Unidade de Cascavel e as suas subunidades: (1.A) Toledo; (1.B) Santa Teresa do Oeste; (1.C) Nova Santa Rosa.

A unidade de Cascavel foi compartimentada em três subunidades: (1. A) - subunidade de Toledo, (1. B) - subunidade de Santa Teresa do Oeste e (1. C) - subunidade de Nova Santa Rosa, as quais foram delimitadas, conforme pode ser observado na Figura 25, pelas diferenças nas suas características morfopedológicas (declividade, morfologia das vertentes e solos).

A subunidade de Toledo, que abriga a maior parte do território municipal de Toledo e uma pequena parte de Cascavel no seu setor sudeste, corresponde aos setores mais elevados da unidade de paisagem Cascavel, com altitudes variando de 400 a 800 metros. Apresenta, do

ponto de vista geomorfológico, colinas amplas e homogêneas, caracterizadas por vertentes longas, com declividades que variam entre 0-12% e formas predominantemente convexo-retilíneas. Os topos são suavemente convexos e largos e os vales em V abertos (Figuras 26, 27 e 28).

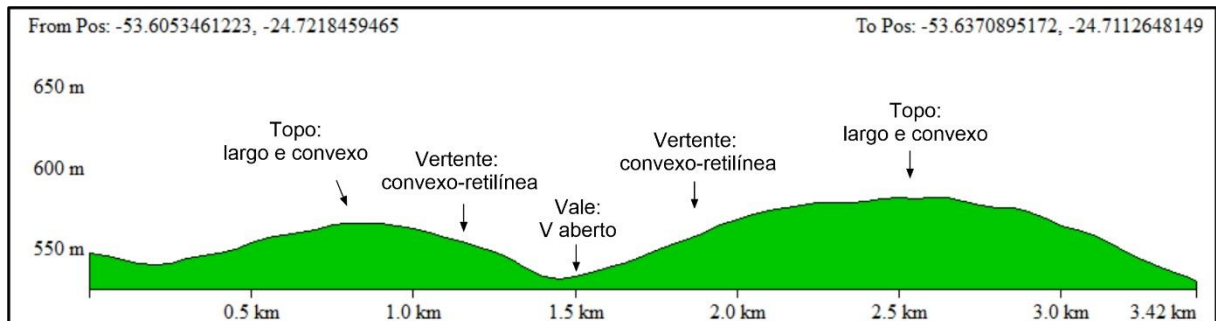


Figura 26: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Toledo.



Figura 27: Vertente convexo-retilínea na Subunidade de Toledo.



Figura 28: Detalhe da ruptura (fraca) de declive na média vertente da Subunidade de Toledo.

Do ponto de vista da cobertura pedológica, na maior parte da subunidade predominam dois sistemas pedológicos:

- um composto por Latossolo desde o topo até a baixa vertente, apresentando, contudo, uma estreita faixa de Neossolos e Cambissolos (que não aparecem nos mapas pedológicos em virtude da escala) junto às rupturas de declive, mesmo quando estas não são acentuadas (Figura 27). Este sistema domina nos setores mais altos da bacia envolvendo as cabeceiras de drenagem;
- um outro composto por Latossolos, que se estendem do topo até a média e frequentemente até a média-baixa vertente, quando passam para Nitossolos. Ocorrem ao longo das vertentes que apresentam um aumento de declividade no seu terço inferior.



Esse tipo é cada vez mais frequente à medida que se aproxima dos setores médios dos cursos d'água.

A subunidade de Santa Teresa compreende porções dos territórios dos municípios de Santa Teresa, Céu Azul e Vera Cruz do Oeste, situada ao sul da unidade de paisagem Cascavel, é relativamente mais baixa que a subunidade anterior, com altitudes variando entre 500 e 700 m. O relevo é mais dissecado quando comparado ao da subunidade de Toledo, dominado por colinas médias, de topos convexos e vales em V. As vertentes são localmente mais curtas, caracterizadas por formas convexo-côncavo-retilíneas e convexo-retilíneas (Figuras 29, 30 e 31). Tal relevo pode ser caracterizado como suave ondulado e localmente ondulado, de acordo com os critérios expostos em Santos et al. (2005).

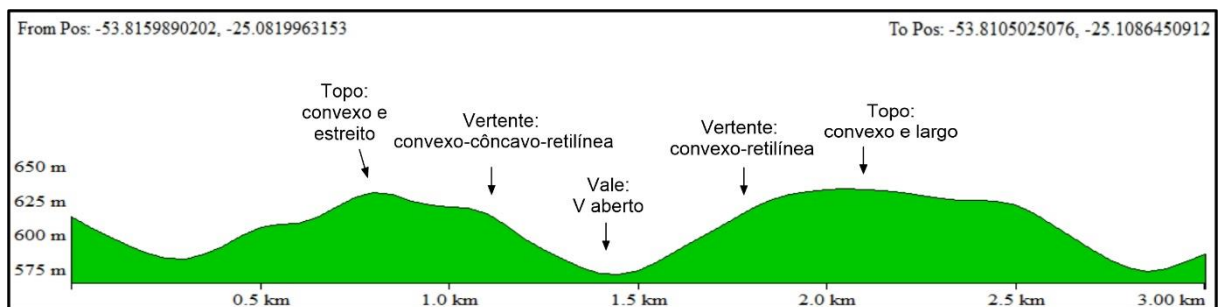


Figura 29: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Santa Teresa do Oeste.



Figura 30: Subunidade de Santa Teresa do Oeste, evidenciando as formas convexo-côncavo-retilíneas.



Figura 31: Subunidade de Santa Teresa do Oeste, evidenciando as formas convexo-côncavo-retilíneas.

Nessa subunidade, observa-se duas realidades em termos morfopedológicos: a primeira é semelhante à grande unidade de Cascavel, com predomínio de relevo suave-ondulado e declividades abaixo de 12%, com a presença de Latossolos e Nitossolos; a segunda está

associada a condições localizadas, onde o relevo é classificado como ondulado, com declividades entre 12 e 20% e rupturas de maior expressividade. Aí os Neossolos ocorrem em associação com as outras duas classes de solos dominantes – os Latossolos e Nitossolos - (Figura 30).

Nesse mesmo contexto, a subunidade de Nova Santa Rosa, apesar de apresentar condições pedológicas semelhantes à subunidade de Toledo, diferencia-se desta pela morfologia e morfometria. Do ponto de vista morfológico dominam colinas mais amplas de topos mais largos e achatados, levemente convexizados, com vertentes convexo-retilíneas e retilíneas, de declividades fracas (inferiores a 6%) desde o topo até o sopé das vertentes (Figuras 32, 33 e 34). A subunidade também ocorre em setores topográficos menos elevados, variando entre 300 e 500 metros.

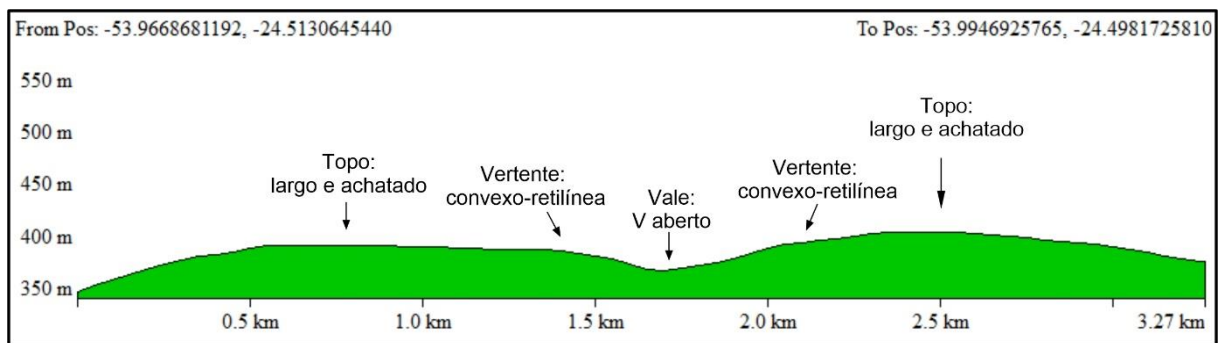


Figura 32: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Nova Santa Rosa.



Figura 33: Subunidade de Nova Santa Rosa – topo achatado e vertentes convexo-retilíneas.



Figura 34: Subunidade Nova Santa Rosa – topo levemente convexo, largo, e vertentes convexo-retilíneas.

Em geral, ao longo das três subunidades do compartimento de Cascavel, predomina um relevo composto por vertentes de formas convexo-retilíneas, recobertas predominantemente por Latossolos, comumente associados a estreitas faixas de Neossolos e/ou Nitossolos.

A partir do levantamento desses dados, decidiu-se por uma vertente característica na subunidade de Toledo, tendo em vista que esta é a mais extensa e, portanto, mais representativa da unidade Cascavel, abrangendo os dois principais tipos de vertente que ocorrem como predominantes na unidade maior. Dada a originalidade do arranjo, forma e sistema pedológico, selecionou-se como vertente característica para este estudo aquela que ocorre nos setores mais elevados, próximo às cabeceiras, dominada pelo Latossolo e com a ocorrência localizada de Neossolo na média-alta vertente (Figura 35).

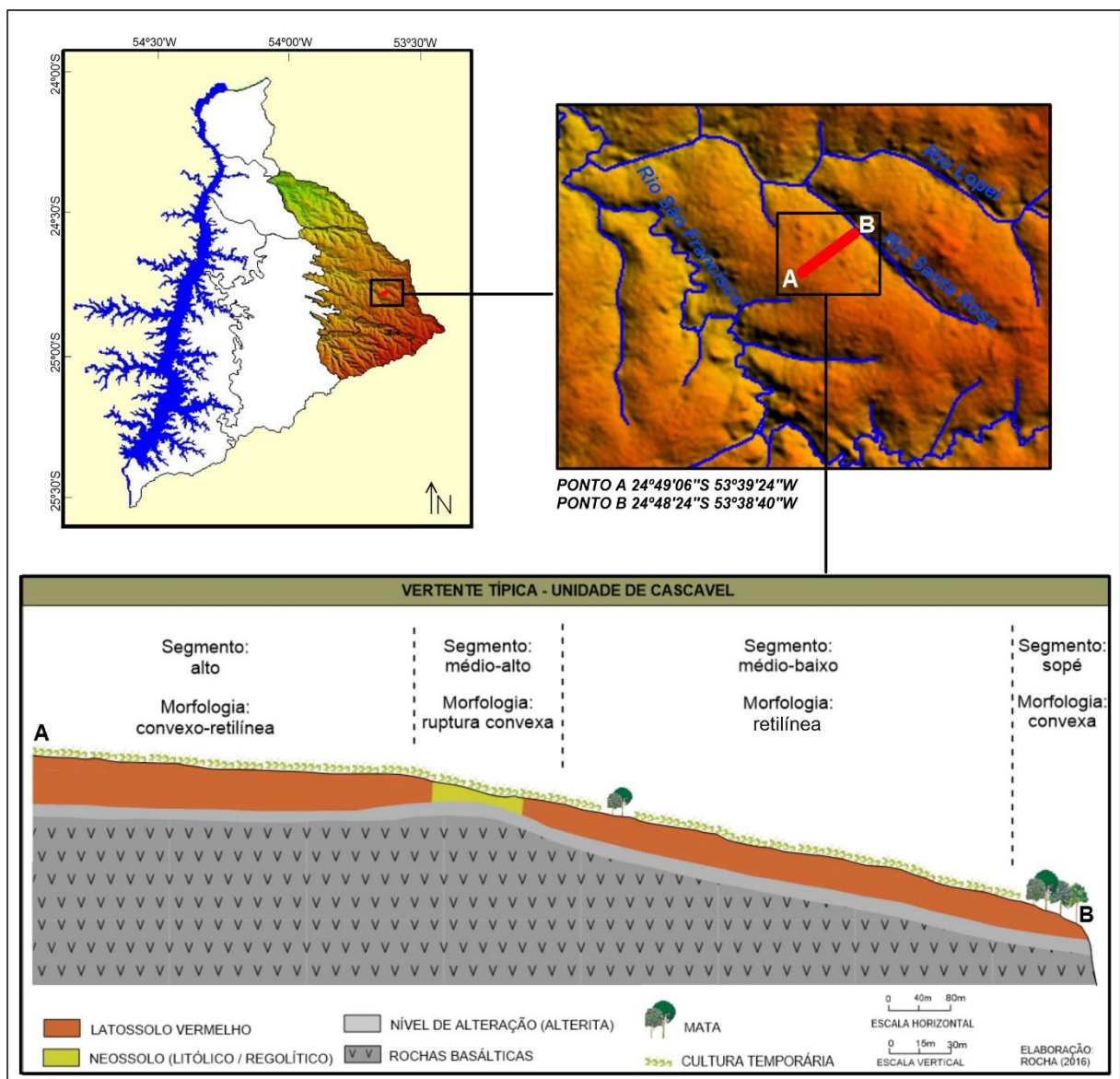


Figura 35: Localização e perfil esquemático da vertente característica na unidade de Cascavel.

A vertente característica dessa unidade apresenta 1.760 metros de comprimento e desnível de 68 metros. Essa realidade caracteriza os segmentos topográficos dominantes da unidade, comumente apresentando grandes extensões, topos convexos e largos, vertentes convexo-retilíneas e vales abertos com fundos planos.

O domínio da topografia suave ondulada e dos solos profundos e altamente intemperizados condicionam ao uso do solo geralmente composto por agricultura temporária (soja, milho, trigo, aveia), caracterizando uma agricultura intensiva e altamente mecanizada, associada a grandes propriedades distribuídas na unidade de Cascavel. Nos setores onde ocorrem o relevo ondulado, com declividades mais acentuadas, e solos de caráter Litólico e Regolítico, o uso do solo é constituído pela pastagem ou vegetação, intercaladas à agricultura temporária.

#### 4.2.3 Unidade de Paisagem de São Francisco

A unidade de São Francisco localiza-se na região central da bacia. Situada entre as unidades do platô de Cascavel e a unidade rebaixada de Foz do Iguaçu, abrange os setores médios dos cursos d'água, tributários do rio Paraná. O compartimento São Francisco caracteriza-se por apresentar o relevo com a maior dissecação em toda a unidade hidrográfica. Aí dominam os esporões que correspondem aos principais divisores de águas das bacias que compõem a unidade hidrográfica Paraná 3. Os mais extensos se apresentam alongados no sentido ESE-WNW e exibem topos cada vez mais estreitos e mais baixos à medida que avançam para WNW.

Na unidade as altitudes variam entre 200 e 700 metros e as declividades alternam-se entre fracas e muito fortes – 6 e 30%. Nesse setor, os solos apresentam baixo desenvolvimento pedogenético, com predomínio dos Neossolos Litólicos em associação com os Nitossolos (Figura 36).



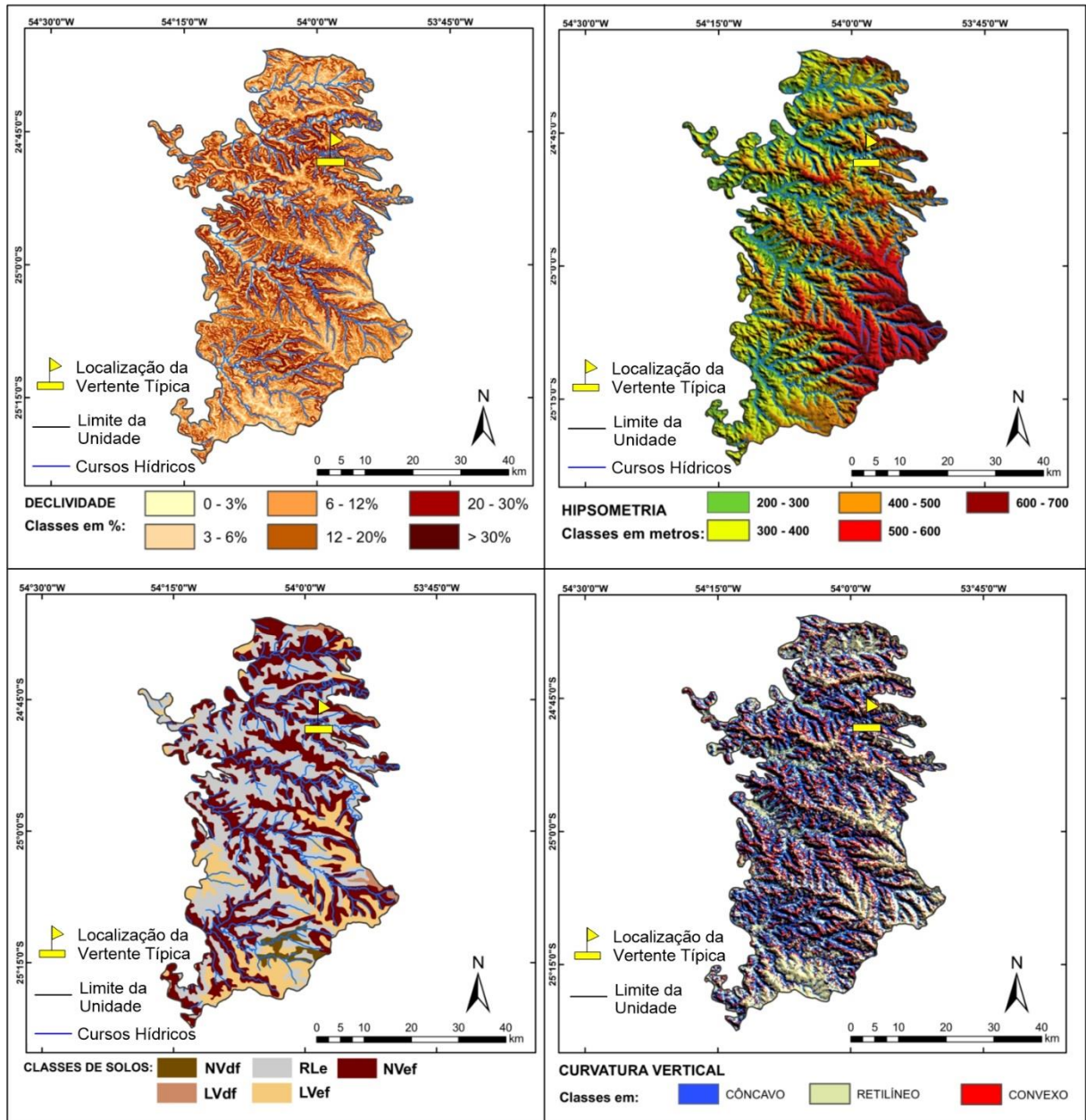


Figura 36: Unidade de São Francisco.

Na unidade de São Francisco, do ponto de vista geomorfológico, predomina um relevo de aspecto amorrado, onde os topos são estreitos e os vales são encaixados. As vertentes geralmente apresentam formas compostas, alternadas por segmentos convexos, côncavos e retilíneos, como mostra o mapa de curvatura vertical (Figura 36), marcadas por rupturas de declividade acentuadas, onde se distinguem patamares (Figura 37).

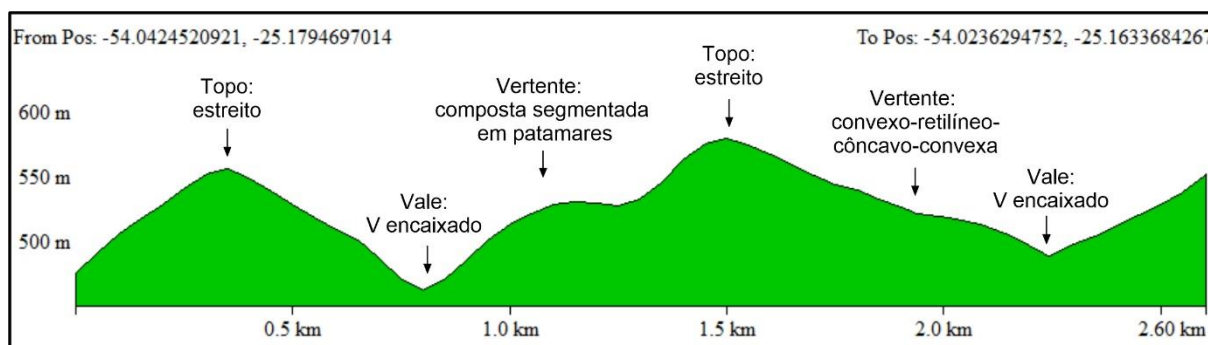


Figura 37: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de São Francisco.

Nessa unidade, a cobertura pedológica reflete as variações topográficas de forma e de declividade. Nos setores onde dominam as rupturas convexas bem marcadas, seguidas de segmentos curtos inclinados com declividades de 12 a 20% e até de 20 a 30%, é comum a presença dos Neossolos Litólicos e Regolíticos, por vezes associados aos Cambissolos. Já nas rupturas côncavas e segmentos retilíneos, com declividades entre 6-12%, verifica-se a presença dos Nitossolos.

Essas associações morfopedológicas podem ser observadas na representação da topossequência da unidade de São Francisco, marcada por rupturas e patamares que representam o modelo de vertente característica e o sistema pedológico composto por Neossolo Litólico e/ou Regolítico e Nitossolo Vermelho, dominante na maior parte da unidade.

A vertente típica de São Francisco exibe no segmento de topo, convexo e curto, o domínio do Neossolo Regolítico. O setor médio-alto, apresenta forma retilínea, mais levemente inclinada, recoberta principalmente pelo Nitossolo Vermelho. Pelas observações realizadas em campo, originalmente esse setor apresentava uma forma côncava que foi preenchida por material coluvial, de remanejamento local, gerando condições para a formação do Nitossolo. Sequencialmente, ocorrem duas rupturas muito marcadas, seguidas de segmentos fortemente inclinados no setor médio-baixo e baixo. No primeiro setor, verifica-se a ocorrência do Neossolo Litólico e, a jusante, o afloramento rochoso, em razão do aumento de declividade. Longitudinalmente, a vertente estende-se por 480 metros e tem um desnível de 90 metros (Figura 38).

As rupturas e patamares, identificadas nos setores de alta, média e baixa encosta, são de caráter estrutural, relacionadas à sequência dos derrames basálticos. Nessas rupturas, aparece o basalto vesicular/amigdaloidal, característico de topo de derrames. Esses aspectos são preponderantes nas vertentes características dessa unidade, geralmente compostas por três rupturas e seccionadas em patamares.

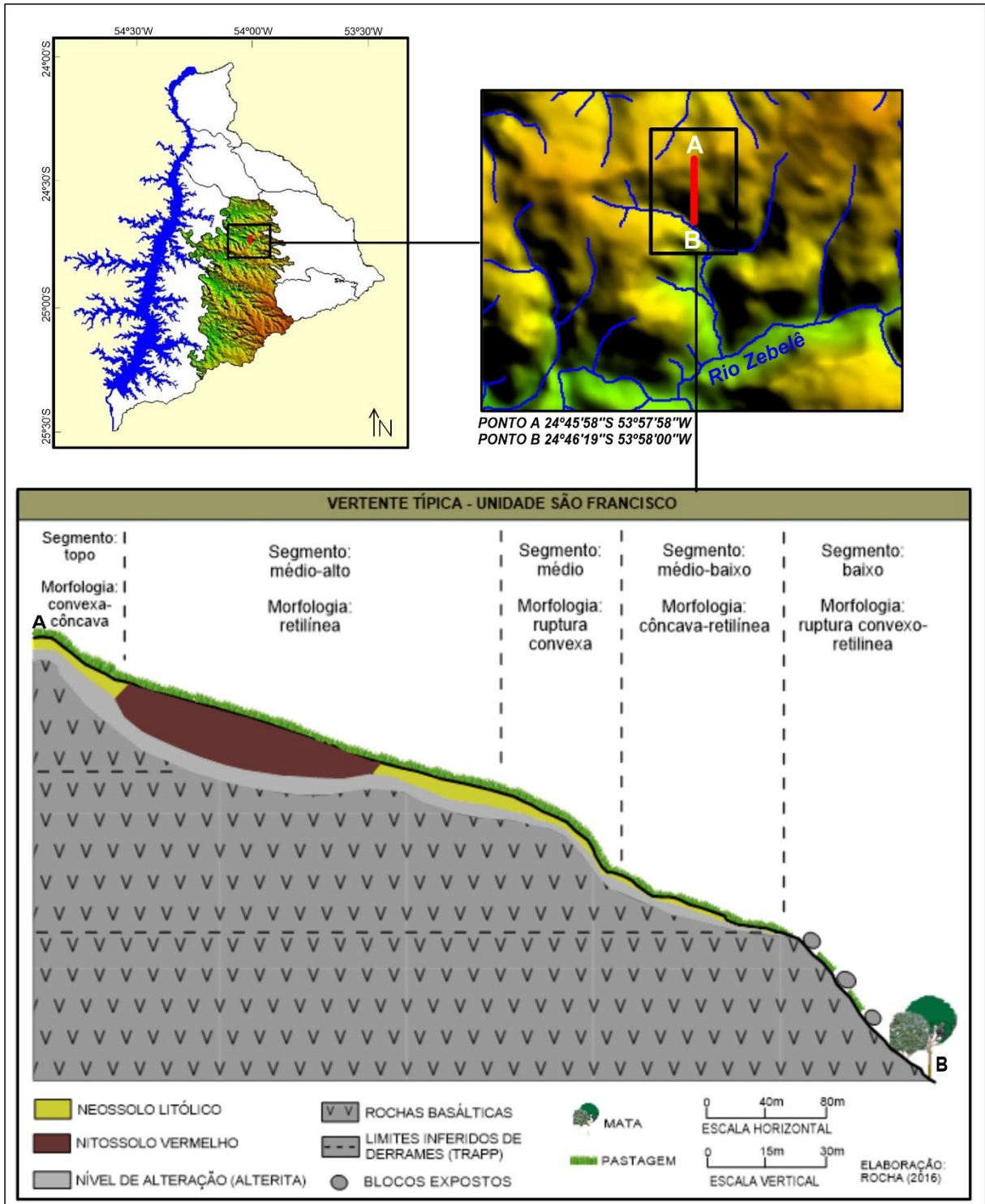


Figura 38: Localização e perfil esquemático da vertente característica na unidade de São Francisco.

Nesse sentido, cabe destacar que a unidade expõe uma realidade diferenciada em termos morfológicos ao longo dos grandes cursos hídricos, sobretudo nas proximidades dos rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso. Às margens dos cursos de grande porte (4ª ordem hídrica) observam-se formas convexas no segmento de topo e média vertente e fundos de vale



planos, compondo vales em U. Nesses setores, a classe dos Nitossolos aparece com mais frequência na baixa vertente.

No geral, dominam as áreas de relevo com maior dissecação e vales em V encaixados. As vertentes apresentam comumente rupturas marcadas de declive e estão recobertas predominantemente pelo Neossolo. Nos segmentos mais inclinados, é frequente, em superfície, a ocorrência de blocos rochosos, de diversos tamanhos (Figura 39). A essas condições geomorfopedológicas está associada a ocupação por pastagens e vegetação nativa e/ou reflorestada. Nos segmentos levemente retilíneos das vertentes, onde ocorre o Nitossolo, destacam-se usos de agricultura temporária, entremeados às pastagens e à vegetação florestal (Figura 40).



Figura 39: Detalhe da ocorrência de blocos rochosos em superfície, localizados em segmentos inclinados da unidade de São Francisco.



