



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

CÁSSIA MARIA BONIFÁCIO

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E QUALIDADE DA ÁGUA NA
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO PIRAPÓ, PARANAPANEMA III E
IV, PARANÁ**

Maringá - PR

2019

CÁSSIA MARIA BONIFÁCIO

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E QUALIDADE DA ÁGUA NA
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO PIRAPÓ, PARANAPANEMA III E
IV, PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Maria Teresa de Nóbrega.
Co-orientadora: Prof.^a. Dr.^a Célia R. G. Tavares.

Maringá - PR

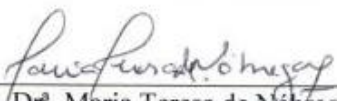
2019


**FRAGILIDADE AMBIENTAL E QUALIDADE DA ÁGUA NA UNIDADE
HIDROGRÁFICA DO PIRAPÓ, PARANAPANEMA III E IV, PARANÁ**


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.

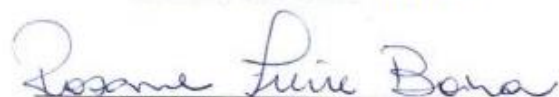
Aprovada em **15 de março de 2019**.


BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Maria Teresa de Nóbrega
Orientador - UEM


Prof. Dr. Cristiano Poletto
Membro convidado - UFRGS


Prof. Dr. Anderson Sandro da Rocha
Membro convidado - UTFPR


Prof.^a Dr.^a Rosane Freire Boina
Membro convidado - UNESP


Prof. Dr. Hélio Silveira
Membro convidado - UEM

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

Bonifácio, Cássia Maria

B715f Fragilidade ambiental e qualidade da água na
Unidade Hidrográfica do Pirapó, Paranapanema III e IV,
Paraná/ Cássia Maria Bonifácio. -- Maringá, 2019.

205 f. : il.

Orientador (a): Prof.a Dr.a Maria Teresa de
Nóbrega.

Coorientador (a): Prof.a Dr.a Célia R. G. Tavares.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2019.

1. Fragilidade ambiental - Metodologia. 2.
Qualidade da água. 3. Erosão. I. Nóbrega, Maria
Teresa, orient. II. Tavares, Célia R. G., coorient.
III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de
Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. IV. Título.

CDD 21.ed. 918.162

MAS-CRB 9/1094

"I have a right to be heard, to be seen, to be loved, to be free, to be everything I need, to be me, to be safe, to believe...in something" - Sonata Arctica.

...

"The world has changed. I see it in the water. I feel it in the Earth. I smell it in the air. Much that once was is lost, for none now live who remember it" - J. R. R. Tolkien.

Dedico ao meu pai Edegar Bonifácio
(*in memoriam*) e a minha orientadora
Maria Teresa de Nóbrega.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições, que colaboraram, direta e indiretamente, para o meu desenvolvimento acadêmico e tornaram este percurso mais feliz:

Aos meus pais, Edegar e Débora, pelo amor e confiança que sempre me dedicaram. Em especial ao meu pai, que mesmo não mais presente, ficaria feliz com a realização desse nosso sonho (doutorado). Agradeço também aos meus padrinhos Fátima e Álvaro.

A minha orientadora, Prof. Dra. Maria Teresa de Nóbrega, pela orientação desde meus anos de graduação, por todo o incentivo e apoio, pelo cuidado e palavras amáveis, por ter acreditado em minha capacidade e, por ter sido sempre tão maravilhosa e querida comigo. Sou infinitamente grata por ter a melhor orientadora de todas!

Ao meu Fer, pelo amor e momentos felizes, pela companhia nos campos e, a nossa Safira, pela alegria do último ano.

Ao meu grande amigo Marcel Hideyuki Fumiya, por todos os anos de amizade, por sempre me auxiliar, pela companhia nos campos e pelas ciladas gastronômicas.

Ao Prof. Dr. Hélio Silveira, pela co-orientação nos anos de graduação, pelo incentivo e pelas palavras queridas. E, por todo o auxílio nos campos e na realização desta tese.

Aos meus amigos-geógrafos-compadres Tatiana Tamura e Fernando Santil, pelos momentos de descontração e passeios gastronômicos.