Figura 40: Área representativa da unidade São Francisco, domínio de Neossolo com uso de pastagem e mata nativa. As culturas temporárias aparecem nos setores alargados e planos dos fundos de vale.

Na unidade de São Francisco a pastagem e a mata nativa apresentam maior representatividade, quando comparadas as demais unidades da bacia do Paraná 3. Essa realidade encontra-se intimamente relacionada às limitações topográficas e pedológicas (altas declividades e solos predominantemente rasos).

#### 4.2.4 Unidade de Paisagem de Foz do Iguaçu

A unidade de Foz do Iguaçu localiza-se no extremo Oeste da bacia, às margens do lago de Itaipu. Compreende o setor mais baixo, com altitudes que variam de 100 a 400 metros, constituído principalmente por colinas médias e amplas (relevo suave ondulado), cujas

vertentes apresentam declividades inferiores a 6%. A cobertura pedológica é representada pelo sistema Latossolo Vermelho-Nitossolo Vermelho. Localmente, às margens do rio Paraná ou ainda em setores de planície, ocorrem manchas de Argissolo Vermelho e de Gleissolo Háplico (Figura 41).

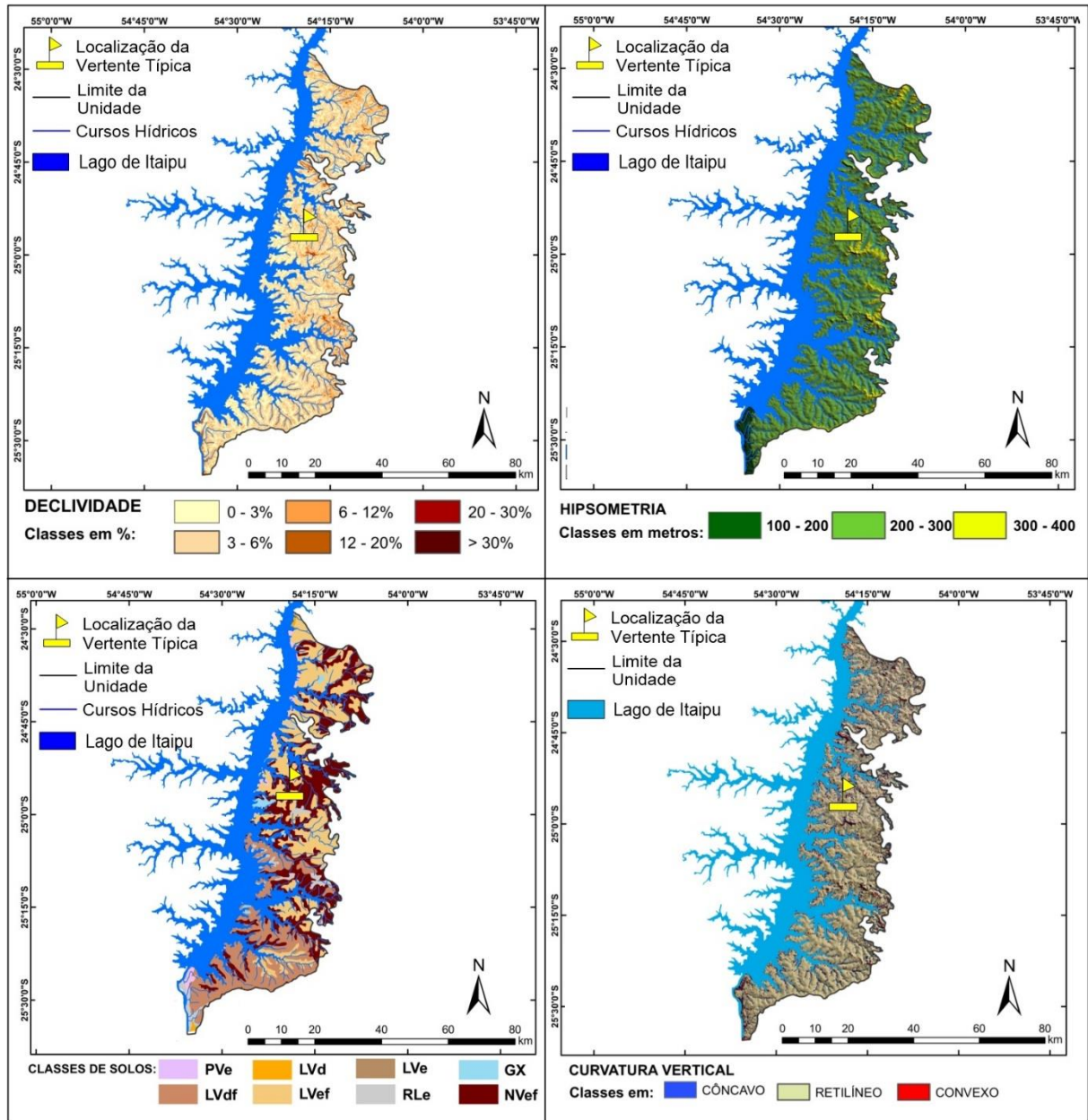


Figura 41: Unidade de Foz do Iguaçu.

Na unidade de Foz do Iguaçu, dos topos, convexos e ligeiramente achatados, partem as vertentes que são predominantemente retilíneas (Figura 41, mapa de curvatura vertical), apresentando, contudo, uma suave ruptura côncava na base, na junção com o fundo de vale (Figura 42).

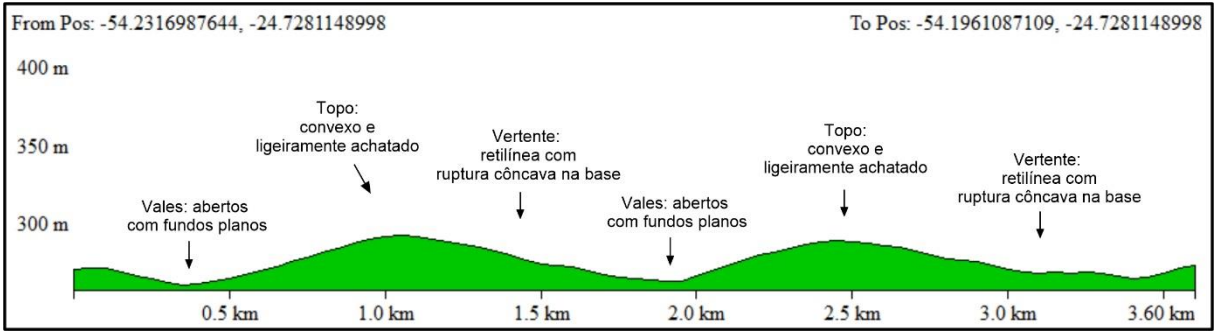


Figura 42: Perfil topográfico representativo do relevo da subunidade de Foz do Iguaçu.

A vertente característica da unidade apresenta morfologia típica convexa-retilínea, com a ocorrência do Latossolo do topo até a média vertente, passando então para o Nitossolo que se estende até ao sopé (Figura 43).

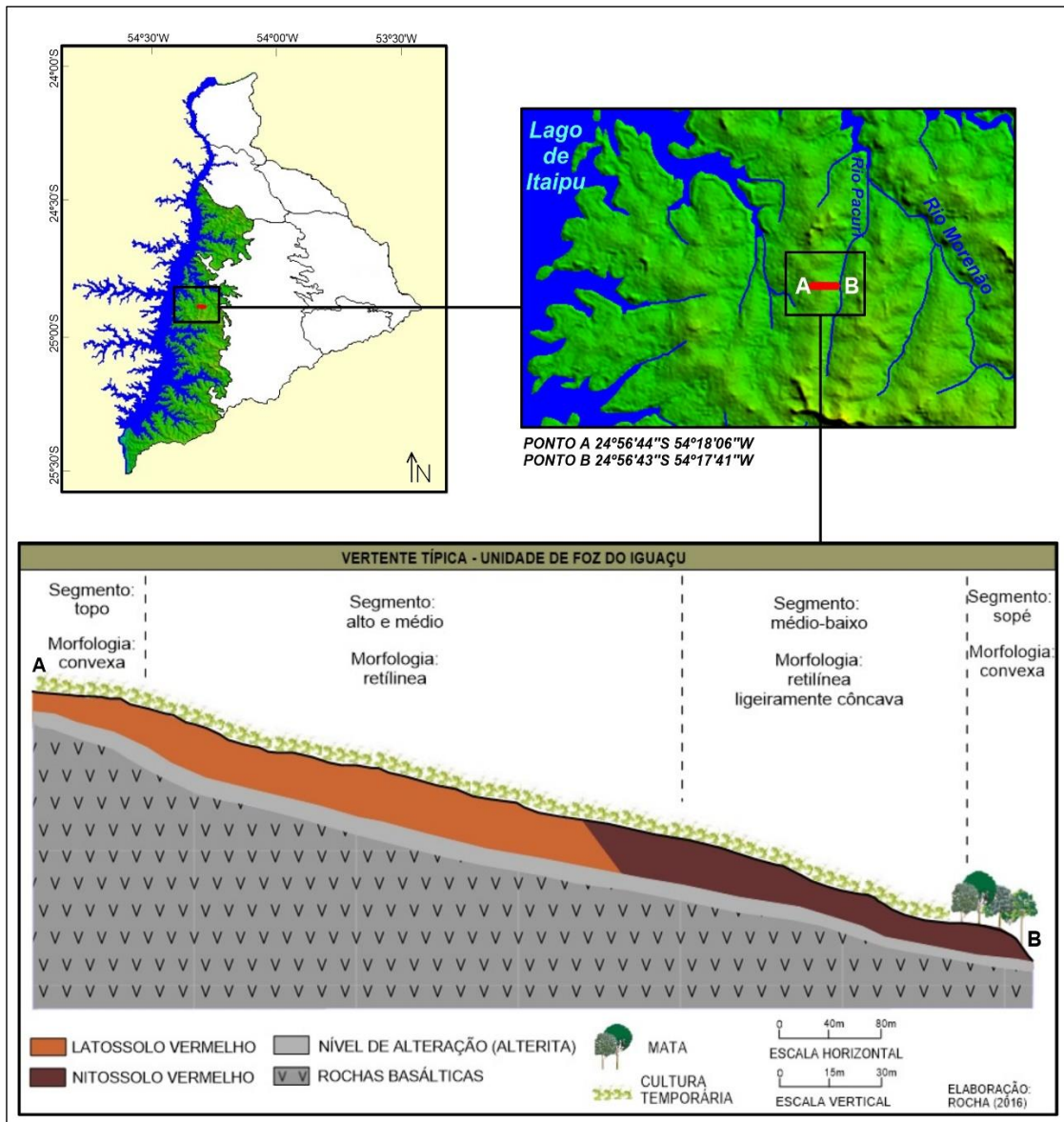


Figura 43: Localização e perfil esquemático da vertente característica na unidade de Foz do Iguaçu.



Nas áreas que margeiam o lago de Itaipu, as vertentes embora predominantemente convexo-retilíneas, comumente apresentam leves rupturas côncava no terço inferior. Nesse setor, os vales apresentam-se abertos e os fundos geralmente são planos (Figuras 44 e 45).



Figura 44: Vertente convexa-retilínea na unidade de Foz do Iguaçu.



Figura 45: Detalhe do fundo de vale plano e aberto na vertente representativa de Foz do Iguaçu.

A unidade de Foz do Iguaçu expõe características geoambientais altamente influenciadas pela formação do reservatório de Itaipu, em decorrência da construção da barragem da hidrelétrica concluída na década 1980. A inundação das margens do rio Paraná promoveu mudanças no âmbito hidrológico e morfopedológico nessa unidade de paisagem.

Do ponto de vista hidrológico, destacam-se alterações no leito do rio Paraná, sendo que no período anterior à inundação, o talude marginal apresentava altura de até 150 metros (Figura 46) e, atualmente, os taludes marginais são inferiores a 20 metros (Figura 47).

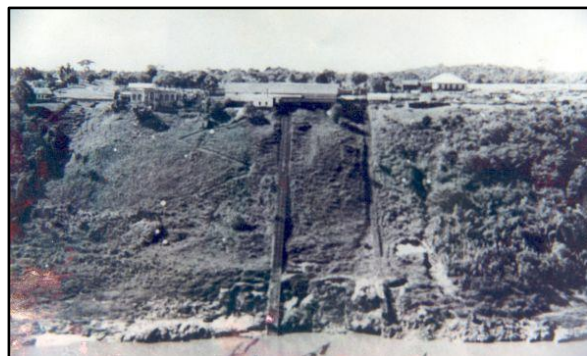


Figura 46: Talude marginal do rio Paraná anterior a inundação do lago de Itaipu.  
Fonte: Museu Histórico Padre José Gaertner (2015).



Figura 47: Praia artificial do Distrito de Porto Mendes, localizada à margem do lago de Itaipu.  
Fonte: Museu Histórico Padre José Gaertner (2015).

As alterações hídricas também são observadas em termos de velocidade de fluxo e aumento do nível de base dos cursos hídricos da unidade de Foz, assim como a possibilidade

do seu reflexo nas demais unidades a montante. Na unidade de Foz, a criação do lago de Itaipu promoveu, ainda, a criação de diversas praias artificiais, responsável por impulsionar o setor turístico.

A criação do lago e as alterações no nível de base e em toda a rede de drenagem podem ser responsáveis por modificações no equilíbrio morfopedológico, tanto lateral como vertical, dos sistemas pedogenéticos Latossolos-Nitossolos, assim como na formação dos solos hidromórficos, a exemplo dos Gleissolos, em setores marginais inundados.

Em geral, o uso da terra na unidade, predominantemente agrícola, é resultante do aproveitamento da topografia caracterizada pelas fracas declividades e dos solos favoráveis aos cultivos temporários mecanizados. Verifica-se, ainda, uma relevante produção do setor de piscicultura associada ao potencial aquático disponível em razão da formação do lago de Itaipu na região.

#### 4.3 OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS NAS VERTENTES CARACTERÍSTICAS: ASPECTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS, QUÍMICOS E HÍDRICOS

A análise detalhada dos sistemas pedológicos associados às vertentes características, englobando análises físicas, químicas e hídricas dos solos, também foram realizados nas unidades de paisagem representativas dos três grandes setores da bacia: o setor de platô, que contempla a unidade de Cascavel; o intermediário, onde se localiza a unidade de São Francisco; e o setor baixo, representado pela unidade de Foz do Iguaçu.

##### 4.3.1 Topossequência de solos da unidade de Cascavel

A topossequência associada às vertentes convexo-retilíneas características da unidade de Cascavel apresenta 1.760 metros de extensão e um desnível de 68 metros. Em termos de uso do solo, a vertente é principalmente ocupada por cultivo agrícola temporário, apresentando, na época do levantamento, do topo até a baixa vertente, cultura de milho, com pequenos setores de mata nativa no segmento médio e às margens do rio Lopei.

Essa topossequência apresenta como peculiaridade uma leve ruptura de declive, situada na média-alta vertente, onde a rocha se encontra a pouca profundidade. Tanto a montante, quanto a jusante da ruptura, verifica-se a presença do Latossolo, com horizonte Bw superior a 2 metros de profundidade (Figura 48).



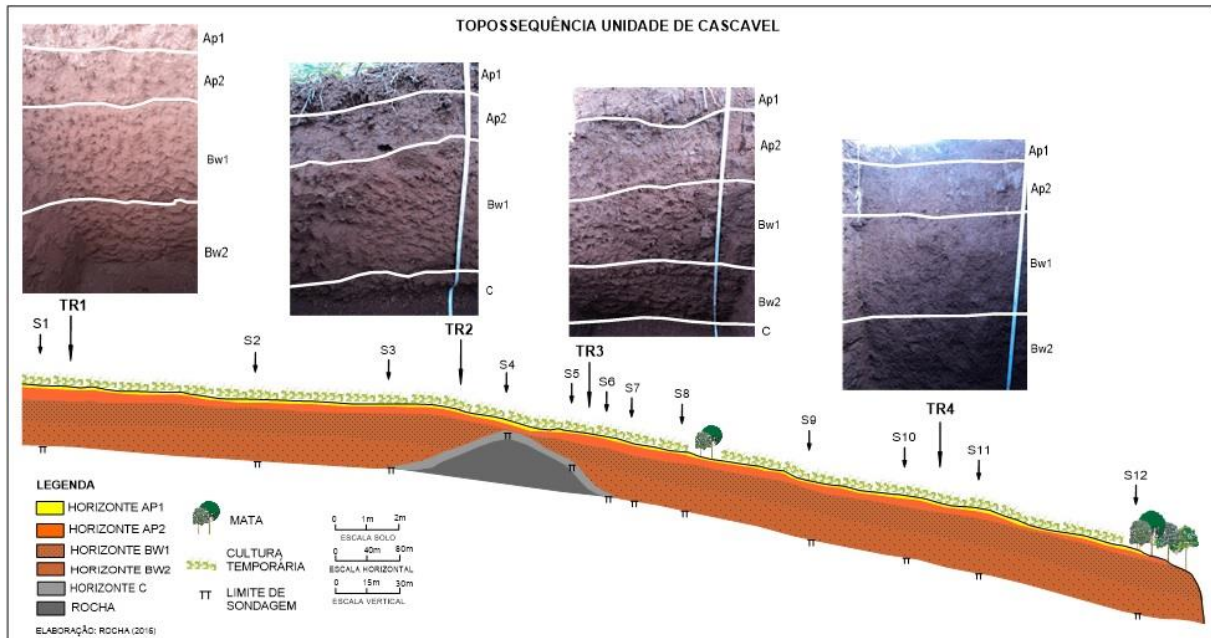


Figura 48: Topossequência da Unidade de Cascavel.

Entretanto, junto à ruptura, entre as sondagens 3 e 6, observa-se o estreitamento e desaparecimento do Bw e o aparecimento e espessamento do horizonte C, evidenciando que, além de uma ruptura de declividade (pouco marcada), ocorre aí uma zona de transformação, com o surgimento localizado de Neossolo Regolítico. Desenha-se, neste caso, uma “descontinuidade” no sistema pedológico, que trunca os segmentos a montante e a jusante dela.

Do ponto de vista dos atributos morfológicos (Tabela 5), os horizontes superficiais Ap<sub>1</sub> e Ap<sub>2</sub> apresentam características semelhantes ao longo de toda a topossequência. O volume pedológico Ap<sub>1</sub> apresenta espessura que varia entre 0 e 7cm, com textura argilosa e coloração bruno-avermelhada-escura (2,5YR 3/3) em toda a sua extensão. A estrutura é fraca, pequena e granular, apresentando grânulos muito grandes entre 2 e 3cm que se desfazem com a leve pressão dos dedos em grãos pequenos, entre 1 e 2mm. A consistência é solta, friável, plástica e pegajosa. Observa-se elevada presença de matéria orgânica nesse horizonte ao longo de toda a vertente.

Na transição do Ap para o Bw, ocorre o volume Ap<sub>2</sub>. Esse volume diferencia-se do horizonte antrópico sobrejacente pela redução de matéria orgânica e, principalmente, pela condição estrutural e porosa. No volume pedológico Ap<sub>2</sub>, a profundidade varia entre 6 e 45cm, a estrutura compõe-se de blocos subangulares grandes de 2 a 5cm, que se desfaz em blocos menores, a consistência é ligeiramente dura, friável a firme, plástica e pegajosa. A organização pedológica apresenta sinais de compactação em função do uso agrícola intensivo, que resulta

em redução de porosidade, conforme demonstram os dados de densidade e porosidade total dos solos (Tabela 6).

Tabela 5: Atributos morfológicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Cascavel.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade (cm)	Cor	Textura	Estrutura			Cerosidade Quant./ Guaú	Consistência			Transição Topo./ Contraste
				Grau	Tamanho	Tipo		Solo Seco	Solo Úmido	Solo Molhado	
1 - Ap <sub>1</sub>	(0-6cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Fraca	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - Ap <sub>2</sub>	(6 - 45cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Forte	Grande	Sub-angulares	Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - Bw <sub>1</sub>	(45-100cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - Bw <sub>2</sub>	(100-170cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - Ap <sub>1</sub>	(0-7cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Fraca	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - Ap <sub>2</sub>	(7 - 20cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - Bw <sub>1</sub>	(20-70cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - C	(70-100cm)	2,5YR 3/4	Argila	Moderado	Pequena	Sub-angulares	Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Clara
3 - Ap <sub>1</sub>	(0-6cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Fraca	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - Ap <sub>2</sub>	(6 - 30cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - Bw <sub>1</sub>	(30-80cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - Bw <sub>2</sub>	(80-160cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - C	(160 - 180cm)	2,5YR 3/4	Argila	Moderado	Pequena	Sub-angulares	Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Clara
4 - Ap <sub>1</sub>	(0-5cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Fraca	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
4 - Ap <sub>2</sub>	(5 - 25cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Forte	Grande	Sub-angulares	Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
4 - Bw <sub>1</sub>	(25-83cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Média	Sub-angulares	Pouca/ Fraca	Solta	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
4 - Bw <sub>2</sub>	(83-170cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual

Nos volumes subsuperficiais que compõem o horizonte B latossólico, identificam-se condições morfológicas diferenciadas no setor de montante, médio e baixa encosta.

No setor de topo, onde se localiza a trincheira 1, o horizonte Bw é dividido em Bw<sub>1</sub> e Bw<sub>2</sub>. O primeiro encontra-se nas profundidades entre 45 e 100cm e o segundo acima de 100cm. Ambos apresentam cor bruno-avermelhada 2,5YR 3/4, textura argilosa, com estrutura forte, pequena e granular e consistência friável e muito friável, plástica e pegajosa. Nesses volumes, evidenciam-se fragmentos de carvão e uma grande quantidade de poros de 1 a 2 mm, visíveis a olho nu. Também ocorrem pedoporos preenchidos por partículas de argila e material orgânico que migraram das partes superiores por meio da circulação hídrica e do movimento dos microrganismos.

No setor de montante, tanto o Bw<sub>1</sub> quanto o Bw<sub>2</sub> evidenciam condições típicas do Latossolo, ou seja, estrutura predominantemente granular e friável. A principal diferença entre as duas camadas ocorre em função do aumento da friabilidade, que passa da condição de friável

para muito friável do Bw<sub>1</sub> para o Bw<sub>2</sub>, e do leve aumento da quantidade de poros a partir dos 100cm de profundidade.

No segmento de jusante (Trincheira 4), o volume latossólico também é dividido em Bw<sub>1</sub> e Bw<sub>2</sub>. Na baixa vertente, as condições morfológicas apresentam condições semelhantes ao setor de montante, caracterizado pelo aumento de friabilidade e porosidade no Bw<sub>2</sub>. A principal diferença encontrada entre os setores de montante e jusante, em termos de organização pedológica, é caracterizada pelo tipo de estrutura e pela quantidade de poros evidenciado no Bw<sub>1</sub>. No segmento de baixa vertente, o Bw<sub>1</sub> apresenta estrutura em blocos subangulares, mais forte, mas que ainda se desfaz em estrutura granular. Nesse volume também é observada uma menor porosidade, quando comparada ao Bw<sub>2</sub>. A estrutura mais resistente encontrada no Bw<sub>1</sub> evidencia aspectos de adensamento.

Já no setor de média vertente, onde se localizam as trincheiras 2 e 3, todo o volume do Bw apresenta consistência muito friável e estrutura granular típica do B latossólico, diferenciando-se apenas pela ocorrência de pedotubos de origem biológica (raízes e organismos vivos) e pela maior quantidade de fragmentos de rocha alterada, na parte inferior do horizonte B, em razão da proximidade com o horizonte C. Nesse setor, a transição do Latossolo para o Neossolo ocorre gradualmente, variando de acordo com a profundidade do material parental.

A organização pedogenética da topossequência de solo pode ser melhor compreendida com a análise dos atributos físicos, químicos e hídricos dos conjuntos de montante, jusante e média encosta.

Nos setores onde ocorre o Latossolo Vermelho típico (TR1 e TR4), os valores granulométricos evidenciam aumento gradual das frações de argila em profundidade, variando entre 373 e 773 g kg<sup>-1</sup> do horizonte Ap<sub>1</sub> para Bw<sub>2</sub> e 425 para 666 g kg<sup>-1</sup> do Ap<sub>1</sub> para Bw<sub>2</sub>, nas trincheiras 1 e 4 respectivamente (Figura 49).

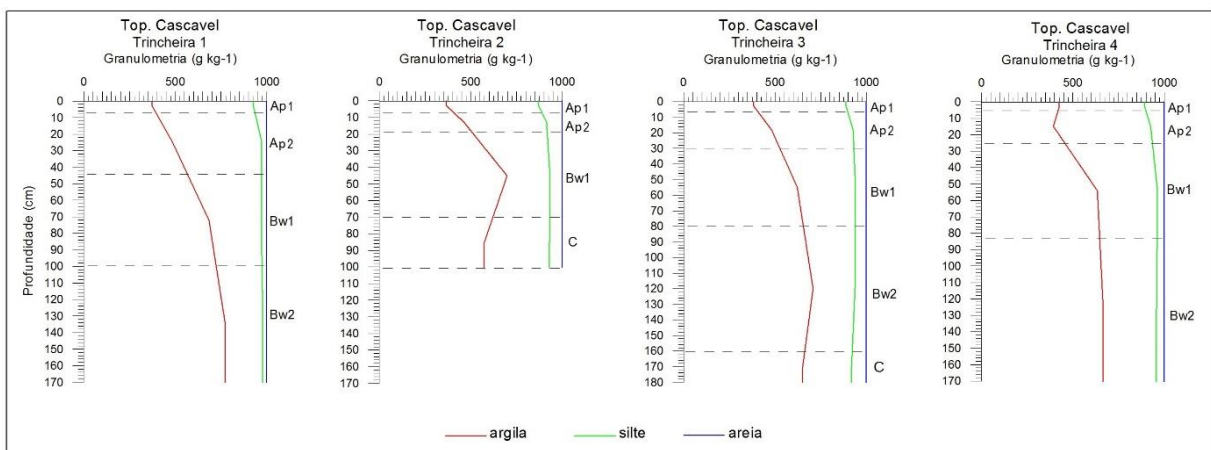


Figura 49: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Cascavel.

Cabe ressaltar que, na TR1, os valores de argila nos horizontes Bw são superiores aos da TR4, enquanto que a relação silte/argila é menor no topo (0,3 e 0,4) e ligeiramente superior (0,4 e 0,5) na base da vertente (Tabela 4), o que faz supor que o setor montante da topossequência tenha um grau de intemperismo relativamente maior.

No segmento de média encosta (Trincheira 2 e 3), a elevação dos teores de argila também é visualizada da camada superior até o horizonte Bw, porém se observa, no horizonte abaixo (horizonte C), uma redução do teor de argila em decorrência da proximidade com a rocha. Nas trincheiras 2 e 3, verificam-se teores mais altos da fração areia, sobretudo no horizonte A antrópico (Tabela 6). A maior presença de areia no horizonte superficial Ap<sub>1</sub> (129 e 111 g kg<sup>-1</sup>), verificada nas trincheiras 2 e 3, é justificada pela proximidade com o horizonte C, pela movimentação do solo e de fragmentos de rocha junto à ruptura, em grande parte, proporcionada pelo manejo agrícola sobre esses solos mais rasos que, eventualmente, atinge o horizonte C nas operações agrícolas.