À minha prima Helen, pelo carinho e amizade, pelos passeios e por me hospedar nos períodos de coleta de água.

Às demais pessoas queridas que encontrei durante os anos de Geografia: Miriam, Emerson, Vini e Priscila, Angélica, Jefferson, Paulo Miguel, Vanderlei, Jesse, Carlos Henrique, Elissandro, Angelo. E, às amigas da pós: Ana Coral, Nesolanda e Flávia.

À Rosane Freire, por todos esses anos de amizade, por ter me encaminhado com tanto carinho na área de monitoramento, pelo conhecimento, dedicação e treinamento, no laboratório de qualidade de água.

À Lucia Nóbrega, pelos momentos felizes, pelas comilanças nos cafés da tarde, pela ajuda na confecção dos perfis geocológicos. Agradeço também aos momentos com dona Teresa, Yuri e Edna. Sou muito grata por ter sido acolhida por essa linda família.

À Terezinha Gonzales e Adriana, pelo super apoio em Maringá.

Aos anos no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental - UEM:

À Roselene Schneider, por todo o auxílio amável e pelo treinamento com os equipamentos de vazão;

Aos queridos Osvaldo e André, pela amizade e dedicação, pelas risadas e ciladas dos campos;

Ao Diogo Uema, por me acompanhar, com muita prontidão, em todas as coletas e análises apresentadas nesta tese;

À Ana Paula e Jaque, pela amizade, palavras de incentivo e por fazerem nosso ambiente de trabalho sempre leve e descontraído;

À Prof. Dra. Celia Regina Granhen Tavares, por disponibilizar o laboratório. E, à Elenice Abreu, pelo carinho com que sempre me recebeu no laboratório.

Ao querido Prof. Dr. Cristiano Poletto, pelos ensinamentos das aulas e trabalhos.

Às amigas de longa data: Sandra, Ana, Nath e Laysa, que sempre ficaram na torcida e me deram apoio em mais uma etapa da vida.

À Miriam de Carlos, (Programa de Pós-Graduação em Geografia), agradeço pela prontidão, pelos conselhos e palavras amáveis.

A todos os professores do Departamento de Geografia pela minha formação acadêmica, em especial: Prof. Dra. Maria Teresa de Nóbrega, Hélio Silveira, Nelson Gasparetto, Elpídio Serra, Fernando Manosso, Marisa Emmer, Marta Sala, Fernando Santil, Edvard Elias, Stevaux, Paulo Nakashima, Edison Fortes, Manoel dos Santos.

Aos meus primeiros professores de Geografia, que me inspiraram na escolha deste curso: Malu, Luiz Henrique e Luzia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa (141799/2015-3).

Muito obrigada! ♥

RESUMO

Este estudo teve por objetivo adaptação e aplicação de uma metodologia de Fragilidade Ambiental, visando facilitar tanto a execução dos mapas como a sua interpretação e aplicação, além de verificar as relações existentes entre a fragilidade ambiental e a qualidade dos recursos hídricos. Para isso procedeu-se a uma avaliação detalhada dos parâmetros adotados na metodologia original proposta: solos, declividade, cobertura vegetal e uso da terra, bem como a apresentação do resultado final em categorias de fragilidade, que melhor representasse as condições observadas em campo. Desse modo, além da análise dos parâmetros originais e proposição de novas ponderações, esta pesquisa procedeu à aplicação da metodologia adaptada à Unidade Hidrográfica do Piraponema e à verificação da sua eficiência por meio de levantamentos de campo e comparação com outras formas de previsão de erosão. Nesse sentido, a metodologia foi capaz de refletir os aspectos naturais e antrópicos (uso da terra) de modo integrado e demonstrou ser uma metodologia simples, tanto em termos de execução quanto de representação e interpretação. O mapa de Fragilidade Ambiental obtido mostrou ser um instrumento capaz de auxiliar a gestão de bacias hidrográficas, capaz de contribuir para o diagnóstico e prognóstico ambiental, fornecendo subsídios para a tomada de decisão. Em paralelo foi realizado o monitoramento da qualidade da água, em 11 pontos da Unidade Hidrográfica do Piraponema (bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema III e Paranapanema IV), no período de janeiro a dezembro de 2014. A qualidade da água foi avaliada por comparação com os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005. Os resultados obtidos com o monitoramento da água demonstraram que, por muitas vezes, o fósforo total, oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, apresentaram inconformidade com o estabelecido pela Resolução, além disso, as características do Índice de Estado Trófico definiram as bacias analisadas em supereutrófico e hipereutrófico. Dessa forma, conclui-se, que o ecossistema aquático da Unidade Hidrográfica do Piraponema está seriamente comprometido, e, que a fragilidade ambiental se refletiu também na qualidade da água.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental, metodologia, qualidade da água, erosão.