Tabela 6: Atributos físico-hídricos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Cascavel.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria g kg <sup>-1</sup>			Relação Silte/Argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade Total (cm <sup>-3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	Velocidade de Infiltração (mm/h)	Condutividade Hidráulica Kfs (cm/s <sup>-1</sup> )
		Argila	Silte	Areia		Solo	Partícula			
1 - Ap <sub>1</sub>	(0-6cm)	373,00	554,86	72,14	1,5					
1 - Ap <sub>2</sub>	(6 - 45cm)	483,50	489,27	27,23	1,0	1,17	2,63	0,56	240	2,49x10 <sup>-4</sup>
1 - Bw <sub>1</sub>	(45-100cm)	683,00	288,80	28,20	0,4	0,97	2,86	0,66	900	9,32x10 <sup>-4</sup>
1 - Bw <sub>2</sub>	(100-170cm)	773,00	205,42	21,58	0,3	0,94	2,78	0,66	960	9,95x10 <sup>-4</sup>
2 - Ap <sub>1</sub>	(0-7cm)	367,50	503,44	129,06	1,4					
2 - Ap <sub>2</sub>	(7 - 20cm)	464,50	450,89	84,61	1,0	1,34	2,76	0,41	120	2,08x10 <sup>-4</sup>
2 - Bw <sub>1</sub>	(20-70cm)	699,00	235,56	65,44	0,3	1,09	2,83	0,61	780	8,08x10 <sup>-4</sup>
2 - C	(70-100cm)	575,00	355,17	69,83	0,6					
3 - Ap <sub>1</sub>	(0-6cm)	384,00	504,95	111,05	1,3					
3 - Ap <sub>2</sub>	(6 - 30cm)	481,00	444,84	74,16	0,9	1,29	2,68	0,51	180	3,12x10 <sup>-4</sup>
3 - Bw <sub>1</sub>	(30-80cm)	621,00	318,01	61,99	0,5	1,04	2,79	0,62	660	6,84x10 <sup>-4</sup>
3 - Bw <sub>2</sub>	(80-160cm)	706,50	229,78	63,72	0,3	0,96	2,78	0,65	720	7,46x10 <sup>-4</sup>
3 - C	(160 - 180cm)	652,00	265,89	82,11	0,4					
4 - Ap <sub>1</sub>	(0-5cm)	425,00	469,10	105,90	1,1					
4 - Ap <sub>2</sub>	(5 - 25cm)	392,50	533,62	73,88	1,4	1,31	2,74	0,52	60	1,04x10 <sup>-4</sup>
4 - Bw <sub>1</sub>	(25-83cm)	633,00	330,04	36,96	0,5	1,21	2,83	0,57	540	5,59x10 <sup>-4</sup>
4 - Bw <sub>2</sub>	(83-170cm)	666,50	291,97	41,53	0,4	1,01	2,82	0,64	840	8,70x10 <sup>-4</sup>

No que se refere às condições físico-hídricas do solo, é possível identificar estreitas relações entre os dados de densidade, porosidade e a circulação hídrica.

Ao longo de toda a topossequência, observam-se elevados valores de densidade de solo, assim como porosidade e permeabilidade reduzidas no volume superficial (horizonte Ap<sub>2</sub>). Já nas camadas subsuperficiais que compõem os horizontes latossólicos (Bw<sub>1</sub> e Bw<sub>2</sub>), verifica-se a diminuição dos valores de densidade do solo, aumento da porosidade total, assim como da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica, que crescem de forma constante à medida em que aumenta a profundidade (Tabela 6).

No segmento de topo (TR1), o horizonte Ap apresenta 0,56 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup> de porosidade e a circulação hídrica alcança 240 mm/h (Vi) e 2,49 x 10<sup>-4</sup> cm/s (Kfs). A partir dos 45cm, a porosidade aumenta cerca de 10%, chegando a 0,66 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup>, sendo que a velocidade de infiltração varia entre 900 e 960 mm/h e a condutividade entre 9,32 e 9,95 x 10<sup>-4</sup> cm/s, nos horizontes Bw<sub>1</sub> e Bw<sub>2</sub>, respectivamente. Nesse setor, a permeabilidade da água no solo acompanha basicamente a variação da porosidade, conforme se observa na figura 50.

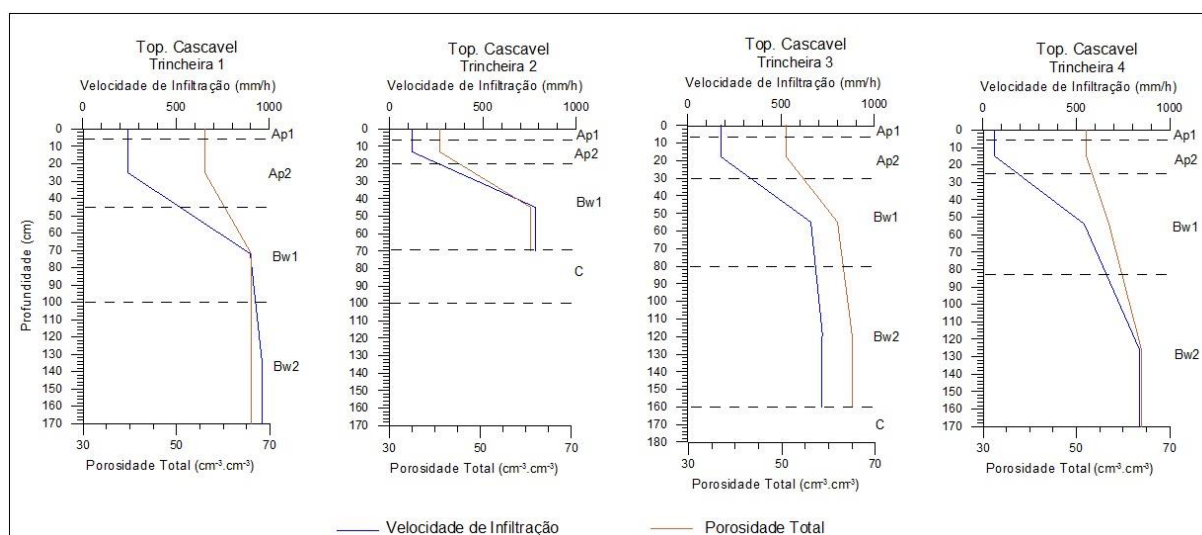


Figura 50: Relação entre a velocidade de infiltração e porosidade total do solo na topossequência de Cascavel.

Na média encosta, a camada superficial também apresenta maior adensamento e reduzida porosidade no horizonte Ap<sub>2</sub>, tanto a montante (TR2) como a jusante (TR3) da ruptura de declive. Em ambos os setores, a porosidade aumenta no volume Bw, variando entre 0,61 e 0,65 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup>, com proporcional acréscimo da permeabilidade, apresentando 780 mm/h no Bw<sub>1</sub>, a montante, e 720 mm/h de velocidade de infiltração no Bw<sub>2</sub>, a jusante da ruptura.

Na baixa vertente, a porosidade total e o comportamento hídrico seguem a tendência de evolução constante em profundidade. No entanto, os valores relativos à quantidade de poros (0,52 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup>) e à circulação hídrica (60 mm/h Vi, 1,04x10<sup>-4</sup> cm/s kfs) do volume Ap<sub>2</sub> compõem os mais baixos índices encontrados ao longo da vertente.

No volume latossólico Bw<sub>1</sub>, a jusante, também se verificam valores inferiores aos padrões encontrados nos segmentos de topo e média encosta. O Bw<sub>1</sub> apresenta aumento de apenas 3% de porosidade em relação ao horizonte superior, sendo que nos demais setores esse aumento varia entre 10 a 20%. Os valores de circulação hídrica, assim como a porosidade, também são menores quando comparados aos do horizonte Bw na mesma profundidade, a montante. As diferenças observadas nesse segmento encontram-se particularmente associadas às condições de compactação do horizonte superficial, evidenciadas em campo, responsáveis por restringir o funcionamento hídrico, tanto do volume Ap quanto da camada superior do horizonte Bw.

Já no volume Bw<sub>2</sub>, encontrado a partir de 83 cm de profundidade, ocorre novamente o aumento da porosidade total ( $0,64 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) e amplia-se a permeabilidade ( $V_i$  840 mm/h e  $K_{fs}$   $8,70 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ).

Em geral, os valores referentes ao comportamento hídrico encontrados nos horizontes de superfície e subsuperfície assemelham-se aos encontrados em Latossolos de textura argilosa em outras pesquisas realizadas com o emprego do Permeâmetro de Guelph. Sousa e Celligoi (2011), ao avaliar a condutividade hidráulica nas camadas superficiais em área agrícola a uma profundidade de 30 cm, encontraram valores entre  $2,3$  e  $7,3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ . Quanto à velocidade de infiltração, Marcato (2016) observou valores médios entre 280 e 375 mm/h, nas profundidades entre 0 e 40 cm. Comparativamente, os dados da topossequência de Cascavel mostraram que a condutividade manteve-se entre  $1,04$  e  $3,12 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  e a velocidade de infiltração entre 60 e 240 mm/h, em profundidades inferiores a 40 cm.

Em profundidades maiores, Vasconcellos e Bernardes (2014) observaram a  $K_{fs}$  variando entre  $1,25 \times 10^{-3}$  e  $7,94 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ , à 50 cm, e variações entre  $1,06 \times 10^{-3}$  e  $9,67 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  à 90 cm. Na área de estudo, a condutividade hidráulica apresentou valores mínimos de 5,59 e máximos de  $9,95 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  para profundidades próximas a essas (Tabela 6).

Do ponto de vista das características químicas, a distribuição vertical de matéria orgânica concentra-se particularmente nos volumes Ap<sub>1</sub> e Ap<sub>2</sub>, diminuindo progressivamente em direção ao Bw<sub>1</sub> e Bw<sub>2</sub> (Figura 51). Em relação à distribuição lateral, no horizonte superficial Ap<sub>1</sub>, os teores de matéria orgânica variam entre  $38,8 \text{ g dm}^{-3}$  no setor de montante (TR1),  $41,01 \text{ g dm}^{-3}$  na média-alta encosta (TR2),  $39,64 \text{ g dm}^{-3}$  após a ruptura (TR3) e  $43,74 \text{ g dm}^{-3}$  a jusante (TR4). Como se observa, os maiores teores ocorrem na média-alta e na baixa encosta.

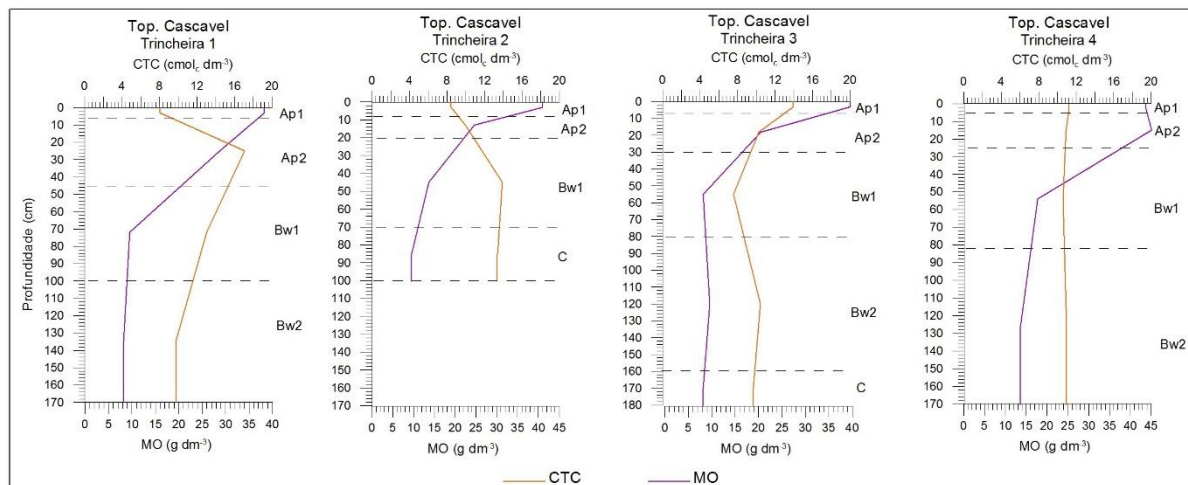


Figura 51: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de Cascavel.

A capacidade de troca de cátions (CTC) apresenta variação vertical e lateral ao longo da topossequência. No topo e alta vertente, a cobertura pedológica apresenta os maiores valores na superfície, com destaque para o horizonte Ap<sub>2</sub> (17,10  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ). Entretanto, no perfil a montante da ruptura de declividade (TR2), a capacidade de troca catiônica aumenta em profundidade, como foi constatado no Bw<sub>1</sub> (13,90  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ). Já no segmento a jusante da ruptura, ocorrem novamente os valores mais elevados de CTC nos horizontes superficiais, como no horizonte Ap<sub>1</sub> que apresenta CTC de 13,95  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ . Já no segmento de baixa encosta, a CTC não apresenta variações significativas com a profundidade, oscilando entre 11,21 no horizonte Ap<sub>1</sub>, 10,57  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$  no horizonte Bw<sub>1</sub> e 10,97  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$  no Bw<sub>2</sub> (Figura 51).

Ao longo da topossequência verifica-se que os solos apresentam saturação (V%) acima de 50%, o que lhes confere o caráter químico eutrófico. As taxas relativamente mais baixas de saturação, mas ainda superiores a 50% (excetuando-se o horizonte A da TR1), ocorrem no topo e alta vertente, enquanto, para jusante, essas taxas são ainda mais elevadas, frequentemente superiores a 70%. O cálcio, cujos teores variam entre 3,12 e 8,13  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ , é o elemento químico mais abundante no complexo de troca, seguido pelo magnésio (teores entre 0,48 e 2,14  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ). Apenas no topo e alta vertente foi detectada a presença de alumínio trocável, teores entre 1,25 e 1,65  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ , sem implicar, contudo, em toxidez desse elemento (Tabela 7).

O caráter eutrófico observado permite classificar o Latossolo que ocorre nesse sistema pedológico como Latossolo Vermelho Eutrófico, contrariando o que é indicado pelos levantamentos pedológicos desenvolvidos por Bhering et al. (2007) e Embrapa (2008), ao longo da unidade, que o classificam como Distroférico. O caráter férrico (teores de ferro de 180  $\text{g kg}^{-1}$  a  $< 360 \text{ g kg}^{-1}$ ) que aparece associado a essa classe de solos é comum aos Latossolos desenvolvidos sobre rochas básicas, como os basaltos.



Tabela 7: Atributos químicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Cascavel.

Trincheira/ Horizonte	Horizonte Horizonte (cm)	P mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al
1 - Ap <sub>1</sub>	(0-6cm)	11,98	38,28	5,9	3,19	0,00	0,39	3,47	1,03	4,89	8,08	60,52	0,00
1 - Ap <sub>2</sub>	(6 - 45cm)	3,21	28,71	4,1	8,60	1,65	0,39	6,46	1,65	8,50	17,10	49,71	16,26
1 - Bw <sub>1</sub>	(45-100cm)	1,09	9,57	4,3	5,88	1,25	0,15	5,21	1,81	7,17	13,05	54,94	14,85
1 - Bw <sub>2</sub>	(100-170cm)	1,11	8,20	4,6	3,82	0,25	0,25	4,17	1,52	5,94	9,76	60,86	4,04
2 - Ap <sub>1</sub>	(0-7cm)	28,25	41,01	6,2	2,50	0,00	0,39	4,07	0,48	5,94	8,45	70,30	0,00
2 - Ap <sub>2</sub>	(7 - 20cm)	5,64	24,61	5,4	3,68	0,00	0,31	4,54	1,40	6,25	9,93	62,94	0,00
2 - Bw <sub>1</sub>	(20-70cm)	1,04	13,67	5,8	3,19	0,00	2,08	6,61	2,02	10,71	13,90	77,05	0,00
2 - C	(70-100cm)	1,07	9,57	5,4	3,44	0,00	1,00	7,09	1,85	9,94	13,38	74,29	0,00
3 - Ap <sub>1</sub>	(0-6cm)	29,22	39,64	6,0	3,07	0,00	0,65	8,13	2,10	10,88	13,95	77,99	0,00
3 - Ap <sub>2</sub>	(6 - 30cm)	2,19	20,51	5,8	3,14	0,00	0,31	5,21	1,60	7,12	10,26	69,40	0,00
3 - Bw <sub>1</sub>	(30-80cm)	1,07	8,20	5,6	3,39	0,00	0,29	3,12	0,74	4,15	7,54	55,04	0,00
3 - Bw <sub>2</sub>	(80-160cm)	1,04	9,57	5,1	3,14	0,10	0,26	5,11	1,93	7,30	10,44	69,92	1,35
3 - C	(160 -180cm)	1,06	8,20	4,4	3,76	0,10	0,17	4,57	1,19	5,93	9,69	61,20	1,66
4 - Ap <sub>1</sub>	(0-5cm)	17,93	43,74	5,6	3,65	0,00	0,13	5,30	2,14	7,56	11,21	67,44	0,00
4 - Ap <sub>2</sub>	(5 - 25cm)	3,65	45,11	5,6	3,26	0,00	0,23	5,41	1,98	7,62	10,88	70,04	0,00
4 - Bw <sub>1</sub>	(25-83cm)	1,20	17,77	5,9	2,81	0,00	0,43	5,44	1,89	7,76	10,57	73,42	0,00
4 - Bw <sub>2</sub>	(83-170cm)	1,33	13,67	6,2	2,33	0,00	0,44	6,14	2,06	8,64	10,97	78,76	0,00

Quanto às condições de acidez da cobertura pedológica, para evitar o efeito que o regime hídrico e a variação de sais solúveis provocam nos valores de pH, considera-se aqui os dados obtidos em solução de CaCl<sub>2</sub> (Tabela 7). Ressalta-se, contudo, que nessa condição os valores são inferiores em 0,5 a 1 unidade em relação àqueles medidos em água (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002). Considerando-se, portanto, essa diferença de medida, verifica-se que ao longo da topossequência as condições variam entre ácidas a moderadamente ácidas, podendo atingir condições de neutralidade, ou próximas a essa, nos volumes superficiais da média-alta vertente, junto à ruptura. Nesse sistema, as condições relativamente mais ácidas do complexo químico do solo ocorrem no topo e alta vertente (pH 4,1 a 4,6), sobretudo nos horizontes Bw, enquanto que, a jusante, as condições se tornam moderadamente ácidas (pH variando entre 5,4 e 6,2). As condições de acidez verificadas, principalmente aquelas dos horizontes superficiais, mostraram-se adequadas à produção agrícola da área. Conforme destaca Motta e Barcelos (2007), a maioria das plantas cultivadas cresce melhor em solos levemente ácidos, com pH entre 5,5 e 6,5.

A ocorrência de rocha à pequena profundidade no setor de média-alta vertente introduz uma zona de transformação lateral, nesse sistema pedológico. As transformações laterais estão relacionadas principalmente ao aparecimento e espessamento do Bw. No setor em que o bloco rochoso está mais próximo à superfície, a cobertura pedológica é estreita e constituída apenas pelos horizontes Ap<sub>1</sub> e Ap<sub>2</sub>, justapostos ao horizonte C, também relativamente estreito, configurando aí um Neossolo Regolítico. Entretanto, lateralmente, aparece um horizonte B, que



atinge a espessura de 50 cm (limite mínimo exigido para o Bw, de acordo com a EMBRAPA, 2013), a cerca de 60 metros (TR2) a montante do bloco rochoso e a menos de 50 metros (TR3) a jusante, apresentando, portanto, todas as características básicas que permitem defini-lo como um Bw. Desse modo, apenas em uma faixa estreita de alguns metros, ladeando o bloco rochoso, o horizonte B apresenta menos de 50 cm mantendo, contudo, todos os outros atributos do Bw. Assim, o sistema pedológico que ocorre ao longo dessa vertente característica, apesar da forma convexo-retilínea, com uma ruptura de declividade pouco marcada na passagem do segmento convexo para o retilíneo, é constituído de fato pela sequência Latossolo Vermelho Eutroférico – Neossolo Regolítico – Latossolo Vermelho Eutroférico.

É possível supor, ainda, que em algumas vertentes da unidade possam ocorrer três outras situações, modificando o sistema pedológico: a) a ocorrência de uma estreita faixa de Cambissolo Háptico Eutroférico, fazendo a transição entre o Neossolo Regolítico e o Latossolo; b) o aparecimento apenas do Cambissolo no setor de média-alta encosta, passando a montante e a jusante para o Latossolo; c) o Latossolo Vermelho estendendo-se por toda a vertente. Essas variações podem ocorrer dependendo da profundidade maior ou menor do bloco rochoso em relação à superfície, e da sua extensão.

A existência desse bloco rochoso ocorre em virtude da sequência dos derrames vulcânicos que alterna camadas de espessuras variáveis, além de contrapor, no mesmo derrame, um nível maciço mais resistente com níveis amigdaloidais e/ou vesiculares que se intemperizam com maior facilidade. Por isso, na unidade, é frequente a ocorrência de rupturas de declividade, pouco ou mais marcadas, nos setores de alta e alta-média vertente, associadas à presença de rocha à pouca profundidade. A existência de uma faixa de solos mais rasos nessas vertentes não tem produzido, pelo que se observa em campo, problemas significativos para o seu uso agrícola, no que se refere às culturas temporárias mecanizadas.

#### 4.3.2 Toposequência de solos da unidade de São Francisco

A vertente típica da unidade de São Francisco apresenta 480 metros de extensão e desnível de 90 metros. Em termos de uso do solo, é basicamente ocupada por pastagem desde o topo até o sopé, com exceção de uma pequena faixa de vegetação na margem do curso d'água. Trata-se de uma vertente formada, como já foi visto anteriormente, por dissecação forte, que produziu a alternância de segmentos curtos e formas variadas (convexas, côncavas, retilíneas), gerando patamares e rupturas marcadas, recoberta predominantemente por solos rasos (Figura 52).

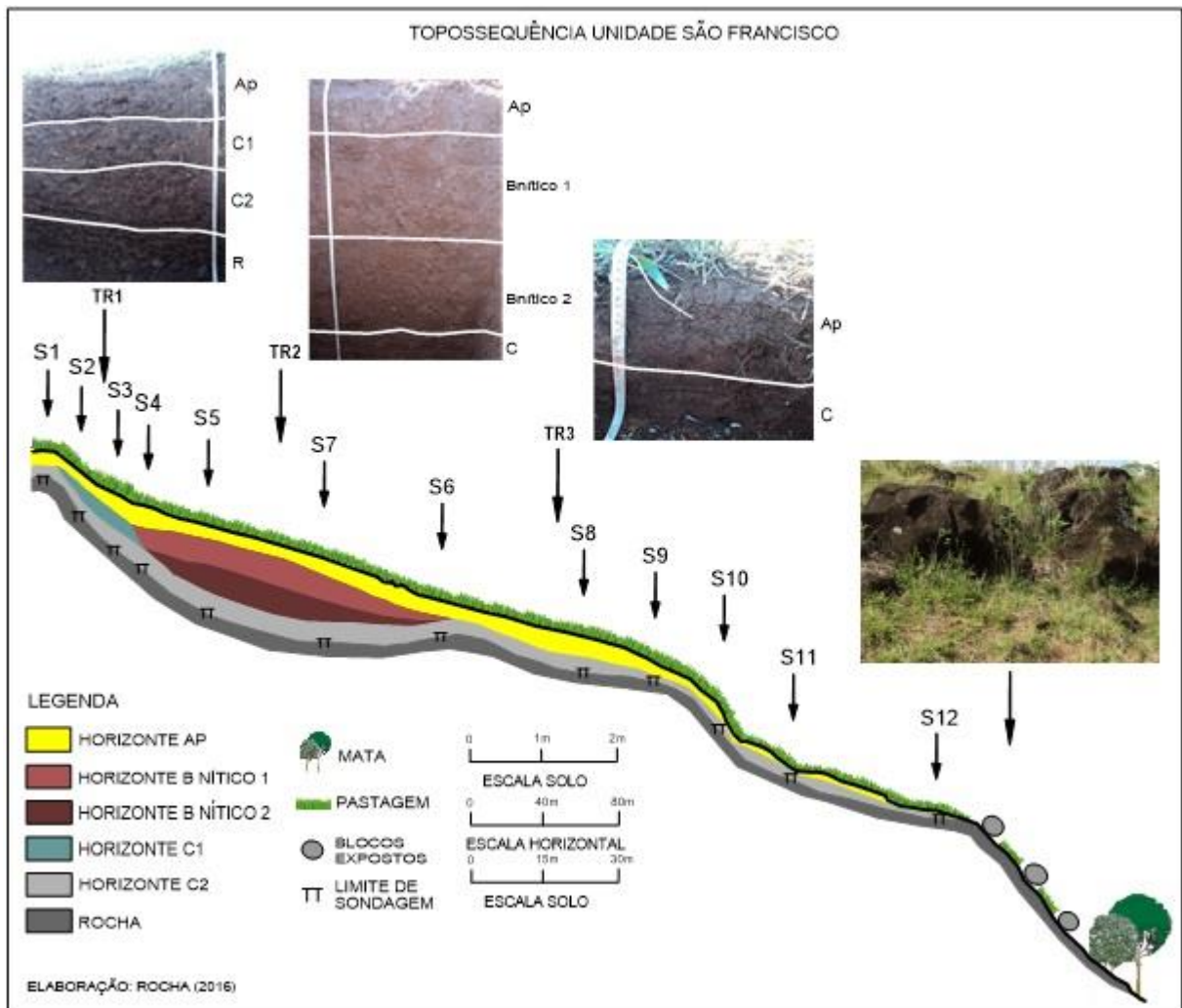


Figura 52: Toposequência da unidade de São Francisco.

A ligação do topo com a alta vertente acontece por uma ruptura convexa marcada, seguida de uma leve concavidade, com horizonte A sobreposto ao C e contato lítico a 60cm. No setor de alta a alta-média vertente (S4 - S6), há um segmento retilíneo moderadamente inclinado, onde a cobertura se espessa e ocorre o aparecimento de um horizonte B nítico. Entretanto, a partir da metade desse segmento (trecho entre a S6 e S-10) até a ruptura convexa que o delimita, o horizonte B nítico desaparece, voltando à sequência de A-C. Essa ruptura convexa (junto à S-10) é bem marcada, acompanhada de um segmento curto, retilíneo, fortemente inclinado, o que caracteriza o setor a montante, em termos morfológicos, como um patamar largo e relativamente inclinado. A jusante, da média-baixa até a base da vertente, uma outra sequência de rupturas e segmentos alternando formas côncava, retilínea e convexa formam um novo patamar, morfológicamente mais marcado que o anterior. Aí, a partir da

sondagem 11, o horizonte C diminui gradativamente até chegar ao afloramento rochoso no segmento retilíneo final da baixa encosta (Figura 52).

O horizonte superficial Ap estende-se do topo até a última ruptura de declive (S12), no terço inferior da encosta. Apresenta coloração vermelha escura 2YR 2,5/2 a montante e bruno-avermelhada 3/3, na média vertente. Em toda a sequência do volume superficial, verifica-se textura argilosa, estrutura moderada, média e em blocos subangulares (1 a 2cm). A consistência é ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa e a transição para o horizonte subjacente ocorre sempre de forma ondulada e gradual (Tabela 8).