ABSTRACT

This study has as its objective the adaption and application of an Environmental Fragility methodology, aiming to facilitate the execution of the maps such as its interpretation and application, as well as to verify the relationship between environmental fragility and the quality of water resources. For this, a detailed evaluation has proceeded of the parameters adopted in the originally proposed methodology: soils, declivity, vegetable coverage and land use, as well as the presentation of the final results in the categories of fragility that best represent the conditions observed in the field. In this manner, besides the analysis of the original parameters and proposition of new ponderations, this research proceeded with the application of the methodology adapted to the Hydrographic Unit of the Piraponema and the verification of its efficiency through field surveys and comparison with other forms of erosion prevision. In this sense, the methodology was able to reflect the natural and anthropic aspects (land use) in an integrated manner and has proved to be a simple methodology, both in terms of execution as well as representation and interpretation. The map of the Environmental Fragility obtained has shown to be an instrument capable of assisting the management of watersheds, capable of contributing to the environmental diagnosis and prognosis, providing subsidies for decision making. In parallel a monitoring was conducted of the quality of the water, in 11 spots of the Hydrographic Unit of the Piraponema (watersheds of the Pirapó, Paranapanema III and Paranapanema IV), in the period spanning from January to December of 2014. The quality of the water was evaluated by comparison with the standards established in the CONAMA Resolution number 357/2005. The results obtained with the monitoring of the water demonstrate that, many times, the total phosphor, dissolved oxygen, the biochemistry demand of oxygen, thermotolerant coliforms, presented an inconformity with the ones established by the Resolution, moreover the characteristics of the Trophic State Index defined the analysed watersheds in supereutrophic and hypereutrophic. This way, it was concluded that the aquatic ecosystem of the Hydrographic Unit of the Piraponema is seriously compromised, and that the environmental fragility has reflected also in the quality of the water.

Keywords: Environmental fragility, methodology, water quality, erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da distribuição dos solos, fluxos hídricos e setores de risco à erosão da Topossequência Córrego Longe, Umuarama (PR).	34
Figura 2 – Localização da área de estudo, Unidade Hidrográfica do Piraponema.	50
Figura 3 – Municípios da Unidade Hidrográfica do Piraponema.	52
Figura 4 – Mapa geológico da Unidade Hidrográfica do Piraponema.	53
Figura 5 – Rede de drenagem na Unidade Hidrográfica do Piraponema.	55
Figura 6 – Hipsometria da Unidade Hidrográfica do Piraponema.	56
Figura 7– Solos na Unidade Hidrográfica do Piraponema.	57
Figura 8 – Distribuição espacial da média anual de pluviosidade na Unidade hidrográfica do Piraponema.	58
Figura 9 – Uso da terra da Unidade Hidrográfica do Piraponema.	61
Figura 10 – As bacias hidrográficas e os seus compartimentos de paisagem.	63
Figura 11– Fluxograma metodológico.	64
Figura 12 – Localização dos pontos de monitoramento na Unidade Hidrográfica do Piraponema.	66
Figura 13 – Mapa de uso da terra.	72
Figura 14 – Exemplo da elaboração de um bloco diagrama: A. Imagem plana pelo software Google Earth Pro. B. Imagem 3D obtida pelo software Global Mapper.	73
Figura 15 – Mapa realizado conforme a metodologia de Ross (1994).	80
Figura 16 – Legenda do Mapa conforme metodologia de Ross (1994).	80
Figura 17– Fotografias de solos e fragilidade associada.	87
Figura 18 – Fotografias de solos e fragilidade associada.	88
Figura 19 – Propostas de Classificação de Declividade.	91
Figura 20 – As classes de declividade e a equivalência adotada (em cores) em relação aos graus de fragilidade da proposta de Ross (1994) – Muito fraca (verde escuro), fraca (verde claro), moderada (amarelo), forte (vermelho) e muito forte (roxo).	94
Figura 21 – Classes de Declividades (%) na Unidade Hidrográfica do Piraponema.	96

Figura 22 – Comparação entre as classificações de declividade.....	100
Figura 23 – Declividades (%) na Unidade Hidrográfica do Piraponema.....	101
Figura 24 – Uso e cobertura vegetal na Unidade Hidrográfica.....	106
Figura 25 – Uso e cobertura vegetal na Unidade Hidrográfica.....	107
Figura 26 – Classificações de Fragilidade Ambiental Potencial.	110
Figura 27 – (I).Fragilidade Potencial (%) e (II).Fragilidade Emergente (%)....	111
Figura 28 – Classificações de Fragilidade Emergente.	112
Figura 29 – Mapa de perdas de solo por erosão laminar (EUPS).....	115
Figura 30 – Comparação da EUPS e Fragilidade Ambiental Emergente (classes de declividades FAO simplificadas).....	118
Figura 31 – Mapa de tolerância em perdas de solo.	119
Figura 32 – Mapa de limiar de erosão.....	120
Figura 33 – Comparação entre Limiar de Erosão e Fragilidade Ambiental Emergente (FAO simplificada).	122
Figura 34 – Comparação entre o Limiar de Erosão e a Fragilidade Ambiental Emergente.....	123
Figura 35 – Exemplos da ação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.	126
Figura 36 – Exemplos da ação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Pirapó.....	128
Figura 37 – Exemplos da ação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Paranapanema III.....	129
Figura 38 – Exemplos da evolução de processos erosivos em pastagens na Unidade Hidrográfica.....	131
Figura 39 – Feições erosivas lineares em área de cultivo de cana-de-açúcar.	132
Figura 40 – Exemplo de ocorrência de voçoroca na bacia do Paranapanema IV.	133
Figura 41 – Exemplos de voçorocas em área urbana.....	134
Figura 42 – Processos erosivos em área rural: a. sulcos; b. ravinas; c. erosão laminar; d. leque de deposição; e. assoreamento.	135
Figura 43 – Evolução de um processo de assoreamento:	136
Figura 44 – Formas erosivas em declividades mais acentuadas.	136