Em vários setores da encosta, o horizonte Ap apresenta uma grande quantidade de raízes associadas a poros em formato vertical. Nesse volume, também se observa uma aparente compactação em razão das práticas de uso e manejo do solo (intenso pisoteio de gado). Devido ao contato próximo com a rocha, ocorrem em meio ao horizonte Ap vários fragmentos de rocha alterada com diâmetro entre 2 e 5 mm.

Tabela 8: Atributos morfológicos dos perfis de solo da toposequência da unidade de São Francisco.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade (cm)	Cor	Textura	Estrutura			Cerosidade Quant./ Guau	Consistência			Transição Topo./ Contraste
				Grau	Tamanho	Tipo		Solo Seco	Solo Úmido	Solo Molhado	
1 - Ap	(0 - 15cm)	2,5YR 2,5/2	Argila	Moderada	Média	Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - C <sub>1</sub>	(15-34cm)	2,5YR 3/3 - 5YR 4/4	Franco-siltosa	Moderada	Média	Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - C <sub>2</sub>	(34-60cm)	2,5YR 3/3 - 5YR 4/4	Argilo-siltosa	Moderada	Média	Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Clara
2 - Ap	(0 - 28cm)	2,5YR 3/3	Argila	Moderada	Média	Sub-angulares e Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - B nítico <sub>1</sub>	(28-70cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Grande	Sub-angulares e Sub-angulares	Abundante/ Forte	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - B nítico <sub>2</sub>	(70-135cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Muito Grande	Sub-angulares	Abundante/ Forte	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - C	(135-170cm)	2,5YR 3/4	Argilo-siltosa	Moderado	Média	Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - Ap	(0 - 20cm)	2,5YR 3/3	Argila	Moderada	Média	Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - C	(20-30cm)	2,5YR 3/3	Argila	Moderada	Média	Sub-angulares	Pouca/ Frac	Lig. Dura	Firme	Lig.Plástica/ Pegajosa	Plana/ Abrupta

Nos volumes subsuperficiais, a cobertura pedológica apresenta organização vertical e lateral condicionada às rupturas de declive. As três rupturas sequenciais determinam o estágio de desenvolvimento pedogenético em razão da inclinação e, principalmente, do comprimento.

No setor de montante (Trincheira 1), nas proximidades da ruptura, ocorrem solos rasos com a presença do horizonte C, subdivido em C<sub>1</sub> com espessura de 15-34cm e C<sub>2</sub> de 34 a 60cm. Ambos os volumes se caracterizam por cores bruno-avermelhada escura 2,5YR 3/3 (agregados de solo) e bruno-avermelhada 5YR 4/4 (fragmentos de rocha), textura franco-siltosa no C<sub>1</sub> e

argilo-siltosa no C<sub>2</sub>, estrutura moderada, média e em blocos subangulares (1 a 2cm). O volume pedológico C<sub>1</sub> diferencia-se do C<sub>2</sub> pela quantidade de fragmentos de rocha. Na parte superior (Horizonte C<sub>1</sub>), verifica-se maior ocorrência de fragmentos de rocha alterada entre 2 e 4 cm, quando comparado à parte inferior (Horizonte C<sub>2</sub>). O C<sub>1</sub> apresenta fragmentos de rocha característicos de material carreado, enquanto no C<sub>2</sub> os fragmentos encontram-se em processo de intemperismo. Nesse setor, os fragmentos carreados podem provir da própria ruptura e do segmento com forte inclinação que a segue, o que favorece a queda e a mobilização de fragmentos rochosos superficiais até o setor originalmente côncavo a jusante, contribuindo para a formação do material presente no horizonte C<sub>1</sub>.

No setor de contato do volume C com a rocha observa-se transição ondulada e clara, verificando-se grande presença de material fragmentário composto pelo basalto vesicular em processo de intemperismo.

Já no segmento médio-alto da vertente (S4 - S6), ocorre segmento retilíneo moderadamente inclinado que condiciona maior desenvolvimento pedogenético, possibilitando o aparecimento do horizonte B nítico, identificado na trincheira 2.

Nesse segmento, o horizonte B foi subdividido em B nítico 1 e 2 (Trincheira 2) devido à diferença estrutural do tamanho dos blocos. Em todo o horizonte diagnóstico B nítico, a cor é bruno-avermelhada 2,5YR 3/4, a textura é muito argilosa e a estrutura forte, apresentado tamanho grande (4-5 cm) no B nítico 1 e muito grande (6 a 8cm) no B nítico 2, geralmente com blocos angulares e subangulares. Os blocos maiores desfazem com a pressão moderada em blocos menores, entre 2 e 3 cm. A consistência predominante é ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa, verificando-se ainda superfícies reluzentes, representando a cerosidade abundante e típica da classe do Nitossolo. Em todo o horizonte B, observam-se macro poros de até 10 cm de extensão com orientação vertical, preenchidos por argila e matéria orgânica.

Na base do perfil, aparece o horizonte C entre 135 e 170 cm, apresentando cor 2,5YR 3/4. Em meio ao material pedogenizado, ocorrem fragmentos de rocha alterada de 1 a 3 cm, sendo que, no contato com a rocha, observa-se uma quantidade relevante de quartzo (geodo). A presença de quartzo, oriundo de amígdalas do basalto, indica que o material que está se alterando corresponde ao topo de um derrame vulcânico.

No segmento médio-baixo da encosta (Trincheira 3), o solo raso novamente volta a dominar à medida em que aumenta a inclinação. Nesse setor, o horizonte C ocorre entre 20 e 30 cm com contato lítico plano e abrupto. À medida em que se aproxima da baixa vertente, o

horizonte C vai diminuindo sua espessura até desaparecer, expondo diretamente a rocha no segmento final da vertente.

Do ponto de vista da distribuição granulométrica, os solos de baixo desenvolvimento pedogenético, localizados no topo, na alta e na média-baixa vertente (trincheiras 1 e 3), apresentam maior porcentagem das frações de silte e areia no horizonte superficial Ap, com valores de  $556 \text{ g kg}^{-1}$  de silte  $\text{g kg}^{-1}$ ,  $275 \text{ g kg}^{-1}$  de areia e  $185 \text{ g kg}^{-1}$  de argila no setor de montante e  $471 \text{ g kg}^{-1}$  de silte,  $142 \text{ g kg}^{-1}$  de areia e  $386 \text{ g kg}^{-1}$  de argila na média-baixa encosta (Figura 53 – Tabela 9).

Nesses segmentos, o horizonte C apresenta uma redução de areia e silte, verificando-se maiores percentuais de argila. A maior concentração da areia e silte na superfície é justificada pela grande quantidade de material carregado em superfície pela erosão, decorrente da forte inclinação do terreno. Nesses segmentos, a relação silte/argila demonstra baixo nível de intemperismo, evidenciado pelos valores de variam de 1,2 a 3,0 nos horizontes superficiais.

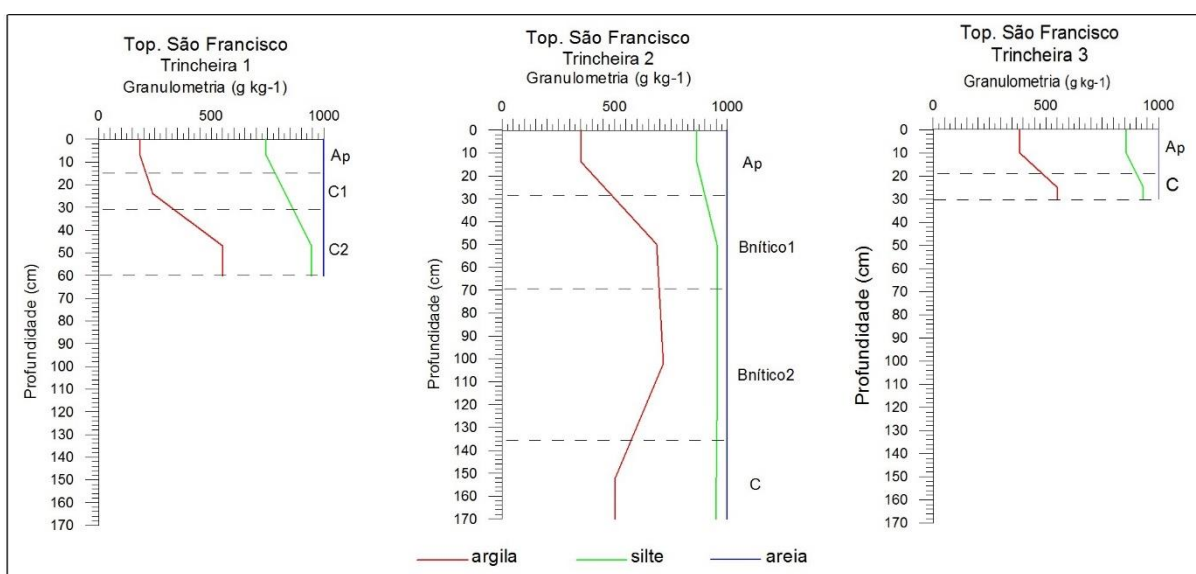


Figura 53: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de São Francisco.

No segmento médio-alto (Trincheira 2), a condição de menor declividade da vertente favorece o maior desenvolvimento pedológico, resultando em valores mais elevados de argila, com  $687 \text{ g kg}^{-1}$  e  $715 \text{ g kg}^{-1}$  de argila nos volumes B nítico 1 e 2, respectivamente. Nessa condição, a relação silte/argila apresenta valores mais baixos, variando entre 0,3 e 0,4, evidenciando intemperismo mais avançado.

Tabela 9: Atributos físicos dos perfis de solo da toposequência da unidade de São Francisco.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria g kg <sup>-1</sup>			Relação Silte/Argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade Total (cm <sup>-3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	Velocidade de Infiltração (mm/h)	Condutividade Hidráulica Kfs (cm/s <sup>-1</sup> )
		Argila	Silte	Areia		Solo	Partícula			
1 - Ap	(0 - 15cm)	185,50	556,91	257,59	3,0	1,34	2,86	0,53	180	3,12x10 <sup>-4</sup>
1 - C <sub>1</sub>	(15-34cm)	241,00	590,62	168,38	2,5					
1 - C <sub>2</sub>	(34-60cm)	552,50	393,51	53,99	0,7					
2 - Ap	(0 - 28cm)	350,50	513,71	135,79	1,5	1,37	2,83	0,51	120	1,24x10 <sup>-4</sup>
2 - B nítico <sub>1</sub>	(28-70cm)	687,50	266,94	45,56	0,4	1,27	2,78	0,54	420	4,35x10 <sup>-4</sup>
2 - B nítico <sub>2</sub>	(70-135cm)	715,00	241,30	43,70	0,3	1,28	2,74	0,53	360	3,73x10 <sup>-4</sup>
2 - C	(135 - 170cm)	503,00	448,02	48,98	0,9					
3 - Ap	(0 - 20cm)	386,50	471,04	142,46	1,2	1,37	2,86	0,52	60	1,04x10 <sup>-4</sup>
3 - C	(20-30cm)	552,00	381,35	66,65	0,7					

Quanto às condições de densidade e porosidade, identificou-se ao longo de toda a toposequência elevados valores de densidade de solo (entre 1,34 e 1,37 g cm<sup>-3</sup>) e porosidade mais reduzida (0,51 e 0,52 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup>), no volume superficial Ap (Tabela 9). Lateralmente, a circulação hídrica apresenta variação entre a alta e média alta encosta. No topo (TR1), a velocidade de infiltração apresentou 180 mm/h e condutividade hidráulica 3,12x10<sup>-4</sup> cm/s. Já no setor médio alto, ocorreu um decréscimo na circulação hídrica no volume Ap, ocorrendo Vi de 120 e 60 mm/h e Kfs de 1,24 e 1,04x10<sup>-4</sup> cm/s nas trincheiras TR2 e TR3, respectivamente. A baixa circulação hídrica e a reduzida porosidade observada no volume Ap é decorrente do processo de compactação oriundo das práticas de uso e manejo do solo, tendo em vista que a maior parte da área em análise apresenta intenso pisoteio de gado.

No segmento médio-alto (TR2), onde se localiza o Nitossolo, verifica-se uma variação vertical da circulação hídrica no horizonte subsuperficial B nítico. Na camada superior (B nítico 1), observa-se um crescimento de velocidade de infiltração (420 mm/h), especialmente relacionada a um pequeno aumento de porosidade (0,54 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup>). Na parte inferior (B nítico 2) do horizonte, ocorre uma leve redução da circulação hídrica, condicionada pela diminuição da porosidade (Figura 54).

Ao avaliar as interações entre os atributos físicos e hídricos desse setor, também é possível observar que a circulação da água apresenta correlações diretas com a densidade do solo, pois a variação da velocidade de infiltração é inversamente proporcional ao acréscimo e decréscimo da densidade do solo (Figura 55).

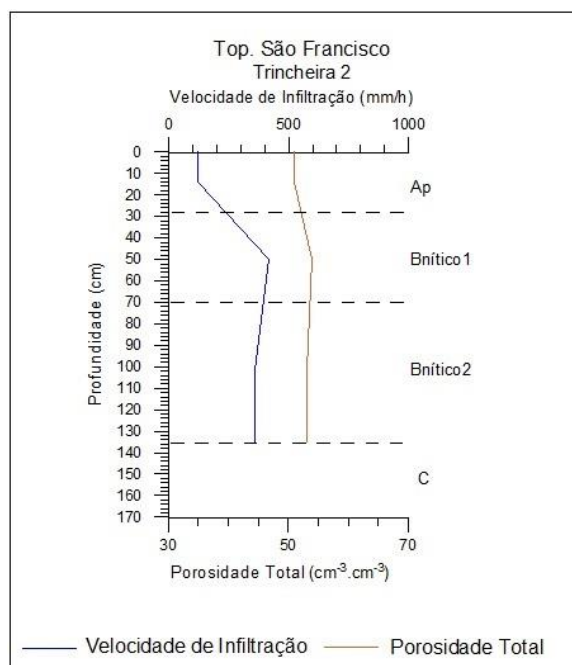


Figura 54: Relação entre a velocidade de infiltração e porosidade total na topossequência de São Francisco.

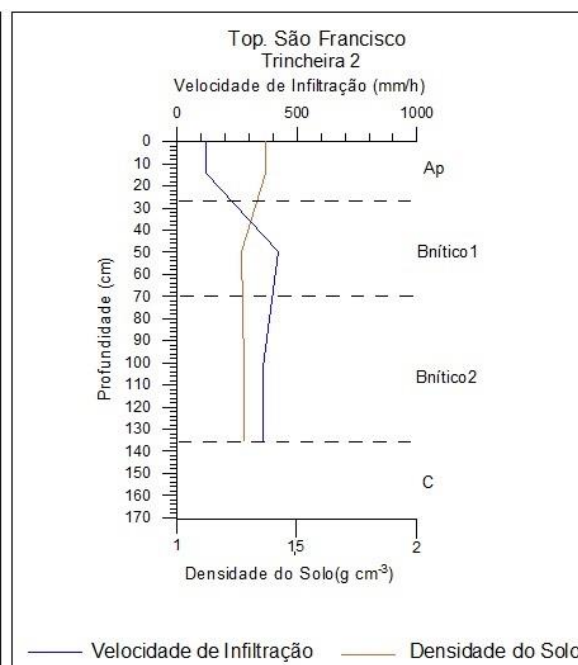


Figura 55: Relação entre a velocidade de infiltração e densidade do solo na topossequência de São Francisco.

A elevada densidade e a baixa permeabilidade, observada ao longo da topossequência de São Francisco, encontram-se particularmente associadas às práticas de uso e manejo, tendo em vista que as pressões exercidas pelo intenso pisoteio do gado provocam a compactação dos horizontes superficiais, dificultando a infiltração da água no solo e favorecendo o escoamento superficial.

Diferentes estudos realizados em áreas de pastagem demonstram que o pisoteio de gado apresenta efeitos nas propriedades físicas e hídricas do solo, com particular alteração na camada superficial. Miguel et al. (2006), ao comparar o efeito anterior e posterior ao pisoteio bovino, identificaram um aumento substancial de densidade e diminuição da taxa de infiltração de água no solo de até 73% a 10 cm e de 64% a 20 cm de profundidade. Marin (2010), ao estudar os efeitos negativos do pisoteio animal, identificou resultados de densidade aparente e condutividade hidráulica típicos de solos compactados, apresentando dados de densidade acima de  $1,3 \text{ g/cm}^3$  e condutividade hidráulica abaixo do  $4,05 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  para horizontes superficiais. Os valores encontrados na área de estudo compreendem densidades de solo entre  $1,34$  e  $1,37 \text{ g/cm}^3$ , e Kfs variando entre  $1,04$  e  $3,12 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ , no volume superficial Ap, também característicos de solos compactados.

No que se refere ao comportamento químico, observa-se uma pequena variabilidade em termos de soma de bases e capacidade de troca de cátions. A soma dos elementos  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e



$Mg^{2+}$  apresenta valores mínimos de  $7,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e máximos de  $9,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , tanto vertical como lateralmente. Já a CTC, embora apresente pequenas disparidades, exhibe os valores mais altos nos horizontes superficiais Ap, variando entre  $12,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ,  $11,85 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $13,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , do topo em direção a jusante. Enquanto nos volumes subsuperficiais a capacidade varia entre  $9,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $11,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Tabela 10).

Tabela 10: Atributos químicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de São Francisco.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	P	MO	pH	H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	Al
		mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	0,01 mol L <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							%
1 - Ap	(0 - 15cm)	1,88	34,18	5,2	4,05	0,00	0,22	6,34	2,30	8,86	12,91	68,63	0,00
1 - C <sub>1</sub>	(15-34cm)	1,08	20,51	5,7	2,96	0,00	0,27	5,71	2,55	8,53	11,49	74,24	0,00
1 - C <sub>2</sub>	(34-60cm)	1,23	13,67	5,7	2,81	0,00	0,21	5,36	1,98	7,55	10,36	72,88	0,00
2 - Ap	(0 - 28cm)	1,58	23,24	5,6	3,46	0,00	0,20	6,34	1,85	8,39	11,85	70,80	0,00
2 - B nítico <sub>1</sub>	(28-70cm)	1,66	12,30	5,9	2,46	0,00	0,69	5,51	1,85	8,05	10,51	76,59	0,00
2 - B nítico <sub>2</sub>	(70-135cm)	2,75	8,20	6,2	2,44	0,00	0,39	4,67	1,65	6,71	9,15	73,33	0,00
2 - C	(135-170cm)	4,30	8,20	6,2	2,25	0,00	0,15	5,44	2,35	7,94	10,19	77,92	0,00
3 - Ap	(0 - 20cm)	7,92	27,34	5,6	3,82	0,00	0,45	6,66	2,14	9,25	13,07	70,77	0,00
3 - C	(20-30cm)	1,20	16,40	5,7	2,74	0,00	0,26	4,42	2,30	6,98	9,72	71,81	0,00

Os valores de CTC e matéria orgânica encontram-se intimamente relacionados, tendo em vista que no horizonte superficial ocorre maior acúmulo de material e valores mais elevados de troca catiônica. Essa relação também pode ser observada nos horizontes C e B nítico, sendo que a diminuição da quantidade de matéria orgânica é concomitantemente proporcional a diminuição da CTC (Figura 56).

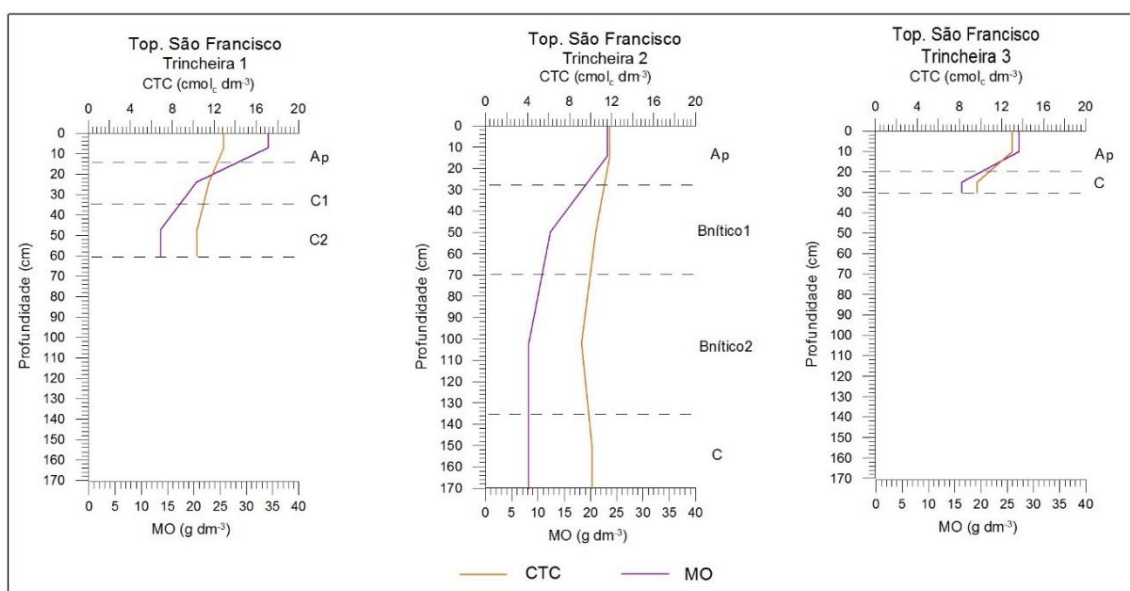


Figura 56: Relação da CTC com a MO dos perfis de solos da topossequência de São Francisco.

Como se percebe pelos dados apresentados (Tabela 8), o complexo absorvente dos solos que compõem a cobertura pedológica ao longo dessa topossequência apresenta alta saturação em bases, predominantemente superior a 70%, o que lhe confere um caráter químico eutrófico. Quanto às condições de acidez, considerando-se o fato da determinação ter sido realizada com solução de  $\text{CaCl}_2$  que gera valores mais baixos, pode-se assumir variações entre moderadamente ácida a neutra.

O sistema pedológico ao longo dessa vertente característica é constituído, portanto, por Neossolo Regolítico – Nitossolo Vermelho Eutroférico – Neossolo Litólico – rocha. A presença de setores recobertos pelo Nitossolo está vinculada à suavização relativa da declividade e extensão lateral do patamar superior. Quando isso não ocorre, o sistema é composto apenas por Neossolo Regolítico – Neossolo Litólico – rocha. O afloramento da rocha na base da vertente pode, eventualmente, não ocorrer.

#### 4.3.3 Topossequência de solos da unidade de Foz do Iguaçu

A topossequência da unidade de Foz, localizada no setor rebaixado da bacia, apresenta morfologia típica convexa-retilínea, com 720 metros de comprimento e um desnível de 60 metros do topo ao sopé da vertente. Em termos de uso, a vertente apresenta o cultivo temporário de milho, em toda a sua extensão, com uma pequena faixa de mata ciliar. A organização bidimensional da cobertura pedológica é constituída pelo sistema pedológico Latossolo-Nitossolo.

Do topo até a média-baixa encosta, a cobertura pedológica exibe uma sequência de horizontes  $\text{Ap}_1$ ,  $\text{Ap}_2$ , BA, Bw. A partir da média baixa-encosta, em direção ao sopé, verifica-se a presença do horizonte B nítico que aí se inicia e se espessa para jusante (Figura 57).

O horizonte superficial  $\text{Ap}_1$  exibe condições morfológicas diferenciadas lateralmente. Entre as sondagens 1 e 7, a estrutura é fraca, pequena e granular, consistência solta, friável, plástica e pegajosa, com a forte presença de matéria orgânica, o que promove uma leve agregação do solo no ambiente superficial. Já no setor de fundo de vale, observa-se a presença de material extremamente alterado pela atividade antrópica. A partir da sondagem 7, verifica-se a presença de material revolvido, com baixo nível de agregação quando comparado ao setor de montante.

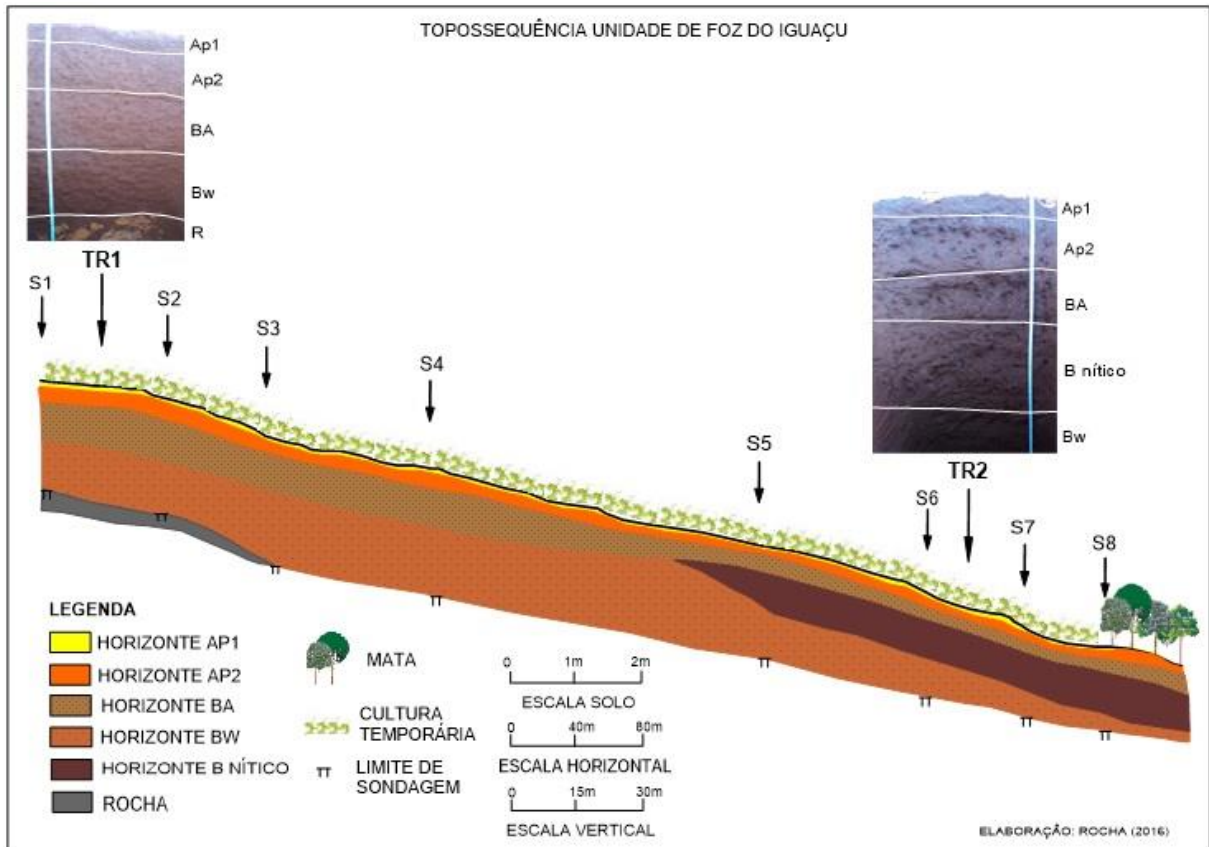


Figura 57: Toposequência da unidade de Foz do Iguaçu.

O horizonte Ap<sub>2</sub> também apresenta diferenças laterais, caracterizadas pela composição estrutural. No setor de montante, o volume superficial A exibe cor bruno-avermelhada escura (2,5YR 3/4). A estrutura caracteriza-se como moderada, grande, em forma de blocos angulares e subangulares de 2 a 3 cm, de média resistência, desfazendo-se em estrutura granular com a pressão moderada dos dedos, a consistência apresenta-se como ligeiramente dura, friável a firme e plástica e pegajosa. No setor de jusante, o mesmo volume apresenta cor e textura semelhante, porém a estrutura é em blocos angulares de tamanho maior (entre 4 e 5cm), mais resistente e com maior adensamento quando comparada ao setor de montante. Em ambos os setores, o horizonte Ap<sub>2</sub> apresenta baixa quantidade de poros e sinais de compactação promovida, provavelmente, pela intensa atividade agrícola (Tabela 11).

Abaixo dos horizontes Ap aparece ao longo de toda a toposequência um horizonte transicional com características de BA e com uma espessura que varia de 30 a 60 cm. O horizonte BA apresenta cor 2,5YR 3/4, textura muito argilosa, estrutura forte, mas que se transforma em moderada a partir da média para a baixa vertente, grande e granular, onde se observa agregados de diâmetro entre 4 e 5 cm, que se desfazem em agregados cada vez menores até chegar a diâmetros menor que 1cm. Nesse horizonte, a consistência é solta, friável, plástica

e pegajosa e a porosidade é composta por poros de 1 a 2 mm oriundos da atividade dos micro-organismos.

Em subsuperfície, a organização bidimensional da cobertura pedológica apresenta dois conjuntos distintos, o primeiro com a predominância do Bw, no segmento superior, e o segundo pela ocorrência do B nítico, no setor jusante.

Tabela 11: Atributos morfológicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Foz do Iguaçu.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade (cm)	Cor	Textura	Estrutura			Cerosidade Quant./ Grau	Consistência			Transição Topo./ Contraste
				Grau	Tamanho	Tipo		Solo Seco	Solo Úmido	Solo Molhado	
1 - Ap <sub>1</sub>	(0-5cm)	2,5YR 3/4	Argila	Fraca	Pequena	Granular Angulares e Sub- angulares	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - Ap <sub>2</sub>	(5 - 30cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Moderada	Grande		Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - BA	(30-60cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Grande	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
1 - Bw	(60-110cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Pequena/ Média	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Clara
2 - Ap <sub>1</sub>	(0-7cm)	2,5YR 3/4	Argila	Fraca	Pequena	Granular Angulares e Sub- angulares	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - Ap <sub>2</sub>	(7 - 35cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Moderada	Grande		Pouca/ Fraca	Lig. Dura	Friável/ Firme	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - BA	(35-60cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Moderada	Grande	Granular Angulares e Sub- angulares	Pouca/ Fraca	Solta	Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual
2 - B nítico	(60-110cm)	2,5YR 3/4	Muito argilosa	Forte	Muito Grande	Angulares e Sub- angulares	Comum/ Moderado	Lig. Dura/ Dura	Firme	Muito Pegajosa	Ondulada/ Gradual
3 - Bw	(110-200cm)	2,5YR 3/3	Muito argilosa	Forte	Pequena/ Média	Granular	Pouca/ Fraca	Solta	Muito Friável	Plástica/ Pegajosa	Ondulada/ Gradual

No Bw, ocorre uma significativa diminuição do tamanho dos agregados em relação ao horizonte BA sobreposto, ocorrendo grânulos de 2 a 5mm (típicos da estrutura latossólica), verificando-se a presença de pequenos nódulos de argila. Também se observa um importante aumento de friabilidade passando a uma consistência solta, muito friável, plástica e pegajosa, assim como o aumento da quantidade de poros, quando comparados ao horizonte BA.

Nesse segmento, cabe destacar a ocorrência de dois níveis de desenvolvimento pedogenético diferenciados, em termos de profundidade, do topo para a média vertente. Entre as sondagens 1 e 3, o horizonte Bw apresenta contato com a rocha intemperizada a uma profundidade que varia de 110 a 200 cm, sendo que a partir da sondagem 3, o contato com o material parental já é superior a 2 metros.

O B nitossólico se inicia na média baixa vertente e se estende, cada vez mais espesso, até o sopé da vertente. Na trincheira 2, foi observado entre 60 e 110 cm de profundidade, apresentando aí, portanto, 50 cm de espessura. Nesse horizonte, a cor é bruno-avermelhada

escura (2,5YR 3/4) e a textura é muito argilosa, com a presença de pequenos nódulos de argila. A estrutura é forte, de tamanho muito grande, compondo blocos angulares e subangulares, que variam entre 5 e 8 cm. A consistência é ligeiramente dura a dura, firme, plástica e muito pegajosa e a cerosidade é comum em grau moderado. Nesse volume, observa-se poros grandes de 2 a 3 cm, caracterizados como pedotubos, dispostos de forma vertical e horizontal.

Abaixo do B nítico aparece ainda o Bw, como observado a montante da topossequência.

No que se refere à distribuição granulométrica, observa-se que o horizonte  $Ap_1$  apresenta os teores mais baixos de argila (475 e 405  $g\ kg^{-1}$ ) enquanto que os horizontes abaixo apresentam teores superiores a 631  $g\ kg^{-1}$ , mas com menores variações em profundidade. No segmento de topo e alta vertente (Trincheira 1), os valores de argila variam de 658 a 700  $g\ kg^{-1}$ , enquanto na baixa vertente (Trincheira 2), identifica-se valores entre 631 a 686  $g\ kg^{-1}$ . Em relação à distribuição do silte, constata-se basicamente maior concentração ao longo do horizonte  $Ap_1$ , com 475  $g\ kg^{-1}$  a montante e 526  $g\ kg^{-1}$  no setor de jusante. Já as frações grossas, embora apresentem baixa expressividade em termos gerais, são encontradas particularmente no horizonte  $Ap_1$ , com significativa redução à medida em que aumenta a profundidade (Figura 58 - Tabela 12).

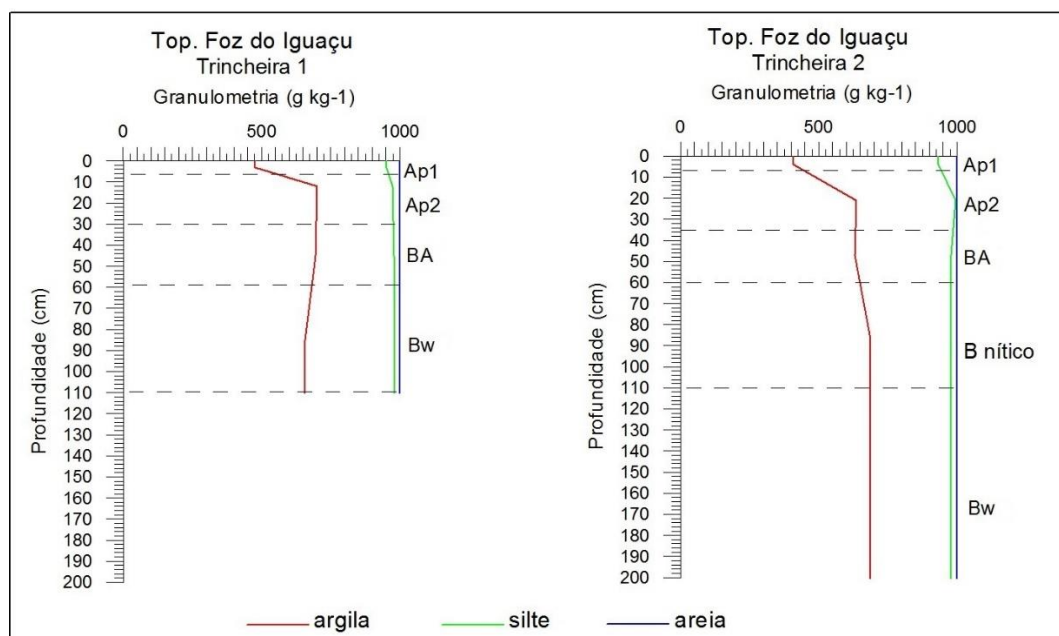


Figura 58: Variação vertical das frações granulométricas dos perfis de solos da topossequência de Foz do Iguaçu.

Tabela 12: Atributos físico-hídricos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Foz do Iguaçu.

Trincheira/ Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	Granulometria g kg <sup>-1</sup>			Relação Silte/Argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade Total (cm <sup>-3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	Velocidade de Infiltração (mm/h)	Condutividade Hidráulica Kfs (cm/s <sup>-1</sup> )
		Argila	Silte	Areia		Solo	Partícula			
1 - Ap <sub>1</sub>	(0-5cm)	475,50	475,57	66,93	1,0					
1 - Ap <sub>2</sub>	(5 - 30cm)	700,00	273,24	26,76	0,4	1,2	2,61	0,54	120	1,24x10 <sup>-4</sup>
1 - BA	(30-60cm)	694,50	285,91	19,59	0,4	1,2	2,75	0,56	660	6,84x10 <sup>-4</sup>
1 - Bw	(60-110cm)	658,50	322,57	18,93	0,5	1,08	2,76	0,61	840	8,70x10 <sup>-4</sup>
2 - Ap <sub>1</sub>	(0-7cm)	407,00	526,26	66,74	1,3					
2 - Ap <sub>2</sub>	(7- 35cm)	636,00	359,38	4,62	0,6	1,28	2,64	0,52	300	3,11x10 <sup>-4</sup>
2 - BA	(35-60cm)	631,00	346,90	22,10	0,5	1,2	2,74	0,56	720	7,46x10 <sup>-4</sup>
2 - B nítico	(60-110)	682,50	296,88	20,63	0,4	1,21	2,86	0,58	480	4,97x10 <sup>-4</sup>
2 - Bw	(110-200cm)	686,50	292,07	21,43	0,4	1,24	2,74	0,55	540	5,59x10 <sup>-4</sup>

Os dados de densidade de solo, densidade de partículas e porosidade total, em geral, apresentam valores muito próximos em termos de variação lateral desde o topo da vertente até o sopé. No entanto, observa-se uma pequena diferença vertical em termos de porosidade total: a porosidade mais baixa (0,52 e 0,54 cm<sup>-3</sup>.cm<sup>-3</sup>) ocorre no volume Ap<sub>2</sub> (Trincheiras 1 e 2), aumentando em profundidade, nos horizontes subsuperficiais.

Em termos hídricos, também é possível observar variações verticais de velocidade de infiltração e condutividade hidráulica. O horizonte superficial Ap<sub>2</sub> apresenta baixa circulação a montante (Vi 120 mm/h, Kfs 1,24x10<sup>-4</sup> cm/s), sendo que a jusante ocorre um aumento desses valores, verificando-se 300 mm/h e 3,11x10<sup>-4</sup> cm/s de velocidade de infiltração e condutividade hidráulica, respectivamente.

Nos horizontes subsuperficiais, localizados no topo (TR1), os movimentos hídricos da água no solo aumentam significativamente no horizonte BA (Vi de 660 e Kfs de 6,84x10<sup>-4</sup>), ampliando-se no horizonte Bw para 840 mm/h de velocidade de infiltração e 8,70x10<sup>-4</sup> de condutividade hidráulica. Na baixa encosta (TR2), o horizonte BA apresenta valores hídricos mais elevados (Vi de 720 mm/h e Kfs de 7,46x10<sup>-4</sup>), porém observa-se no volume nitossólico uma redução nos valores de Vi, para 480 mm/h, e de condutividade hidráulica (Kfs 4,97x10<sup>-4</sup> cm/s). Em maior profundidade o horizonte Bw apresenta um leve aumento de circulação (Vi de 540 mm/h e Kfs de 5,59x10<sup>-4</sup> cm/s), mas bem mais baixo do que aquele verificado à montante.

A baixa circulação hídrica observada no volume superficial Ap<sub>2</sub> e as variações da velocidade de infiltração da água em profundidade no horizonte Bw encontram-se parcialmente

relacionadas ao aumento e decréscimo da porosidade total, conforme demonstram os gráficos da figura 59.

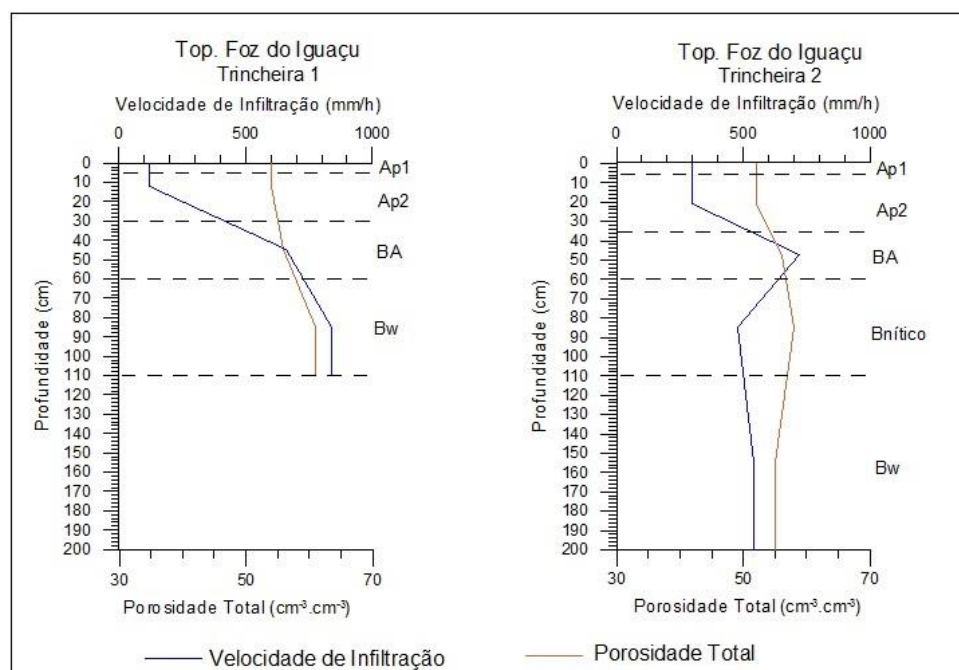


Figura 59: Variação vertical da velocidade de infiltração e porosidade total dos perfis de solos da topossequência de Foz do Iguaçu.

As correlações entre as variações de porosidade e o comportamento hídrico podem ainda ser associadas às condições morfológicas típicas da organização estrutural e poral da cobertura pedológica, bem como às práticas antrópicas de uso e manejo.

Essas correlações podem ser evidenciadas no horizonte superficial Ap que, além de apresentar menor circulação hídrica e menor porosidade, compõe um sistema estrutural formado por blocos subangulares adensados, com estruturas resistentes e evidentes sinais de compactação em decorrência do uso intensivo e consecutivo do plantio direto. Já as camadas inferiores compostas pelo BA e Bw apresentam aumento da friabilidade, do tamanho e da quantidade de poros em profundidade, fato que justifica a elevação da condutividade hidráulica no solo. No horizonte B nítico, entretanto, a redução de  $V_i$  e  $K_{fs}$  pode estar associada à organização estrutural mais adensada, em blocos, e à porosidade predominantemente fissural que fecha parcialmente quando o solo está saturado. A estrutura característica desse volume nitossólico se forma e evolui pela alternância de fases de umedecimento, quando ocorre a expansão e fechamento parcial de fissuras, e secamento, quando ocorre a contração e abertura de fissuras. É o efeito alternado da expansão e contração que gera, também, as faces reluzentes (argila orientada), características dos agregados do B nítico. Assim, em decorrência da estrutura



e do fechamento parcial da porosidade fissural, e que significa, também, perda de conectividade entre os poros, pode ocorrer um bloqueio hídrico em subsuperfície associado às características desse volume nitossólico (EMBRAPA, 2006).

Conforme destacam Cooper e Vidal Torrado (2005), os horizontes caracterizados como B nítico, que apresentam blocos subangulares de grau forte ou moderado e cerosidade abundante ou comum, podem ser determinantes no comportamento físico-hídrico do solo. Para os autores, a organização estrutural do B nítico condiciona um menor desenvolvimento de poros estruturais (macroporos) e um maior desenvolvimento de poros texturais (microporos), que favorecem os processos de retenção de água, resultando na menor condutividade hidráulica.

As variações no âmbito da circulação hídrica ( $V_i$  e  $K_f$ s), assim como de porosidade e densidade do solo, observadas na unidade de Foz do Iguaçu e nas demais unidades, refletem valores médios comuns aos encontrados em pesquisas anteriores realizadas em solos da região Oeste do Paraná.

Conforme demonstram os trabalhos de Scherspinski et al (2010), Rocha (2011) e Magalhães (2013), as coberturas pedológicas de textura argilosa comumente exibem sinais de compactação, com conseqüente redução da permeabilidade no horizonte superficial ( $A_p$ ), devido ao uso intensivo do solo em áreas agrícolas ou de pastagem. Os mesmos autores demonstram que a circulação hídrica tem variado de forma crescente nos horizontes subsuperficiais latossólicos ( $B_w$ ) e de forma mais ponderada nos horizontes nitossólicos (B nítico), em razão do aumento e decréscimo de porosidade e densidade do solo em profundidade.

Do ponto de vista das propriedades químicas do solo, a capacidade de troca de cátions (CTC), verificada na topossequência de Foz do Iguaçu, apresenta-se praticamente semelhante, com pequenas variações em toda a sua extensão. No setor superior da encosta, os dados apresentam-se próximos a  $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , com uma pequena redução no horizonte  $B_w$ . No segmento inferior, também ocorre pequena variação vertical, porém com valores mais altos de troca catiônica em profundidade, no horizonte  $B_w$  (Figura 60).

Como nos sistemas anteriores, predominam condições de saturação elevada do complexo absorvente, caracterizando-o como eutrófico.

Com relação à distribuição da matéria orgânica, ocorre a concentração de material húmico no horizonte superficial  $A_{p1}$ , com valores expressivos entre 34 e 30  $\text{g dm}^{-3}$ , nas trincheiras 1 e 2, respectivamente. A grande concentração de material orgânico em superfície e a diminuição em profundidade é especialmente associada a dois fatores. O primeiro está relacionado à permanência de material oriundo do sistema de plantio direto e o segundo é resultante da restrição mecânica causada pela estrutura compactada do horizonte  $A_{p2}$ .

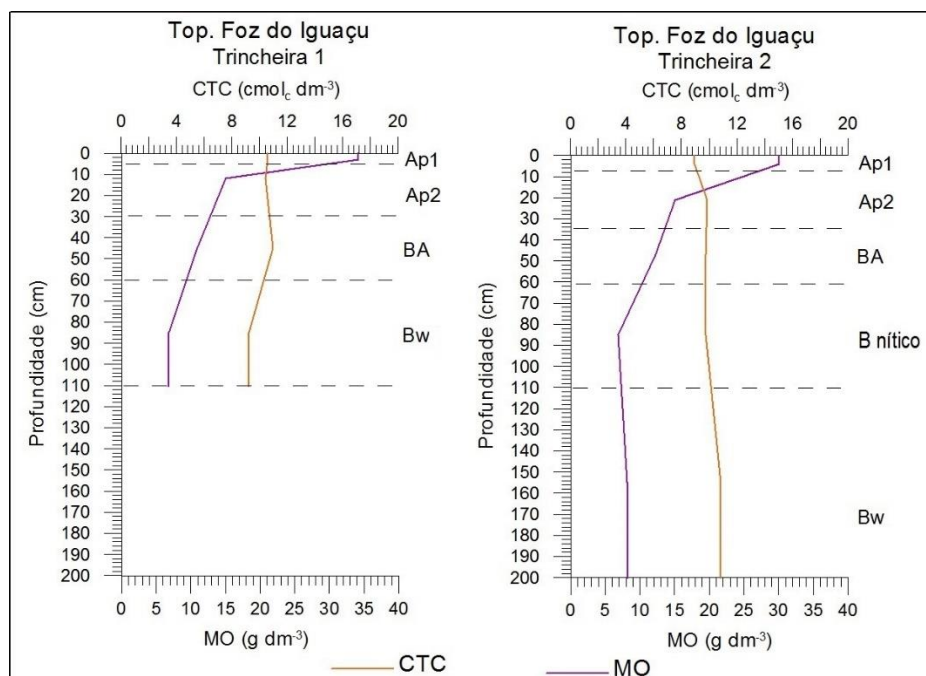


Figura 60: CTC e MO dos perfis de solos da topossequência de Foz do Iguaçu.

No que diz respeito ao nível de acidez, constata-se, pelos valores de pH, que as condições se mantêm moderadamente ácidas, mas tendendo a se tornar mais ácidas à medida que se avança para jusante, principalmente no B nítico e Bw (Tabela 13).

Tabela 13: Atributos químicos dos perfis de solo da topossequência da unidade de Foz do Iguaçu.

Trinchreira/ Horizonte	Profundidade Horizonte (cm)	P mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	V	
												cmol. dm <sup>-3</sup>	
1 - Ap <sub>1</sub>	(0-5cm)	81,00	34,18	4,5	5,58	0,30	0,79	2,87	1,32	4,98	10,56	47,16	5,68
1 - Ap <sub>2</sub>	(5 - 30cm)	2,74	15,04	5,2	3,34	0,00	0,93	4,24	1,89	7,06	10,40	67,88	0,00
1 - BA	(30-60cm)	1,67	10,94	5,9	2,39	0,00	0,68	5,01	2,88	8,57	10,96	78,19	0,00
1 - Bw	(60-110cm)	1,15	6,84	5,6	2,44	0,00	0,47	4,19	2,14	6,80	9,24	73,59	0,00
2 - Ap <sub>1</sub>	(0-7cm)	23,52	30,07	5,2	3,12	0,00	0,22	3,89	1,73	5,84	8,96	65,18	0,00
2 - Ap <sub>2</sub>	(7- 35cm)	7,56	15,04	5,0	3,19	0,05	0,40	4,89	1,40	6,69	9,88	67,71	0,74
2 - BA	(35-60cm)	5,90	12,30	5,2	2,63	0,00	0,70	5,11	1,32	7,13	9,76	73,05	0,00
2 - B nítico	(60-110)	2,14	6,84	4,9	2,85	0,25	0,82	4,42	1,69	6,93	9,78	70,86	3,48
2 - Bw	(110-200cm)	2,05	8,20	4,6	3,42	0,60	0,43	5,09	1,89	7,41	10,83	68,42	7,49

Nessa vertente característica, também domina um sistema pedológico constituído pelo Latossolo Vermelho Eutroférico, a montante, e Nitossolo Vermelho Eutroférico, a jusante. Essa organização da cobertura pedológica caracteriza o sistema de maior representatividade espacial, tanto na unidade de Foz do Iguaçu, como em todo o setor rebaixado da bacia do Paraná 3.

#### 4.4 FRAGILIDADE E POTENCIALIDADE NA UNIDADE HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3.

A análise integrada dos aspectos físicos, frente às intervenções antrópicas no contexto territorial da bacia hidrográfica do Paraná 3, permitiu elaborar mapeamentos de fragilidade potencial e emergente, assim como de capacidade de uso das terras. Esses documentos cartográficos possibilitaram representar espacialmente e quantitativamente a fragilidade, as restrições ambientais e as potencialidades da BP3.

##### 4.4.1. A fragilidade potencial e emergente na unidade hidrográfica do Paraná 3.

O mapeamento da fragilidade potencial e emergente possibilitou identificar as áreas de estabilidade e instabilidade natural e os efeitos adicionados pelo uso da terra. A obtenção de dados espaciais e numéricos permitiu avaliar a situação na escala da bacia hidrográfica, assim como nas unidades e subunidades de paisagem.

A carta de fragilidade potencial, considerando-se a condição original da área ainda sob floresta, mostra um predomínio das classes de fragilidade fraca (45,21%) e muito fraca (30,41%), enquanto as áreas com fragilidade moderada correspondem a cerca de 15% e as classes forte e muito forte somam menos de 10% da área total (Tabela 14).

Tabela 14: Área ocupada pelas classes de Fragilidade Potencial da BP3.

<b>Classes de Fragilidade Potencial</b>	<b>Área Ocupada (%)</b>
Muito Fraca	30,41
Fraca	45,21
Moderada	15,10
Forte	6,77
Muito Forte	2,51
Total	100,00

A maior representatividade das áreas de fraca e muita fraca fragilidade potencial na bacia ressalta a predominância da ordem dos Latossolos de textura argilosa associados ao relevo de baixa dissecação (0 – 6% de declividade), que resultam na maior expressão territorial de áreas naturalmente mais estáveis, observadas predominantemente nas unidades de Cascavel, Foz do Iguaçu e Guaíra (Figura 61).

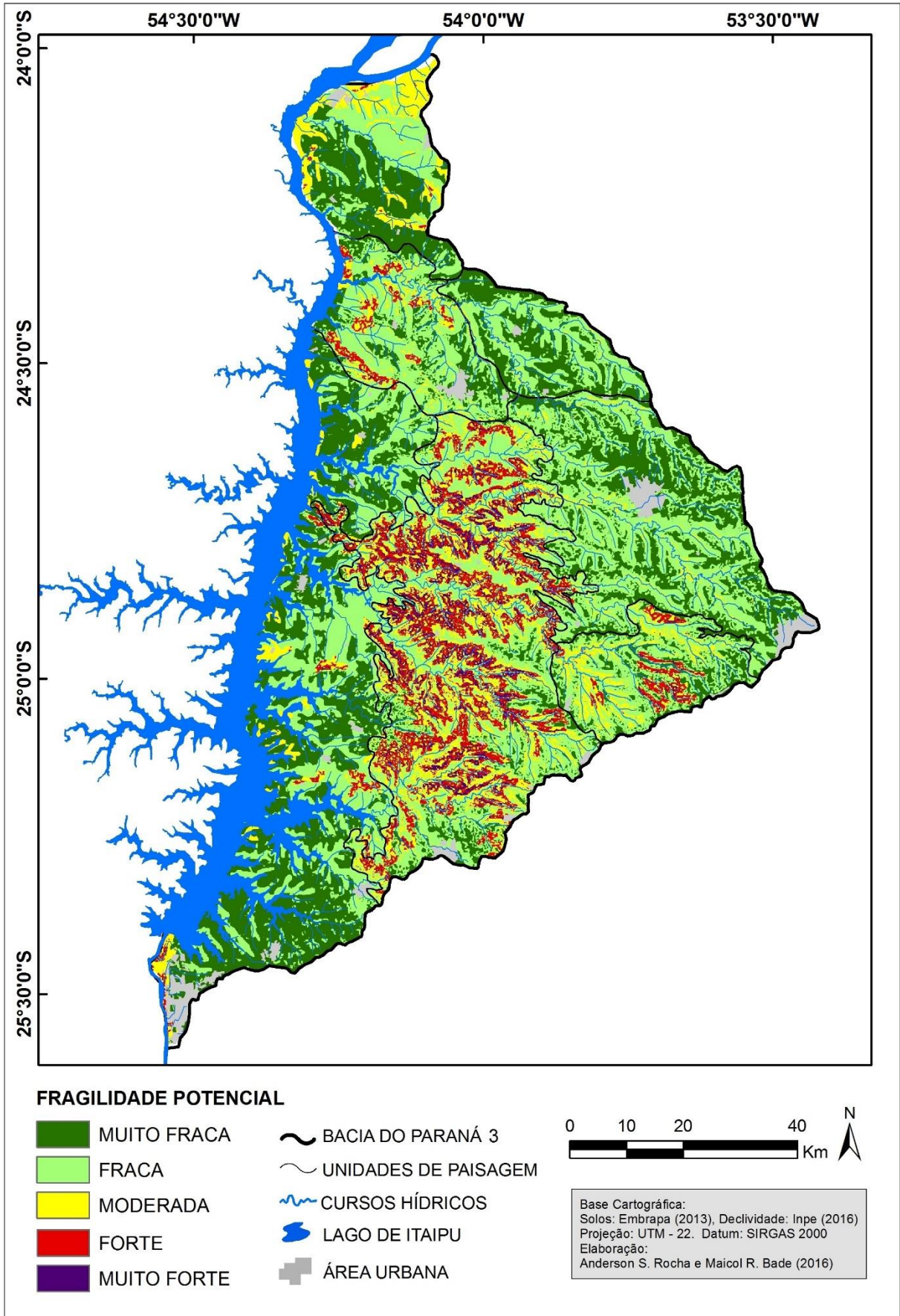


Figura 61: Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Os setores que englobam as classes de fragilidade forte e muito forte, especialmente concentradas na unidade de São Francisco (Figura 61), são basicamente compostos por solos rasos, como os Neossolos Litólicos e Regolíticos. Nesses setores, a condição topográfica assume papel preponderante na divisão das duas classes de fragilidade, sendo que as áreas compostas por declividades entre 20 e 30% delimitam as fragilidades fortes e as áreas com gradientes maior que 30% englobam as fragilidades muito forte.

Os setores classificados como de fragilidade moderada mostram-se associados a duas diferentes realidades morfopedológicas: a primeira relacionada aos solos de textura média formados pelos Argissolos e declividades entre 0 e 6% e a outra composta por solos argilosos, os Nitossolos, onde se observam declividades dominantes entre 6 e 12%.

Nesse contexto, cabe destacar que as condições pedológicas e topográficas, avaliadas por meio da fragilidade natural, demonstram que uma mesma classe de solo, quando sujeita a diferentes graus de declividades, pode apresentar diferentes níveis de fragilidade. Em contrapartida, áreas com declividades semelhantes, mas com coberturas pedológicas diferentes, também podem exibir diferentes graus de fragilidade. Sendo assim, tanto o solo como a declividade, assumem papéis importantes na classificação da fragilidade.

No que se refere à fragilidade emergente (Figura 62), que demonstra a interação entre as condições naturais e os graus de proteção dados pela vegetação e o uso antrópico, pode-se perceber uma elevação nos graus de fragilidade para as áreas, resultante das implicações dos diferentes usos da terra.

A distribuição percentual das classes de fragilidade emergentes (Tabela 15) ressalta agora uma maior expressividade da classe de fragilidade moderada (41,40%), seguida da classe de fragilidade fraca (34,30%). Esse aumento é atribuído aos cultivos temporários. Os setores de fragilidade natural muito fraca e fraca passaram, respectivamente, para o grau de fragilidade fraca e moderado devido a inserção do uso agrícola. Desse modo, as áreas consideradas de muito fraca fragilidade apresentaram percentuais menores (3,70%), ocorrendo apenas em setores onde a vegetação florestal foi mantida, em ambiente de relevos planos e solos profundos.

Tabela 15: Área ocupada pelas classes de Fragilidade Emergente da BP3.

<b>Classes de Fragilidade Emergente</b>	<b>Área Ocupada (%)</b>
Muito Fraca	3,70
Fraca	34,30
Moderada	41,40
Forte	12,78
Muito Forte	7,82
Total	100,00



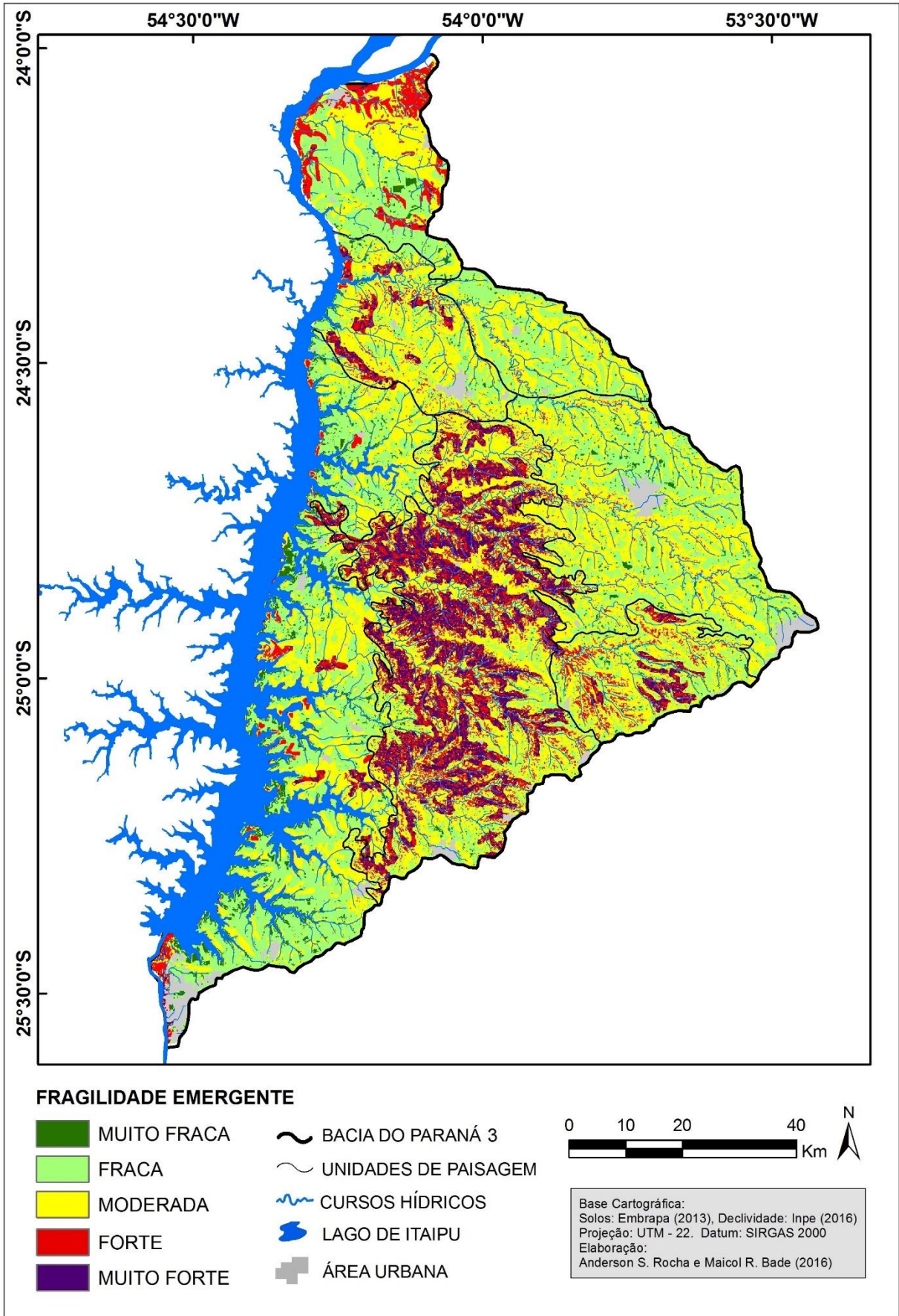


Figura 62: Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

As áreas classificadas com forte e muito forte fragilidade também apresentam uma ampliação espacial quando comparada à distribuição encontrada na carta de fragilidade potencial. A classe de fragilidade emergente forte passou a corresponder a 12,78% e a muito forte a 7,82%, do total da bacia. Ambas as classes ocorrem, principalmente, na unidade de São Francisco (Figura 62), particularmente onde se encontram solos rasos e declives acentuados (entre 20 e 30%).

Na unidade de paisagem de São Francisco, os setores caracterizados como muito forte, na carta de fragilidade potencial, mantiveram-se inalterados na carta de fragilidade emergente. Já os setores classificados como de forte fragilidade potencial, quando ocupados por pastagem ou agricultura, passaram a ser classificados como de fragilidade muito forte em razão desse uso. As áreas anteriormente classificadas como de forte fragilidade potencial, e que ainda se mantêm com vegetação natural, não sofreram alteração na classificação da carta de fragilidade emergente, ou seja, mantiveram-se classificadas como fortes.

Nos setores localizados à margem do lago de Itaipu, especialmente na área de abrangência das unidades de Foz do Iguaçu e Guaíra, as fragilidades anteriormente classificadas com moderada fragilidade potencial, em razão dos solos hidromórficos e dos solos de textura média, passaram a ser classificadas na fragilidade emergente como forte em decorrência do uso da terra, compostos por agriculturas temporárias e pastagens.

De modo geral, é possível observar por meio dos documentos cartográficos (Figuras 61 e 62) e quantitativos (Quadro 8) que as divisões das unidades de paisagem refletem domínios de fragilidade potencial e emergente.

As áreas de maior estabilidade natural, classificadas por fraca e muito fraca fragilidade potencial, concentram-se basicamente na unidade de Cascavel, sobretudo ao longo das subunidades de Toledo (1A) e Nova Santa Rosa (1C), assim como na unidade de Foz do Iguaçu e na porção Centro-Sul da unidade de Guaíra. Por sua vez, as áreas de moderada, forte e muito forte fragilidade potencial distribuem-se, com maior frequência, na unidade de São Francisco, com menor expressão no Norte da unidade de Guaíra, no Sul da subunidade de Santa Teresa (1C) e em parte da unidade de paisagem de Marechal Cândido Rondon.

No que se refere a fragilidade emergente, também se observa a concentração de áreas mais instáveis (fragilidade forte e muito forte) na região central da unidade hidrográfica, concentrada principalmente na unidade de São Francisco. As áreas com domínio de fragilidades fraca e moderada são predominantes ao longo das unidades de Cascavel, Foz do Iguaçu, Marechal e Guaíra. Já as áreas de fragilidade muito fraca se restringem a uma pequena faixa localizada às margens do lago de Itaipu, correspondendo a setores que se mantiveram



protegidos por vegetação florestal, localizados em relevos planos e solos de alto desenvolvimento pedogenético (Tabela 16).

Tabela 16: Classes de Fragilidade Potencial e Emergente por Unidade de Paisagem da BP3.

<i>UNIDADES DE PAISAGEM</i>	<i>SUBUNIDADES</i>	<i>CLASSES DE FRAGILIDADE</i>	<i>FRAGILIDADE POTENCIAL ÁREA (%)</i>	<i>FRAGILIDADE EMERGENTE ÁREA (%)</i>
1. CASCAVEL	1.A - TOLEDO	Muito Fraca	39,10	3,70
		Fraca	57,98	43,27
		Moderada	2,81	50,65
		Forte	0,11	2,08
		Muito Forte	0,00	0,30
		Total	100,00	100,00
	1.B - STA.TERESA	Muito Fraca	21,96	2,84
		Fraca	51,90	30,47
		Moderada	17,90	46,74
		Forte	7,22	13,77
		Muito Forte	1,02	6,18
		Total	100,00	100,00
	1.C - NOVA STA. ROSA	Muito Fraca	46,20	2,98
		Fraca	52,50	47,75
		Moderada	1,30	48,48
		Forte	0,00	0,78
		Muito Forte	0,00	0,00
		Total	100,00	100,00
2. SÃO FRANCISCO	Muito Fraca	6,20	0,99	
	Fraca	37,90	13,86	
	Moderada	26,63	39,02	
	Forte	20,31	22,84	
	Muito Forte	8,97	23,29	
	Total	100,00	100,00	
3. FOZ	Muito Fraca	44,59	6,77	
	Fraca	41,38	45,26	
	Moderada	12,53	35,91	
	Forte	1,34	10,37	
	Muito Forte	0,15	1,69	
	Total	100,00	100,00	
4. MARECHAL C. RONDON	Muito Fraca	26,80	3,40	
	Fraca	56,02	29,44	
	Moderada	10,86	52,87	
	Forte	6,00	9,03	
	Muito Forte	0,33	5,26	
	Total	100,00	100,00	
5. GUAÍRA	Muito Fraca	39,32	2,62	
	Fraca	37,99	44,08	
	Moderada	22,03	33,40	
	Forte	0,66	18,48	
	Muito Forte	0,00	1,42	
	Total	100,00	100,00	

#### 4.4.2. A Capacidade de Uso da Terra na Bacia do Paraná 3: recomendações e restrições ambientais

O mapeamento da capacidade de uso da terra da BP3 foi desenvolvido com o objetivo de representar espacialmente as potencialidades agrícolas e pecuárias da área de estudo, visando ainda diagnosticar as áreas de restrição ambiental e subsidiar a adequação do uso do solo.

Para a classificação das terras no sistema de capacidade de uso, Lepsch et al. (2015) destacam que comumente as classes de solo são empregadas como parâmetro inicial, considerando os níveis categóricos do SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação do Solos). Para os autores, a identificação das classes de solos pode ser disposta optativamente antes da fração analítica, também denominada de “fórmula mínima”.

Segundo o Manual Utilitário do Sistema de Capacidade Uso (Lepsch et al., 2015), a “fórmula mínima” engloba critérios diagnósticos como: profundidade efetiva do solo, textura, permeabilidade, declividade e erosão. Para além desses critérios, também são elencados, no manual, os fatores limitantes específicos como: pd (pedregosidade), i (risco de inundação), ab (caráter abrupto), ve (caráter vértico), hi (hidromorfismo), se (seca prolongada) e gd (geada ou frio), os quais hipoteticamente irão compor uma “fórmula máxima”.

Para a presente pesquisa, além dos critérios diagnósticos obrigatórios, foram analisados os critérios limitantes encontrados no âmbito da BP3, com destaque para a presença de hidromorfismo e os riscos de inundação. Na classificação das terras no sistema de capacidade de uso, para a área de estudo, foram avaliadas as classes de solos, do primeiro ao quarto nível categórico, considerando suas características e limitações. Por meio dos tipos de solos dominantes na unidade hidrográfica (Quadro 7), foram identificadas as classes e subclasses de capacidade de uso, segundo os parâmetros sugeridos por Lepsch et al. (2015).

Quadro 7: Atributos de análise e determinação das classes e subclasses de capacidade de uso da BP3.

Classe de Solo	Atributos de Análise								Classes Cap. Uso	Sub-classes
	Prof.	Text.	Perm.	Decli.	Erosão Laminar	Erosão Sulcos	Risco Inun.	Hidro.		
PVe	I	III	II	II	II	I	I	I	III	III <sub>s,e</sub>
LVdf	I	I	I	II	I	I	I	I	II	I <sub>le</sub>
LVd	I	III	II	II	II	I	I	I	III	III <sub>s,e</sub>
LVef	I	I	I	II	I	I	I	I	II	I <sub>le</sub>
LVe	I	III	II	II	II	I	I	I	III	III <sub>s,e</sub>
GX	III	I	IV	I	I	I	VI	VI	VI	VI <sub>s,a</sub>
RLe	IV	I	I	VI	III	III	I	I	VI	VI <sub>s,e</sub>
NVef	I	I	I	III	I	II	I	I	III	III <sub>le</sub>
NVdf	I	I	I	III	I	II	I	I	III	III <sub>le</sub>
OY	IV	VII	V	I	I	I	VIII	VII	VIII	VIII <sub>s,a</sub>

A avaliação da capacidade de uso da terra permitiu evidenciar quadro classes e seis subclasses na área de abrangência da unidade hidrográfica do Paraná 3 (Tabela 17). A classe dominante é a classe III (representada pelas subclasses IIIe, dominante, e IIIs,e) que soma um total de 43,39% da área, seguida da classe II (subclasse IIe), que abrange 41,92% da área em estudo. Destacam-se também a classe VI (subclasses VIs,e e VIs,a) com cerca de 15%, enquanto a classe VIII (subclasse VIIIs,a) representa menos de 1% da área total da unidade hidrográfica.

Tabela 17: Área ocupada pelas classes de Capacidade de Uso da Terra da BP3.

<b>Classes e Subclasses de Capacidade de Uso</b>	<b>Área Ocupada (%)</b>
IIe	41,92
IIIe	38,28
IIIs,e	5,11
VIs,e	13,55
VIs,a	1,05
VIIIs,a	0,09
Total	100,00

A subclasse IIe engloba as terras próprias para uma grande diversidade de culturas agrícolas, pecuária ou floresta, com a recomendação de práticas simples de conservação do solo. Nesta subclasse, os solos são compostos por Latossolos Vermelhos (Eutroféricos e Distroféricos), com declividades predominantes entre 3 e 6% e vertentes de formas convexas e retilíneas. Destaca-se, contudo, a adoção necessária de práticas simples como plantio direto em curvas de nível, principalmente recomendadas para as unidades de Cascavel, Foz do Iguaçu e Guaíra (Figura 63).

As subclasses IIIe e IIIs,e também contemplam terras viáveis para diferentes tipos de culturas, porém com necessidade de práticas mais intensivas ou mesmos complexas de conservação do solo. A subclasse IIIe abrange apenas solos argilosos do tipo Nitossolo Vermelho (Eutroféricos e Distroféricos), porém apresenta declividade entre 6 e 12%, ocupando especialmente o terço inferior das vertentes. Essas áreas, embora não apresentem restrição em relação ao solo, compõem setores topograficamente mais frágeis devido à maior inclinação e à sua posição na vertente. Já a subclasse IIIs,e corresponde aos solos de textura média, com destaque para os Latossolos Vermelhos (Distróficos e Eutróficos). Dessa forma, os setores que englobam estas subclasses devem, segundo Lepsch (2015), contar com práticas mais intensivas, como o plantio e cultivo em nível, rotação de culturas ou práticas ainda mais complexas, como canais de escoadouros, incorporação de matéria orgânica no solo e plantio intercalado de culturas temporárias, com culturas permanentes de raízes mais profundas.

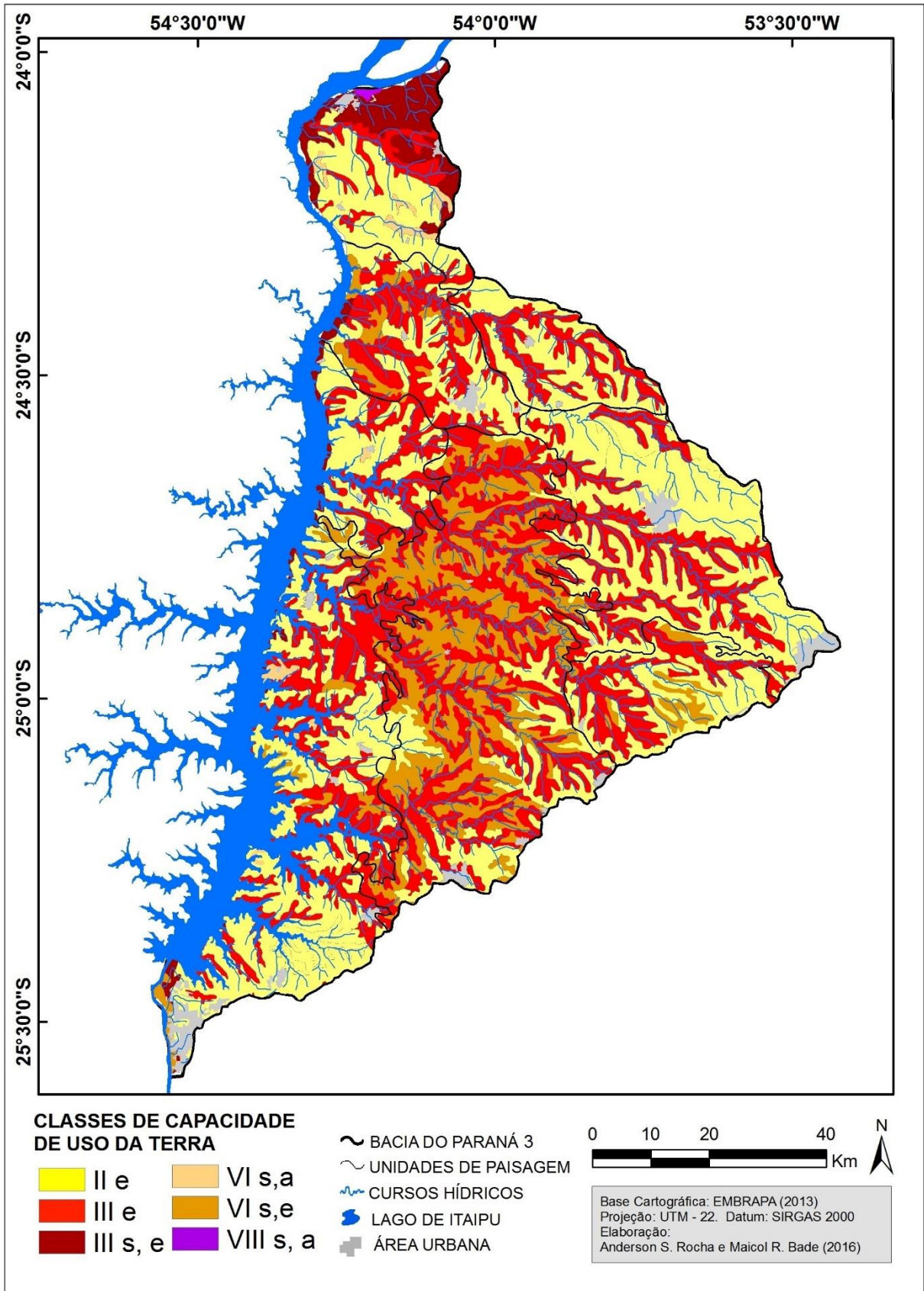


Figura 63: Capacidade de uso das terras da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

Cabe ressaltar que as subclasses IIIe e IIIs,e apresentam-se distribuídas de forma diferenciadas ao longo da BP3. A primeira ocupa os setores de baixa vertente de todas as unidades de paisagem da bacia e ao longo de vários topos estreitos, como se observa na unidade de São Francisco, enquanto a última ocorre principalmente na porção Norte da unidade de Guaíra (Figura 63 – Tabela 18).

Tabela 18: Classes de Capacidade de Uso da Terra por Unidade de Paisagem da BP3.

<i>UNIDADES DE PAISAGEM</i>	<i>SUBUNIDADES</i>	<i>CLASSES E SUBCLASSES DE CAPACIDADE USO</i>	<i>ÁREA (%)</i>	<i>SOLOS</i>
1. CASCAVEL	1.A - TOLEDO	IIe	64,35	LVef – LVdf
		IIIe	35,43	NVef
		VI <sub>s,e</sub>	0,22	RLe
	1.B - STA. TERESA	IIe	50,34	LVef - LVdf
		IIIe	37,99	NVef
		VI <sub>s,e</sub>	11,67	RLe
	1.C - NOVA STA. ROSA	IIe	59,15	LVef - LVdf
		IIIe	40,85	NVef
	2. SÃO FRANCISCO	IIe	15,11	LVef - LVdf
IIIe		45,67	NVef - NVdf	
VI <sub>s,e</sub>		39,21	RLe	
3. FOZ	IIe	49,91	LVef - LVdf	
	IIIe	35,91	NVef	
	III <sub>s,e</sub>	7,95	PVe - LVd	
	VI <sub>s,e</sub>	4,01	RLe	
	VI <sub>s,a</sub>	2,22	GX	
4. MARECHAL C. RONDON	IIe	37,00	LVef - LVdf	
	IIIe	48,39	NVef	
	III <sub>s,e</sub>	2,74	LVd	
	VI <sub>s,e</sub>	11,88	RLe	
5. GUAÍRA	IIe	45,22	LVef	
	IIIe	16,18	NVef	
	III <sub>s,e</sub>	32,52	LVe – PVe - LVd	
	VI <sub>s,a</sub>	4,97	GX	
	VIII <sub>s,a</sub>	1,11	OY	

As áreas caracterizadas pelas subclasses VI<sub>s,a</sub> e VI<sub>s,e</sub> representam as terras com limitações severas, geralmente inadequadas para cultivos e com uso limitado para pastagens, florestas cultivadas ou nativas, para refúgio de flora e fauna silvestre.

O setor delimitado pela subclasse VI<sub>s,a</sub> contempla os solos com presença de hidromorfia, do tipo Gleissolo Háptico, comumente localizados em setores de fundos de vale e cabeceiras de drenagem e geralmente apresentam formas côncavas e/ou planas. Nesses setores,

não ocorrem restrições em relação ao declive pois os gradientes são inferiores a 3% de declividade. No entanto, em termos pedológicos e hídricos, a baixa espessura do solo e o excesso de umidade, associado ao caráter hidromórfico, constituem elementos de restrição à atividade agrícola. Dessa forma, segundo o sistema de capacidade de uso, são indicados para pastagem ou reflorestamentos adaptados as condições de solo úmido, sendo que a eventual implantação de obras de drenagem deve receber manutenções periódicas.

No que se refere a subclasse VI<sub>s,e</sub>, as restrições de uso agrícola encontram-se associadas à baixa profundidade dos solos do tipo Neossolo (Litólico e Regolítico) e ao relevo muito dissecado (declividades entre 20-30%), composto por vertentes convexas e retilíneas, com frequentes rupturas de declive, geralmente fortes e bem marcadas. Nesses setores, o risco de erosão é elevado devido à baixa permeabilidade e à alta declividade que favorecem o escoamento superficial. Dessa forma, são áreas indicadas para pastagens, com rigoroso controle de pastoreio, podendo ainda serem utilizadas para cultivos perenes, desde que contribuam para a proteção do solo.

Em termos de distribuição espacial, verifica-se que a subclasse de capacidade VI<sub>s,a</sub> ocorre apenas nas unidades Foz do Iguaçu e Guaíra, enquanto a subclasse VI<sub>s,e</sub> concentra-se particularmente na unidade de São Francisco, com pequenas faixas de ocorrência nas unidades de Foz do Iguaçu e Marechal Cândido Rondon e, ainda, na subunidade de Santa Teresa do Oeste (Figura 63).

Em toda a extensão da bacia hidrográfica do Paraná 3, a área de maior restrição ambiental é encontrada em uma estreita faixa no extremo Norte da unidade de Guaíra, onde se verifica a presença da subclasse VIII<sub>s,a</sub>. As restrições ocorrem devido à presença dos Organossolos Háplicos, localizados à margem do Lago de Itaipu. Nesses setores, a baixa profundidade e permeabilidade do solo, associada à saturação de água e à tendência de inundação constante, justificam a restrição de uso de todos os tipos de atividades agrícolas e de pecuária. Desse modo, recomenda-se que essas áreas sejam destinadas ao abrigo e proteção da fauna e da flora silvestre e/ou apenas para ambientes de recreação protegidos, podendo ainda ser utilizados para armazenamento de água, conforme sugerem Lespch et al. (2015).

#### 4.5 AS RELAÇÕES ENTRE AS VERTENTES CARACTERÍSTICAS, OS SISTEMAS PEDOLÓGICOS E AS FRAGILIDADES E PONTECIALIDADES NA BACIA DO PARANÁ 3.

A análise detalhada das vertentes características e de seus sistemas pedológicos dominantes, em associação aos diferentes estágios de evolução geomorfológica, evidenciados nos setores superior, intermediário e inferior da bacia hidrográfica do Paraná 3, possibilita estabelecer relações entre os diversos elementos da paisagem. Essas relações, além de subsidiar o entendimento da organização morfopedológica dos compartimentos de paisagem, trazem informações que permitem compreender suas fragilidades e capacidades de uso.

O compartimento superior é representado por um contexto geomorfológico mais antigo, onde a denudação foi menos atuante. Exibe um relevo caracteristicamente suave ondulado e cobertura pedológica predominantemente composta pelos Latossolos, por vezes associados a Nitossolos e Neossolos. Duas situações morfopedológicas principais são distinguidas nessa unidade de paisagem, como mostra a figura 64.

As áreas que abrangem as principais cabeceiras de drenagem da unidade hidrográfica são representadas por vertentes convexas-retilíneas, associadas algumas vezes a um sistema pedológico em equilíbrio, formado por Latossolos que vão do topo até o sopé da vertente. Entretanto, verificou-se que, com maior frequência, o sistema pedológico está na realidade em transformação. A presença da rocha próxima à superfície, revelada por rupturas fracas de declividade, dá origem a um setor estreito, na média e média-baixa vertente, constituído por Neossolos (Litólicos e Regolíticos), interrompendo a sequência dos Latossolos, como já foi descrito anteriormente. Esses setores mais elevados, situados próximos aos divisores da bacia, apresentam declividades entre 0 e 6%.

Neste setor da unidade, a fragilidade potencial e emergente apresenta domínio das classes muito fraca e fraca. As condições mais estáveis, responsáveis por essa fragilidade encontram-se especialmente associadas aos relevos de baixa dissecação e à cobertura pedológica, predominantemente composta por solos profundos, argilosos e bem drenados. Desse modo, o domínio da classe dos Latossolos, em associação com o relevo suave, confere maior estabilidade ao setor mais elevado da unidade, mesmo quando ocupada por cultivos temporários. Cabe destacar, entretanto, que a ocorrência dos Neossolos em estreitas faixas (de 10 a 50 m de largura), acompanhando as suaves rupturas, significa um aumento no grau de fragilidade potencial ou emergente nesse setor da vertente. A ocorrência desses solos rasos e em transformação implica na alteração das condições de circulação hídrica, favorecendo



localmente o aumento do escoamento superficial e geração de processos erosivos. Em alguns locais, esse setor é mantido com cobertura vegetal florestal, em muitos outros estão cultivados necessitando, eventualmente, da remoção de blocos rochosos da superfície para o desenvolvimento dessa atividade. Em virtude da escala adotada para o mapeamento da área, essas ocorrências dos Neossolos não são mapeáveis, em função da sua pequena extensão. Contudo, como visto acima, são comuns na escala da vertente.

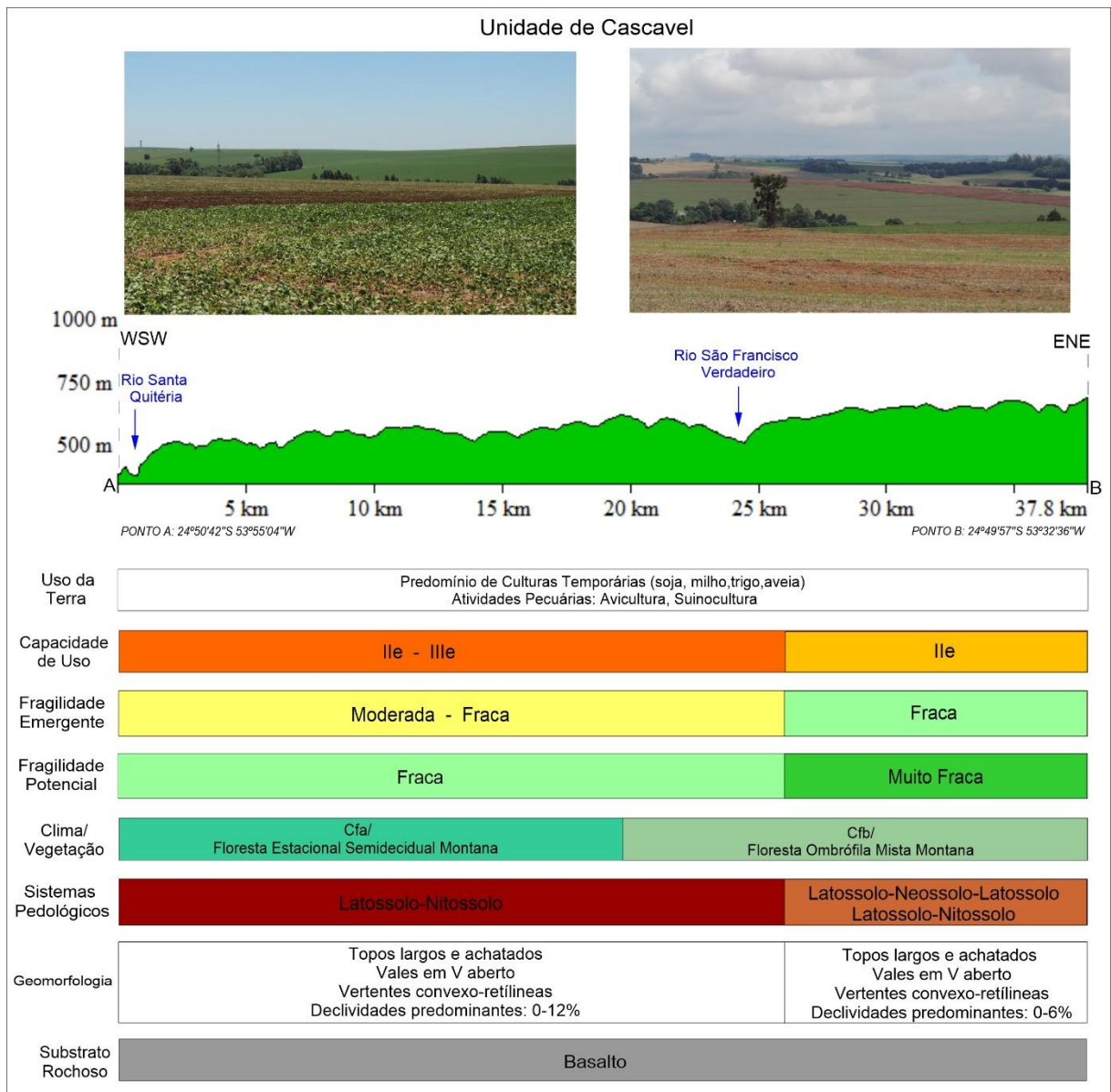


Figura 64: Perfil Geoecológico da Unidade de Paisagem de Cascavel.

Em um nível topográfico mais baixo (Figura 64), em direção a jusante, as vertentes começam a apresentar dissecação um pouco mais acentuada na baixa vertente. Nesses setores,

ocorre um sistema pedológico em transformação constituído pelo Latossolo na alta e média vertente e pelo Nitossolo no segmento baixo, onde as declividades ampliam-se entre 6 e 12%.

Nesse nível topográfico da unidade, a fragilidade potencial também é classificada como fraca, porém a fragilidade emergente apresenta o domínio da classe moderada. Nesse sentido, cabe ressaltar que a fragilidade emergente mais elevada ocorre principalmente no terço inferior da vertente, quando o sistema pedológico é dominado pelo Nitossolo. Nesses segmentos, o uso intensivo de culturas temporárias e dissecação moderada são responsáveis por elevar a fragilidade emergente da área.

As duas diferentes realidades morfopedológicas encontradas na unidade de Cascavel trazem, também, implicações em termos de capacidade de uso das terras para os dois setores, montante e jusante da unidade de paisagem. O setor a montante, topograficamente mais elevado, onde estão instaladas as cabeceiras, apresenta a necessidade de práticas simples de conservação (subclasse IIe), já o setor de jusante, topograficamente mais baixo, apresenta a necessidade de práticas conservacionistas mais intensas e complexas (subclasse IIIe). A necessidade de práticas corretivas de maior complexidade está associada à dissecação moderada (6-12% de declividade) e à cobertura composta por Nitossolo no terço inferior das vertentes.

As diferenças topográficas verificadas no interior do compartimento de Cascavel, distinguem ainda dois segmentos fito-climáticos. Na porção superior, a montante, domina o clima Cfb e a cobertura remanescente de Floresta Ombrófila Mista, enquanto na porção mais baixa (abaixo de 600 metros), ocorre o clima Cfa e fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual.

Apesar de exibir variações em termos fito-climáticos, pedológicos e de dissecação, o compartimento superior da unidade hidrográfica apresenta certa homogeneidade em termos morfológicos. Em geral, o relevo é caracterizado pelo domínio de colinas amplas, topos largos e achatados e vertentes típicas convexo-retilíneas.

Essa organização morfológica do relevo pode estar associada a um passado geomorfológico com longa atuação da pedogênese e baixas taxas de erosão, conforme demonstram os valores das integrais hipsométricas e de integrais de erosão, considerando-se o conjunto da bacia hidrográfica do Paraná 3.

No compartimento intermediário, as condições morfopedológicas estão associadas a um maior grau de denudação, o que contribui para a geração de uma morfologia marcada por fortes influências estruturais (litológicas), além daquelas produzidas pelos processos de esculturação que modelam as vertentes. As influências estruturais estão relacionadas à sequência de derrames basálticos com espessuras variadas e, também, à variação da estrutura da rocha ao

longo de cada derrame, alternando níveis maciços e vesiculares e/ou amigdaloidais, que são responsáveis, em parte, pela formação de um relevo com rupturas acentuadas de declive e patamares. Já os processos geomorfológicos de esculturação encontram-se associados à erosão, ao transporte e ao acúmulo de material, observados tanto na escala da vertente, como na escala da paisagem, como demonstra o alargamento generalizado dos fundos de vales situados às margens dos principais cursos hídricos da unidade de São Francisco, que testemunham o avanço da erosão remontante nesse compartimento (Figura 65).

Nessa unidade, o sistema pedológico representativo é caracterizado pelo Neossolo-Nitossolo, especialmente associado às condições topográficas. Ao longo de todo o setor intermediário, as sequências alternadas de formas (convexa, côncava) e segmentos (retilíneos), acompanhadas pela variação de declividade, apresentam papel preponderante em relação à dinâmica dos processos erosivos e à dinâmica hídrica, com conseqüente reflexo na pedogênese.

Nos setores de vertentes compostos por rupturas, seguidas de formas convexas e segmentos retilíneos com declividades de 12 a 20% e de 20 a 30%, é comum a presença dos Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos. Aí a erosão e o transporte de material ocorrem de forma mais intensa, devido ao domínio do escoamento superficial. Já nos setores de vertentes compostos por formas côncavas, associadas a segmentos retilíneos com declividades entre 6-12%, verifica-se a presença dos Nitossolos. Nesses casos, quando as formas se apresentam ligeiramente côncavas, ocorre o acúmulo de material coluvial, advindo de áreas de maior inclinação, a montante. O acúmulo de material, as fracas declividades e a circulação hídrica vertical e lateral que se estabelece geram condições para um maior desenvolvimento pedogenético, marcado pela ocorrência localizada dos Nitossolos.

Essas variações geomorfopedológicas possibilitam observar a organização de dois modelos morfopedológicos, que condicionam fragilidades e restrições de uso do solo diferenciadas.

A condição morfopedológica predominante é caracterizada pelo relevo amorreado, onde se destacam espigões estreitos e alongados, dispostos na direção ESE-WNW, com topos convexas e curtos, vertentes compostas (convexas, côncavas e retilíneas), associados a vales encaixados em forma de V. Esses espigões correspondem aos setores mais elevados dessa unidade de paisagem. Nesses setores, os sistemas pedológicos são compostos por Neossolo Regolítico – Nitossolo Vermelho Eutroférico – Neossolo Litólico, com maior predominância dos solos rasos (Neossolos Litólicos), principalmente onde os vales são mais encaixados e as vertentes se apresentam com declividades acentuadas (Figura 65).

Nesses setores, as fragilidades potencial e emergente comumente apresentam domínio das classes fortes e muito fortes. A elevada fragilidade nesses segmentos está associada à alta dissecação e à condição pedológica (solos rasos), que conferem maior susceptibilidade erosiva à região. Esses setores também apresentam maiores restrições em relação à capacidade de uso. Em geral, comportam a subclasse VI<sub>s,e</sub>, com restrições em relação ao solo (baixa permeabilidade e baixa espessura) e ao relevo (declividades fortes), sendo indicados, portanto, para o uso com pastagem e rigoroso controle do pastoreio e/ou culturas perenes, visando impedir a degradação do solo.

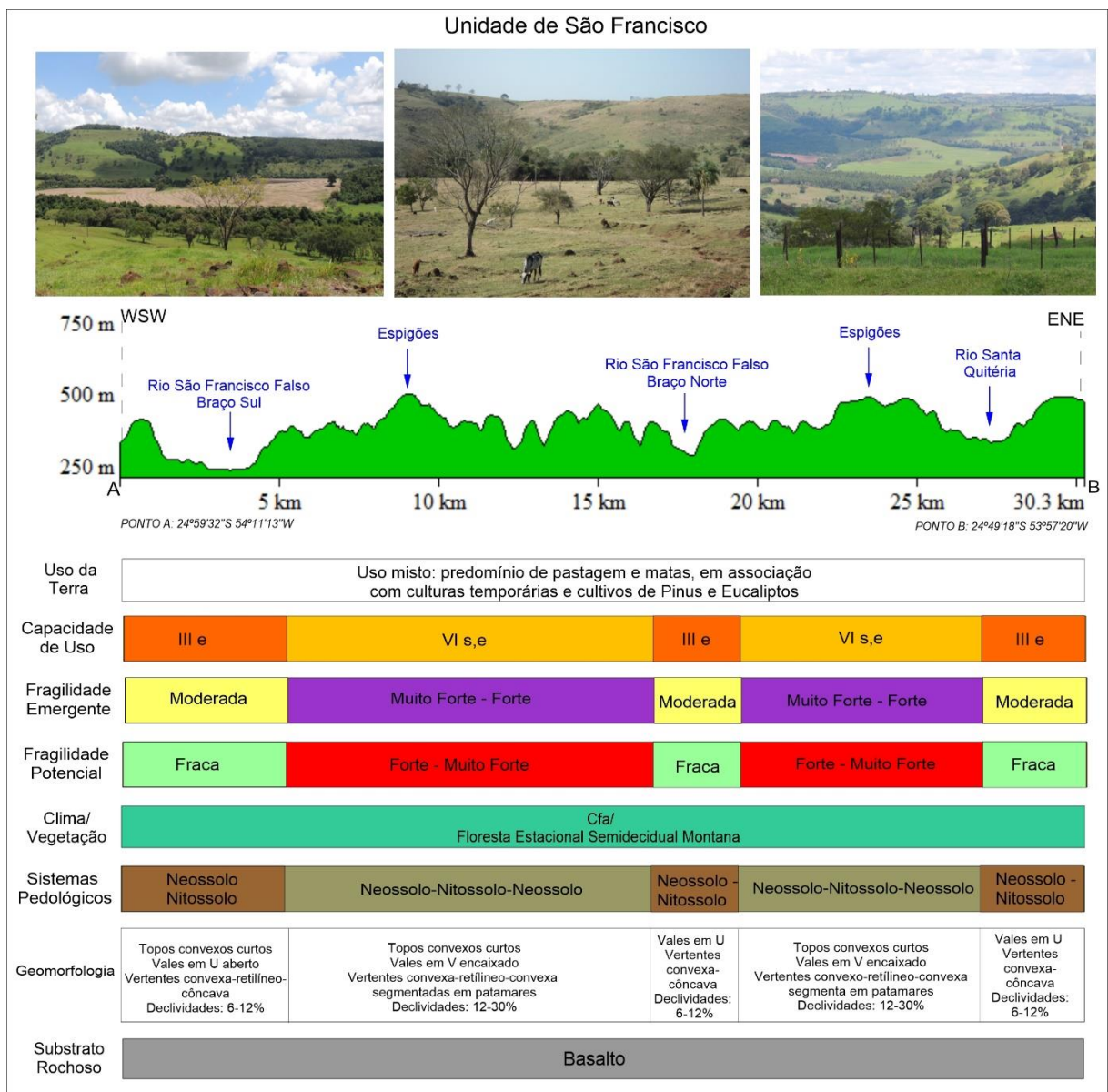


Figura 65: Perfil Geocológico da Unidade de Paisagem de São Francisco.

Nos setores topograficamente mais baixos, embutidos entre os espigões e que margeiam os cursos d'água principais, os vales são menos dissecados e apresentam fundos chatos em forma de U (Figura 65). Nesses casos, a presença do Nitossolo é mais comum nos setores de baixa vertente, enquanto os Neossolos Regolíticos e Litólicos ocorrem nos setores a montante (média, alta vertente e topo).

Esses setores topograficamente mais baixos da unidade são resultantes da ação da erosão remontante, que promove o recuo lateral das vertentes e o alargamento dos fundos de vale ao longo dos principais cursos d'água. Nesses setores, vertentes e sopé exibem formas côncavas enquanto o fundo do vale, propriamente, se apresenta plano (chato). Nessa condição, a fragilidade potencial é fraca e a fragilidade emergente é moderada, devido às implicações do uso agrícola e pecuário. Nesse contexto, em termos de capacidade de uso da terra, verifica-se o domínio da subclasse IIIe, que segundo o sistema de classificação, não restringe o uso agrícola, porém indica a necessidade de práticas complexas e contínuas voltadas à conservação do solo.

Sobre o uso e as práticas antrópicas, é importante destacar que não se verificou, até o presente momento, processos visíveis de degradação do solo, principalmente formas erosivas, nos setores de fundos de vales. Acredita-se, portanto, que as práticas empregadas têm sido adequadas às condições da fragilidade natural da área. Em contrapartida, geralmente a partir da média vertente até o topo (inclusive), é evidente a ausência de práticas conservacionistas e/ou mais adequadas às formas de uso implantadas, seja na silvicultura (pinus e eucaliptos) ou nas pastagens, as quais muitas vezes não atendem às limitações impostas pela legislação ambiental. Um exemplo é a ocupação de áreas com declividades superiores a 45%. Desse modo, o uso e manejo inadequado, associado a já forte fragilidade potencial, tem promovido a evolução de processos erosivos lineares, com a presença pontual de sulcos, ravinas e voçorocas nas áreas mais dissecadas da região central da bacia.

Já no compartimento inferior da BP3, o relevo é dominado pelas colinas médias e amplas. A esculturação do relevo na unidade de Foz do Iguaçu é resultante de uma intensa denudação que gerou a formação de superfícies rebaixadas e, atualmente, de baixa dissecção, onde as declividades predominantes são inferiores a 6%. Nesse setor, os topos convexos e achatados são mais curtos, comparados ao setor superior da unidade hidrográfica. Cabe destacar que a cobertura pedológica dos segmentos de topo, apesar de formada por Latossolos, apresenta menor espessura, tendo em vista que o substrato rochoso muitas vezes ocorre entre 1,5 a 2 metros da superfície.

Esse compartimento rebaixado é caracterizado morfopedologicamente por vertentes convexo-retilíneas, onde ocorre a presença do Latossolo Vermelho Eutroférrico na alta e média-

alta vertente e do Nitossolo Vermelho Eutroférico no segmento médio-baixo e baixo. Ao longo de todo o setor rebaixado da unidade, os vales apresentam-se abertos e os fundos exibem formas planas e, às vezes, ligeiramente côncavas. Esses setores, quando expostos a condições de hidromorfia, podem apresentar a ocorrência de solos do tipo Gleissolo, geralmente associados ao excedente hídrico que ocorre às margens do Lago de Itaipu (Figura 66).

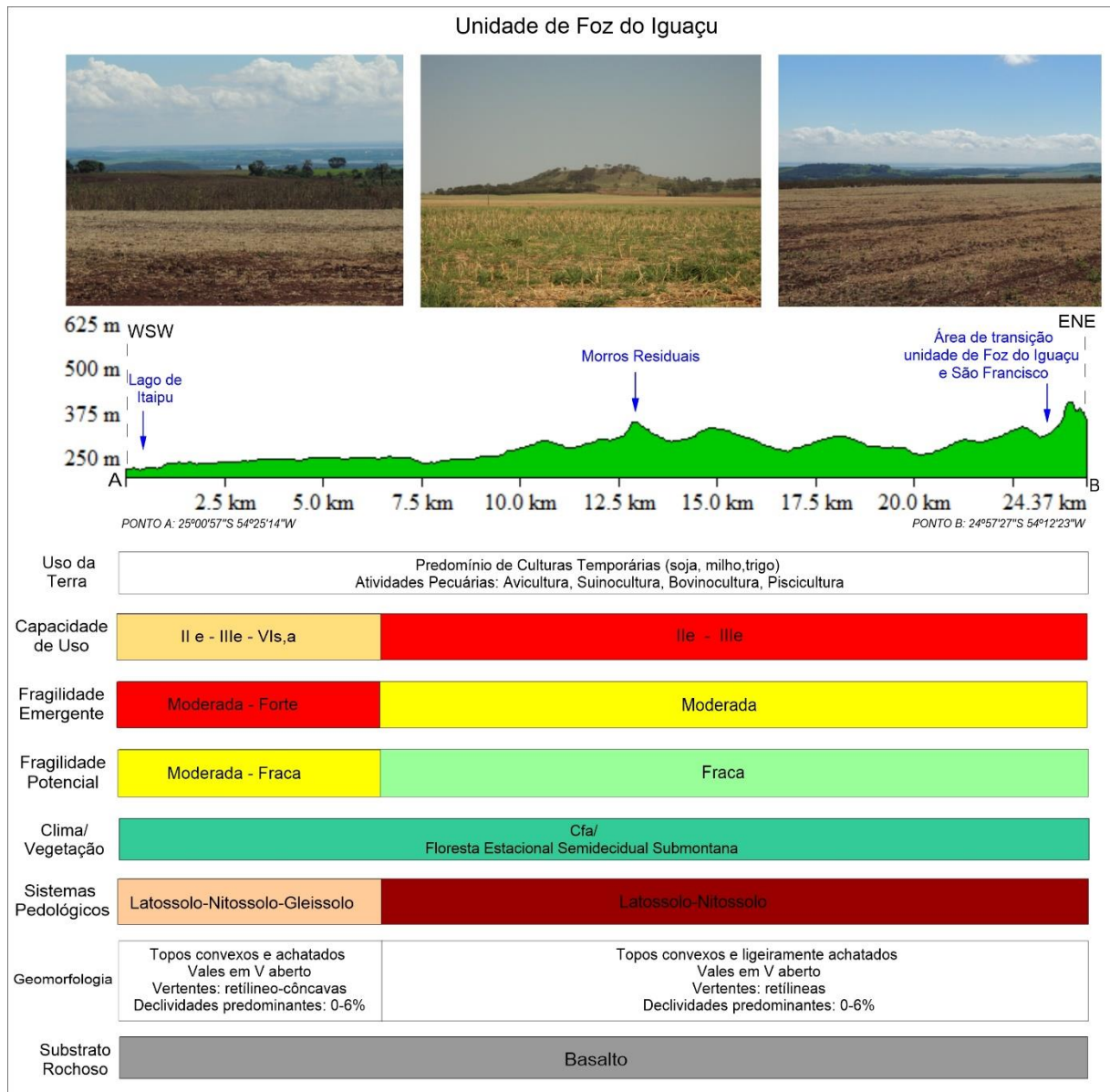


Figura 66: Perfil Geocológico da Unidade de Paisagem de Foz do Iguaçu.

A morfologia retilínea, típica das vertentes do relevo suave ondulado, e os sistemas pedológicos predominantes (Latossolo Vermelho Eutroférico – Nitossolo Vermelho Eutroférico) geralmente apresentam fragilidade potencial fraca. Contudo, as pressões associadas ao uso agrícola do solo elevam o grau de fragilidade emergente para moderado.

Nas condições existentes nessa unidade de paisagem, predominam as classes de capacidade sem restrições à atividade agrícola e/ou pecuária. Nos setores de topo, alta até a média vertente, onde ocorre o Latossolo, recomenda-se apenas práticas simples de conservação (subclasse IIe), enquanto nos setores de média e baixa vertente, revestidos pelos Nitossolos, as indicações de uso sugerem maiores cuidados em relação às práticas conservacionistas (subclasse IIIe).

Nos setores marginais ao lago de Itaipu, é comum a ocorrência de vertentes retilíneo-côncavas, onde aparece o sistema pedológico constituído pelo Latossolo Vermelho Eutroférico – Nitossolo Vermelho Eutroférico, que passa para o Gleissolo Háptico, no terço inferior da encosta. O hidromorfismo presente nesses setores, geralmente encontra-se associado aos fundos de vales côncavos que margeiam a área inundada do reservatório. Nesses segmentos, a fragilidade potencial é moderada, mas transforma-se em forte, na condição de fragilidade emergente.

Nos casos onde os Gleissolos estão presentes, recomenda-se o uso de pastagem ou reflorestamento, com espécies adaptadas ao solo hidromórfico ou, ainda, obras de drenagem da área com manutenções periódicas (subclasse VI s,a). Esses espaços geralmente vêm sendo ocupados por atividades de piscicultura. No entanto, a falta de manutenção ou a interdição dos tanques de criação de peixes, tem gerado processos de degradação dos setores de fundo de vale, conforme demonstram as pesquisas de Magalhães e Cunha (2007) e Rocha (2011).

Desse modo, pode-se verificar que os dois principais sistemas pedológicos (Latossolo-Nitossolo e Latossolo-Nitossolo-Gleissolo), observados no compartimento inferior, apresentam fragilidades e capacidades de uso diferenciadas, demonstrando que as restrições e potencialidades ambientais são particularmente definidas pelas variáveis morfopedológicas.

A unidade de Foz do Iguaçu, embora predominantemente composta por relevo de baixa dissecação, também exhibe morros isolados morfologicamente mais dissecados (Figura 66). Esses morros enquadram-se na categoria de “morros residuais”, pois testemunham a intensa denudação sofrida por esse setor.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correlação dos dados geomorfopedológicos, com os demais elementos físicos e antrópicos da paisagem permitiu identificar as vertentes características e os sistemas pedológicos que caracterizam os compartimentos de paisagem estudados na unidade hidrográfica do Paraná 3 e, ainda, verificar suas influências em termos de potencialidade (capacidade de uso das terras) e fragilidade ambiental. Essas correlações podem ser particularmente observadas em dois diferentes níveis de análise: o local, envolvendo os estudos em topossequência, e o regional, associados às unidades e subunidades de paisagem.

No primeiro nível, que abrange especialmente as relações solo-relevo na escala da vertente, foi possível compreender que as diferenças em termos de dissecação, formas, comprimento, declividade, presença e/ou ausência de rupturas interferem de modo direto na organização da cobertura pedológica. Assim, a partir da morfologia do relevo foi possível estabelecer alguns parâmetros:

- nos setores compostos por colinas amplas, vertentes convexo-retilíneas e vales em V aberto, com declividades inferiores a 6%, geralmente ocorre a presença do Latossolo Vermelho Eutroférico, na alta e média vertente. À medida em que se amplia a convexidade ou ocorre um leve aumento de inclinação nos setores de média-baixa e baixa vertente, o Latossolo dá lugar ao Nitossolo Vermelho Eutroférico;
- nos setores formados por relevo mais dissecado, de aspecto amorreado, com topos convexos e estreitos, vertentes segmentadas com patamares, alternando formas convexas, côncavas e retilíneas, declividades entre 12 e 30% e vales encaixados ocorrem os Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos;
- em condições específicas, junto ao sopé das vertentes, nos fundos de vale planos e achatados, ocorrem solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos).

Na escala da paisagem, por sua vez, a vertente característica, representando o padrão morfopedológico dominante de um compartimento, possibilitou compreender as interações existentes entre os sistemas pedológicos, as fragilidades e as restrições e potencialidades referentes ao uso da terra. No presente trabalho, essas interações, sobretudo aquelas que envolvem a correlação solo-relevo-paisagem, foram evidenciadas ao longo dos três principais compartimentos da bacia hidrográfica do Paraná 3.

Na Unidade de Cascavel (alto setor da bacia hidrográfica), ocorrem pelo menos dois tipos diferentes de vertentes mais representativas espacialmente:

- nos setores mais elevados, próximo aos divisores de água, onde estão instaladas as cabeceiras de drenagem, as vertentes são convexo-retilíneas, frequentemente recobertas por um sistema pedológico em equilíbrio, constituído pelo Latossolo Vermelho Eutroférico, que se estende desde o topo até ao sopé da vertente. Entretanto, ainda nesse setor do compartimento, vertentes exibindo a mesma morfologia estão recobertas por um sistema pedológico em transformação constituído pelo Latossolo Vermelho Eutroférico – Neossolo (Litólico e/ou Regolítico) – Latossolo Vermelho Eutroférico. O Neossolo ocorre em estreitas faixas na média e média-baixa vertente, relacionadas à ocorrência de rocha próxima à superfície do terreno e marcadas por rupturas de declividade fracas, pouco perceptíveis no campo. As causas que levaram o sistema pedológico em equilíbrio à condição de transformação estão relacionadas tanto às características do substrato rochoso (derrame vulcânico e nível de estrutura maciça espessos) quanto à evolução lateral da vertente. A fragilidade potencial dominante nesses setores varia de muito fraca a fraca. No entanto, o uso agrícola com culturas sazonais gera condições de fragilidade emergente predominantemente fraca e, mais restritamente, moderada em fundos de vale. Nos mapas de fragilidade não são detectados os efeitos das faixas estreitas de Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos, já que só são mapeáveis em grandes escalas. Cabe, contudo, frisar que essas faixas se constituem em áreas de fragilidade potencial moderada, mas que são elevadas à categoria de forte quando cultivadas. São faixas que necessitam de cuidados especiais para evitar a instalação de processos erosivos que podem evoluir e comprometer setores maiores da vertente, tanto a jusante quanto a montante (erosão regressiva) da sua ocorrência;

- nas áreas topograficamente mais baixas desse compartimento, à medida em que se avança para os limites com o setor médio da unidade hidrográfica, as declividades acentuam-se no terço inferior das vertentes. Nessas condições, o sistema pedológico é constituído preferencialmente pelo Latossolo Vermelho Eutroférico – Nitossolo Vermelho Eutroférico. Nessas áreas, a fragilidade potencial dominante é fraca, ocorrendo também condições de fragilidade muito fraca ao longo dos topos, mas de forma mais restrita que a observada na condição anterior. O uso com cultivos sazonais eleva a fragilidade para as classes fraca, nos topos e altas vertentes, e moderada, nos setores de média e baixa encosta e fundos de vale. Apenas de modo pontual, na baixa vertente e fundo de vale, são observadas áreas com fragilidade emergente forte.

No compartimento intermediário (Unidade de São Francisco), os sistemas pedológicos também se apresentam em transformação. Nos setores mais elevados desse compartimento, ocorrem ao longo da vertente várias rupturas de declive que articulam segmentos e formas

variadas, criando patamares onde domina o sistema pedológico formado pelo Neossolo Regolítico – Nitossolo Vermelho Eutroférico – Neossolo Litólico. Nesse compartimento de paisagem, o maior grau de denudação faz com que as características do substrato rochoso (estruturais e litológicas) desempenhem um papel acentuado na morfologia das vertentes. Assim, a alternância de declividades fracas e fortes e o recobrimento em grande parte das vertentes pelos solos rasos geram condições de fragilidade potencial forte e moderada que se alternam com áreas de fragilidade fraca e, mais restritamente, muito fraca tanto ao longo de parte dos topos, quanto nos fundos de vales mais largos e planos. O uso das terras nesse compartimento, ocupado principalmente por pastagens, ampliou as áreas de fragilidade forte e moderada e, de modo mais grave, gerou áreas de fragilidade emergente muito forte.

No setor inferior (Unidade de Foz do Iguaçu), as condições de relevo de baixa dissecação, exibem dois sistemas pedológicos, o mais comum composto Latossolo Vermelho Eutroférico – Nitossolo Vermelho Eutroférico, onde as fragilidades emergentes são fracas e moderadas, e um outro localizado às margens do lago de Itaipu, onde ocorre o Latossolo Vermelho Eutroférico – Nitossolo Vermelho Eutroférico – Gleissolo Háptico. A fragilidade potencial varia entre muito fraca e fraca, ocorrendo apenas de forma muito localizada condições de fragilidade forte e/ou moderada. O uso com culturas sazonais ampliou as áreas com grau moderado e de fragilidade fraca, fazendo desaparecer quase por completo as condições de fragilidade muito fraca. Estas ficaram restritas a algumas áreas marginais ou pontuais ao longo do lago de Itaipu ou dos cursos d'água. As áreas com fragilidade forte sofreram uma pequena ampliação no entorno das manchas originais (fragilidade potencial).

A perda de estabilidade e o respectivo aumento no grau de fragilidade introduzido pelo uso das terras observado em todos os compartimentos estudados foram também comprovados pelas medidas físico-hídricas realizadas ao longo das topossequências. Os horizontes superficiais e, muitas vezes os subsuperficiais apresentaram densidades de solo mais elevadas, porosidade total mais baixa, o que também se refletiu nos valores de condutividade hidráulica e velocidade de infiltração mais reduzidos. Essas condições que retardam a infiltração da água, facilitam a formação mais rápida e mais volumosa do escoamento hídrico superficial, o grande responsável pela perda de solos por erosão e, conseqüentemente, pelo aumento da fragilidade ambiental.

Ao longo dos três compartimentos, pode-se compreender que as vertentes características e os sistemas pedológicos são responsáveis por limitar diferentes tipos de uso, com a necessidade de distintas práticas de conservação do solo. Na unidade de Cascavel, o predomínio das morfologias convexas e retilíneas e cobertura pedológica de maior desenvolvimento

pedogenético favorece o uso de cultivos agrícolas, porém são recomendadas práticas de conservação simples para os segmentos de montante e práticas mais complexas no segmento jusante. Já na unidade de São Francisco, o uso agrícola é restrito para áreas onde se situam os espigões, e, portanto, são indicados a ocupação com pastagens e culturas permanentes em razão do solo raso e alta dissecação. Nesse compartimento, as áreas situadas próximas aos grandes cursos hídricos, onde os vales são mais largos e de fundo chato (em forma de U), o uso agrícola temporário é possível, porém com a adoção de práticas complexas de conservação. No compartimento de Foz, assim como no compartimento de Cascavel, são sugeridos cultivos agrícolas com práticas conservacionistas para os três setores da encosta (alto, médio, baixo), propondo-se, no entanto, maiores cuidados nos segmentos compostos por solos hidromórficos, onde se sugere apenas cultivos de espécies adaptadas a solos úmidos.

Cabe salientar ainda que o conhecimento das vertentes típicas e da organização da cobertura pedológica, além subsidiar o mapeamento das fragilidades e capacidades de uso na escala da paisagem, ainda traz resultados que auxiliam na compreensão dos estágios de evolução do relevo. Sobre este aspecto, a correlação dos dados geomorfopedológicos, com os índices de integral hipsométrica e integral de erosão, possibilitou o entendimento de que o compartimento superior sofreu menor atuação dos processos de erosão, denudação menos intensa, enquanto o compartimento inferior contou com maior atuação dos processos de erosão e maior denudação do relevo. Desse modo, pode-se concluir que a evolução geomorfológica regional, vem ocorrendo por meio do avanço de processos de erosão remontante, que atualmente é mais intensa no compartimento intermediário da bacia hidrográfica do Paraná 3, promovendo o entalhamento e alargamento dos vales ao longo dos cursos d'água e a modelagem das vertentes em patamares, com forte influência estrutural e recoberta por solos rasos.

Nesse contexto, o presente trabalho demonstra que as vertentes típicas e os sistemas pedológicos caracterizam-se como objetos de estudo, que servem de instrumento para as mais diferentes pesquisas que envolvam a relação solo-relevo-paisagem, sobretudo aquelas desenvolvidas com viés geoambiental. Para tanto, recomenda-se que os estudos dessa natureza, sempre priorizem a possibilidade de estabelecer relações entre as condições morfopedológicas observadas na escala da vertente, com as condições geológicas verificadas na escala da paisagem.

Esses estudos, quando realizados de forma integrada, podem contribuir com o diagnóstico e o prognóstico ambiental, pois trazem informações importantes para o

conhecimento das fragilidades e potencialidades regionais, auxiliando tanto em projetos de zoneamento econômico-ambiental, quando em projetos de gerenciamento territorial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: o exemplo do município de São Vicente-SP. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 20 (2), p.177-198, 2008.

ANDRADES FILHO, C.O.; ROSSETTI, D. F.; ZANI, H. Hipsometria derivada de MDE-SRTM aplicada na distinção entre a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras na Bacia Paraíba. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba – Pr, p.3443 – 3450, 2011.

BABU, K. J.; SREEKUMAR, S. ASLAM, A. MIDHUN, K. P. Hypsometry and Geomorphic Development of a Watershed: A Case Study from South India. **International Journal of Science and Research**. v. 3, p.1495-1500, 2014.

BADE, M. R.; ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. Geotecnologias aplicadas à cartografia geomorfológica: o estudo de caso da bacia do Paraná III BR/PY. In: II SEMINÁRIO INTERNACIONAL DOS ESPAÇOS DE FRONTEIRA, 2013, Posadas-Argentina, Anais do II Geofronteiras, 2013.

BADE, M. R. **Definição e Caracterização das Unidades de Paisagem das Bacias Hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai)**. 2014. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia) UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2014.

BALLER, L. **Caracterização de Perfis Longitudinais dos Rios nas Bacias Hidrográficas do Paraná III (Brasil) e Alto Paraná (Paraguai)**. 2014. 88f. Dissertação (Mestrado em Geografia) UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2014.

BECKER, J. R; CARVALHAL, M. D. As estratégias capitalistas sob o mercado de trabalho no Oeste do Paraná: a inserção da mulher no mercado de trabalho. In: João Edmilson Fabrini; Edson dos Santo Dias. (Org.). **Dinâmica territorial e ambiental em espaço de fronteira**. 1ed.Cascavel: EDUNIOESTE, 2012, v. 1, p. 9-265.

BHERING, S. B. et al. Mapa de solos do Estado do Paraná: escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>>. Acesso em: 26 de maio de 2013.

BERVEGLIERI, A.; MENEGUETTE, M.; PITERI, M. A.; ANJOS, D. S.. Classificação Fuzzy de vertentes por Thin-Plate Spline e Krigagem com comparação de resultados. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 64, p. 69-82, 2012.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.R; SILVA, J. X. **Considerações a respeito da evolução das vertentes**. Curitiba, Bol. Paran. Geogr. 16 e 17:89-116. 1965.

BOCQUIER, G. **Genèse et evolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad**. Mémoires ORSTOM, N° 62, Paris.1973.

BOLOS, M. (Org.). **Manual de Ciencia del Paisaje**. Teoría, métodos y aplicaciones. Masson S.A., Barcelona. 273p. 1992.

BONIFACIL, C. M. **Avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas do alto vale do rio Pirapó, norte do Paraná: proposta metodológica**. 112f. 2013. Dissertação de Mestrado em Geografia. UEM - Maringá - PR.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: lês études de toposéquences et leurs principales apports à la connaissance des sols. **Cah ORSTOM**, ser. Pédol., vol. XIX, n° 4, p. 309-322, 1982a.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse Structurale et Cartographie en Pédologie. II Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM**, sér. Pédol., vol. 19, n.4, p.323-339, 1982b.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse Structurale et Cartographie en pédologie. III Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM**, sér. Pédol., vol. 19, n. 4, p.341-351, 1982c.

BOVET PLA, M. T.; VILÀS, J. R. Metodología general de los estudios de paisaje. In: BOLOS, M. (Org.). **Manual de Ciencia del Paisaje**. Teoría, métodos y aplicaciones. Masson S.A., Barcelona. pp. 123-134. 1992.

BUENO, C. R. P. et al. Análise multivariada na determinação do risco de erosão em solos sob Irrigação. **Irriga Botucatu**, v.15, n.1, p. 23-35, 2010.

CAMPOS, M. C. C. et al., Segmentos de vertente e atributos do solo de uma toposequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 501-510, 2010.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Revista Ambiência**. v.8 n.3 p. 963 – 982. 2012.

CASAGRANDE, A. E.; SOUZA, E. B.C . Região Costa Oeste do Paraná e os indicadores sociodemográficos: evolução populacional entre os censos de 1991, 2000 e 2010. **Ciência Geográfica**, v. XV, p. 58-69, 2011.

CASSETI, V. Geomorfologia. [S. l.]: 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 15 de maio 2014.

CASTRO, S. S; SALOMÃO, F. X. T; Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: Considerações metodológicas. **GEOUSP, Espaço e tempo**, n. 7, p. 27-37, 2000.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP. 1974.

CICCACCI, S.; D'ALESSANDRO, L; FREDI, P.; LUPIA-PALMIERI, E. Relations between morphometric characteristics and denudational processes in some drainage basins of Italy, **Zeitschrift fur Geomorphology**. N. F. 36, p. 53-67. 1992.



CICCACCI, S., DEL MONTE, M., FREDI, P., LUPIA-PALMIERI, E. Planoaltimetric configuration, denudational processes and morphodynamics of drainage basins. **Geologica Romana**. N. 31, p.1–13, 1995.

CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha** - PR. 175f. 2002. Tese doutorado em Geografia. USP. São Paulo - SP.

CUNHA, M. A. (Coord.) **Manual de Ocupação de Encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1991. 223p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. & FLORENZANO, T. Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. São José dos Campos: INPE, 1996.

DALBEN, R. P. et al. Delimitação de unidades de paisagem: conceito e método aplicados ao município de Paranaguá/PR/Brasil. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2005, São Paulo, p. 3429-3438.

DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Z. Geomorphology**, Berlin, v.12, n.1, p.60-76, 1968.

DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.F. & CADY, J.G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Adv. Agron.**, 23: 51-87, 1971.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal**. London, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DEFFONTAINES, J. P. Analyse du paysage et étude regionale des systèmes de production agricole. **Economie Rurale**, Paris, v. 98, n. 1, p.3-13. 1973.

DELARMELINDA, E. A. **Aplicação de sistemas de avaliação da aptidão agrícola em solos do Estado do Acre**. Dissertação (Produção Vegetal) 2011. 142f. UFC - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2011.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n.2, p.102-114, 2014.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DIKAU, R.; RASEMANN, S.; SCHMIDT, J.; Hillslope, Form. In: GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. International Association of Geomorphologists. v. 1, p. 516 – 521, 2004.

Dylik, J. Notion du versant en geomorphologie. **Bull. Acad. Pol. Sci. Série des Sc.Geol.Geogr.**, 16(2);125-132, 1968.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**.3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W.D; TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. In: **Groudwater Monitoring Review**. Vol. 9, p.184-193, 1989.

FABRIS, D. R. et al., Meio Socioeconômico. In: PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, Características Gerais da Bacia. Cascavel: UNIOESTE/ITAITU/PARANÁ3. 2011.

FACCO, R. et al. Propriedades físicas e cobertura pedológica de uma topossequência numa secção de vertente no distrito de Pains, município de Santa Maria – RS. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.634 – 645, 2012.

FEIDEN, A. et al. Uso Agropecuário. In: PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, Uso e Ocupação do Solo. Cascavel: UNIOESTE/ITAITU/PARANÁ3. 2011.

FERNANDEZ, O. V. Q. et al. Meio Físico. In: PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, Características Gerais da Bacia. Cascavel: UNIOESTE/ITAITU/PARANÁ3. 2011.

FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

FONTANA, A. C. et al. Sistema pedológico associado à Lagoa dos 32, no terraço Taquarassu, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 93-109, 2014.

FRANÇA, C. F.; PIMENTEL, M. A. S.; PROST, M. T. R. C. Geomorfologia e paisagem: contribuições à classificação de unidades de paisagem da região oriental da ilha de Marajó, norte do Brasil. In: VI SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2010, Coimbra, p. 1-10.

GILBERT, G. K. The Geology of the Henri Mountains. Washington: United States Geographical and Geological Survey. 1877.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. International Association of Geomorphologists. v. 1, 2004.

GREGORY, V. Modernização e Representações Camponesas no Oeste do Paraná. In: VANDERLINDE. T.; GREGORI, V.; DEITOS. N. J. (Org.) **Migrações e a Construção do Oeste do Paraná: século XXI**. Cascavel: Coluna Saber, p. 143- 162, 2007.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C. Análise digital de terreno e evolução de longo-termo de relevo do centro-leste brasileiro. **Geologia USP, Série Científica**, 12 (2): 129-150, 2012.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental (Cap. 6). In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs). **A questão ambiental – diferentes abordagens**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: BERTRAND, 1994.

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

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 21 de fevereiro 2015.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 17 de janeiro 2015.

ITCG (INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS). Dados Geoespaciais de Referência / Dados e Informações Geoespaciais Temáticas. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 23 de março de 2013.

IPARDES (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL) Oeste paranaense: **O 3º espaço relevante: especificidades e diversidades**. Curitiba: IPARDES, 2008.

IPARDES (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL) Mapas. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/>. Acesso em: 15 de junho de 2015.

KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. **Bull. Geol. Society of America**. Washington, v. 64, n. 7, p. 721-732, 1953.

LEINZ, V. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. **Boletim FFCHL-USP. Geologia**, São Paulo, n.103, v. 5, p. 1-103, 1949.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação**. Campinas: SBCS, 1991.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

LIMA, I. T. C. **Itaipu: as faces de um mega projeto de desenvolvimento (1930-1984)**. Niterói: Editora Germânica. 2004.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 2002.

LUPIA-PALMIERI, E. Hipsometric Analysis. In: GOUDIE, A. (Ed.) **Encyclopedia of Geomorphology**. London, Routledge, International Association of Geomorphologists. v. 1, p. 542-543, 2004.

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

MAGALHÃES, M. V. **O Paraná e as migrações - 1940 a 1991**. 1996. 194 f. Dissertação de Mestrado. UFMG/CEDEPLAR – Belo Horizonte – MG.

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E. Uso e degradação do solo no fundo de vale da sanga Creoula, distrito de Margarida, município de Marechal Cândido Rondon-PR. **Geografia**, Londrina, v. 16, p. 49-61, 2007.

MAGALHÃES, V. L. **Gênese e evolução de sistemas pedológicos em unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon-PR**. 2013. 123 f. Tese de Doutorado em Geografia. UEM - Maringá - PR.

MANFREDINI, S. et. al. Técnicas em Pedologia, In: VENTURI, L. B. (org) **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2005, p. 85-98.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MANOSSO, F. C.; NOBREGA, M. T. A estrutura geocológica da paisagem como subsídio a análise geoambiental no município de Apucarana-PR. **Revista Geografar** (UFPR), v. 3, p. 86-116, 2009.

MARCATO, F. S. **O efeito do uso e manejo nas propriedades físicas e hídricas dos solos na bacia hidrográfica do rio Pirapó – Pr**. Maringá, 104p. 2016. Dissertação de Mestrado em Geografia. UEM – Maringá – PR.

MARIN, G. B. S. **Espacialização do impacto ambiental por compactação em solos de pastagem e sua recuperação em área de revegetação natural por capoeiras**. Porto Velho, 134p. 2010. Dissertação de Mestrado em Geografia. UNIR – Porto Velho – RN.

MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. Análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da bacia do médio – baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.22, n.38, p. 14-34, 2012.

MELO, A. C.; GUERRA, H. O. Análise da capacidade de uso da terra utilizando à fórmula mínima obrigatória no assentamento Patativa do Assaré no município de Patos/PB. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.7, n.14, p.55-75, 2013.

MEZZOMO, M. M.; NÓBREGA, M. T. Paisagem na perspectiva integrada: alguns apontamentos. **Perspectiva Geográfica**, Francisco Beltrão, n. 4, p. 153 – 168, 2008.

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

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração da água no solo sob pastagem em função da intensidade do pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1513-1519, 2009.

MINEROPAR (SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ). Mapas Geológicos 1:250.000 Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/>. Acesso em: 10 de janeiro 2015.

MORESCO, M. D. **Estudos de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon- PR**. Maringá, 2007. 137p. Dissertação de Mestrado em Geografia. UEM – Maringá – PR.

MOTTA, A. C. V.; BARCELLOS, M. Fertilidade do solo e ciclo dos nutrientes. In: LIMA, V.C.; LIMA, M.R.; MELO, V.F. (Eds.) **O solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, p. 49-64, 2007.

MOTTA, P. E. F. et al. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002.

NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D. R.H; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Revista Geociências**, São Paulo, n. 21 v.1/2, p.15-32, 2002.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. da. O Solo: Caminho, Abrigo e pão. In: VILLALOBOS, J. U.G. (Org.). **Ambiente, Geografia e Natureza**. Maringá: EDUEM, v. 01, 2001, p. 35-62.

NUNES, W. A. G. A. et al. Relação solo-paisagem-material de origem e gênese de alguns solos no domínio do Mar de Morros, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 02, p. 341-354, 2001.

OLIVEIRA, D. Municípios lindeiros ao lago de Itaipu na microrregião de Toledo e as aplicações de royalties. In: VII SEMINÁRIO ESTADUAL DE ESTUDOS TERRITÓRIAS. Ponta Grossa. 2014.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

OHMORI, H. Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. **Geomorphology**, 8 (4): 263-277. 1993.

PARSONS, A.J. **Hillslope Form**, London, Routledge. 1988.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR, 1992.

PENCK, W. **Morphological analysis of land forms**. Tradução e edição H. CZECH e K.C. BOSWELL. London, Macmillan, 429 p. 1953.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1974. 186 p.

PFLUCK, L. D. **Mapeamento geo-ambiental e planejamento urbano: Marechal Cândido Rondon-PR / 1950-1997**. Cascavel: Edunioeste, 2002.

PEREIRA, L. C.; LOMBARD NETO, F. **Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2004.

PRIORI, A. et al. **História do Paraná: séculos XIX e XX**. Maringá: Eduem, 2012.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo. v.15, p 77 - 90. 2002.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Monole Ltda. 1990.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. de T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto rio da casca, MT. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.

ROCHA, A. S. **Morfopedológica e fragilidade ambiental nos fundos de vale do trecho superior do córrego Guavirá Marechal Cândido Rondon-PR**. 2011. 124f. Dissertação de Mestrado em Geografia. UNIOESTE - Francisco Beltrão - PR.

ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; MARTINS, V. M. Mapeamento das fragilidades potencial e emergente da bacia hidrográfica do córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon - Paraná. **Revista Perspectiva Geográfica**, v. 8, p. 15, 2013.

ROCHA, A.S.; BADE, M. R.; NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. Mapeamento da fragilidade potencial e emergente na bacia hidrográfica do Paraná 3. **Revista Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 14, n.1, p. 43-59, 2016.

ROSS, J.L.S. Geomorfologia aplicada aos EIAS RIMAS. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B., orgs. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro, Bertrand do Brasil, 1996. p.291-336.

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

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo, Contexto, 2010.

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

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

RUHE, R.V. & WALKER, P.H. Hillslope models in soil formation. I Open systems. In: TRANSACTION INTERNATIONAL CONGRES SOIL SCIENCE, 9, Adelaide, 1968. Transactions. Adelaide, 1968. v.4. p.551-560.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**, 5ª Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SANTOS, P. G.; et al. Classificação de terras segundo sua capacidade de uso e identificação de conflito de uso do solo em micro bacia hidrográfica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.11 n.2 p. 146-157, 2012.

SCHERPINSKI, C.; URIBE, M.A.O.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 07/32-13, 2010.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society American Bulletin**, 67: 597-646. 1956.

SEMA (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ), Bacias Hidrográficas do Paraná. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br>. Acesso em: 07 de janeiro de 2014.

SETA, M. D.; MONTE, M. D.; FRED, P. LUPIA-PALMIERI, E. Direct and indirect evaluation of denudation rates in Central Italy. **Catena**, v. 71, p. 21-30, 2007.

SILVA, E. B. et al. Avaliação da aptidão agrícola das terras como subsídio ao assentamento de famílias rurais, utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**. n.34, p. 1977-1990, 2010.

SILVEIRA, H. **Modificações resultantes da ação antrópica no solo: uso e manejo e reflexos no meio rural do município de Cidade Gaúcha-PR**. 97f. 1998. Dissertação de Mestrado em Geografia. UNESP - Presidente Prudente - SP.

SOUSA, F.A.; RODRIGUES, S.C. Aspectos Morfométricos como Subsídio ao Estudo da Condutividade Hidráulica e Susceptibilidade Erosiva dos Solos. **Revista Mercator**, 11 (25): 141-151. 2012.

SOUSA, R.V.B; CELLIOGOI, A. Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina (PR) através do Permeâmetro de Guelph. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 123-133, 2011.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society America Bulletin**, 63: 1117-1142. 1952.

SPORL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. São Paulo, 2001. 159p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação em três modelos, **GEOSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 15, p.3949, 2004.



STOLLE, L.; LINGNAU, C.; ARCE, J. E. Mapeamento da fragilidade ambiental em áreas de plantios florestais. In: XIII SINPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis, Anais..., INPE, p. 1871 – 1873.

SUERTEGUARAY, D. M. A. O Espaço Geográfico Uno e Múltiplo. **Scripta Nova. Revista Eletrônica de Geografía y Ciencias Sociales**. n.93. 2001. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-93.htm>. Acesso em: 12 de dezembro de 2009.

TOMAZONI, J. C. et al. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Anta gorda (PR). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.3 n.1, p 1-21, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro. IBGE/SUPREN. 1977. 91p.

UHDE, L. T. **Sistemas pedológico em um ambiente antropizado da depressão central do RS**. 226f. 2009. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. UFSM - Santa Maria - RS.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VASCONSELLOS. T. B; BERNARDES, G. P. Estudo de um perfil de infiltração em regiões de “topos de moros”. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/BBF21C00/ArtigoInfiltracaoAguaTopoxEncosta.pdf>. Acesso em: 18 de julho 2014.

VELOSO, A. J. G. Importância do Estudo das Vertentes. **GEOgraphia**. v.8, n.8, 2002.

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

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: Department of Agriculture, 1978.

XAVIER, D.; ENDLICH, A. M. Municípios lindeiros na Microrregião de Toledo e a aplicação dos royalties. **Geoinfó: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 5, p. 141-165, 2013.

YOUNG, A. **Slopes**, London: Longman. 1972.

ZAPAROLI, F. C. M.; GASPARETTO, N. V. L. Distribuição de solos e suas relações com o relevo em uma vertente no município de Florai-PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 49-63, 2010.

ZONNEVELTD, I. S. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, vol. 3, no. 2, pp 67-86, 1989.