Figura 45 – Mapa de pontos de erosão profunda, movimentos em massa e assoreamento.....	139
Figura 46 – Feições erosivas profundas (ravinas e voçoroca) e movimentos em massa do solo em cabeceira de drenagem no município de Centenário do Sul, bacia do Paranapanema III.	140
Figura 47 – Feições erosivas rasas e profundas – área de cultivo de cana com erosão laminar, formação de sulcos, ravinas e assoreamento intenso do curso d’água.	140
Figura 48 – Mapeamento de feições erosivas por imagens Google Earth.	141
Figura 49 – Ponto 1 na bacia hidrográfica do Paranapanema III.	143
Figura 50 – Ponto 2 da bacia hidrográfica do Paranapanema III.	143
Figura 51 – Ponto 3 na bacia hidrográfica do Paranapanema III.	144
Figura 52 – Ponto 4 na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.	145
Figura 53 – Ponto 5 na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.	146
Figura 54 – Ponto 6 na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.	146
Figura 55 – Ponto 7 na bacia hidrográfica do Pirapó.	147
Figura 56 – Ponto 8 na bacia hidrográfica do Pirapó.	148
Figura 57 – Ponto 9 na bacia hidrográfica do Pirapó.	148
Figura 58 – Ponto 10 na bacia hidrográfica do Pirapó.	149
Figura 59 – Ponto 11 na bacia hidrográfica do Pirapó.	150
Figura 60 – Variação da Temperatura.....	154
Figura 61 – Variação do oxigênio dissolvido (OD).	155
Figura 62– Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	157
Figura 63 – Variação de Coliformes Termotolerantes.	159
Figura 64 – Variação de Fósforo.....	162
Figura 65 – Presença de algas em um curso d’água.	166
Figura 66 – Variação de Sólidos Totais.....	166
Figura 67 – Variação dos Sólidos Dissolvidos.....	168
Figura 68 – Variação da Turbidez.	170
Figura 69 – Águas turvas do ponto 11, jusante do rio Pirapó.....	172
Figura 70 – Variação do pH.....	172
Figura 71 - Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente Unidade Hidrográfica do Pirapanema.	175
Figura 72 – Síntese Ambiental.	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Municípios da Unidade Hidrográfica e suas respectivas bacias hidrográficas.....	59
Tabela 2 – Atividades agropecuárias nos municípios total ou parcialmente inseridos da Unidade Hidrográfica do Piraponema.	60
Tabela 3 – Índice do Estado Trófico (IET).....	69
Tabela 4 – Localização dos postos pluviométricos nas bacias hidrográficas...	70
Tabela 5 – Valores para uso da terra e práticas conservacionistas.	76
Tabela 6 – Classes de Fragilidade de Ross (1994).....	83
Tabela 7 – Erodibilidade das classes de solos.....	85
Tabela 8 – Classes de Fragilidade.	86
Tabela 9 – Agrupamentos e as áreas (%) das classificações.	95
Tabela 10 – Graus de proteção da cobertura vegetal.	103
Tabela 11 – Cobertura vegetal e valor correspondente.	104
Tabela 12 – Enquadramento das categorias de Fragilidade Ambiental.	108
Tabela 13 – Classes de Declividade.	113
Tabela 14 – Estimativa de perdas de solo por erosão laminar na Unidade Hidrográfica do Paranapanema III, Pirapó e Paranapanema IV.....	116
Tabela 15 – Valores de precipitação nos dias de coleta e 48 horas anteriores.	151
Tabela 16 – Variação do Nitrogênio Amoniacal.	161
Tabela 17 – Índice de Estado Trófico (IET).....	164
Tabela 18 – Média dos parâmetros de qualidade da água.	174
Tabela 19 – Comparação entre os graus de fragilidade dos parâmetros solo e relevo (declividade) e os graus de fragilidade ambiental detectados na Unidade Hidrográfica (em % de área).	178
Tabela 20 – Uso da terra na Unidade Hidrográfica do Piraponema.	179

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1. Fragilidade Ambiental e metodologias	20
2.2. Uso e ocupação da terra – alteração nas vertentes e processos erosivos	26
2.3. Sistemas pedológicos e comportamento erosivo no Norte do Paraná	31
2.3.1. A cobertura pedológica na área de ocorrência dos arenitos	31
2.3.2. A cobertura pedológica na área de ocorrência dos basaltos	36
2.4. Água: monitoramento e parâmetros de qualidade	39
2.4.1. Parâmetros físicos e químicos	41
Temperatura da água	41
Oxigênio Dissolvido (OD)	41
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	42
Nitrogênio Amoniacal	43
Fósforo Total	44
Sólidos	44
Turbidez	45
Potencial hidrogeniônico (pH)	46
2.4.2. Parâmetros biológicos	47
Coliformes Termotolerantes	47
2.4.3. Enquadramento em classes de usos	48
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	50
3.1. <i>Localização e aspectos gerais</i>	50
3.2. <i>O substrato geológico, o relevo e os solos</i>	53
3.3. <i>As condições climáticas</i>	57
3.4. <i>Uso da terra e aspectos socioeconômicos</i>	59

3.5. Os compartimentos da paisagem.....	62
4. MATERIAIS E MÉTODOS	64
4.1. Fase 1	65
4.2. Fase 2	65
4.2.1. pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura da água.....	67
4.2.2. Sólidos Dissolvidos e Totais.....	67
4.2.3. Turbidez	67
4.2.4. Nitrogênio Amoniacal	68
4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	68
4.2.6. Coliformes Termotolerantes	68
4.2.7. Fósforo Total	68
4.2.8. Índice do Estado Trófico (IET - P)	68
4.2.9. Dados Pluviométricos.....	70
4.3. Fase 3	70
4.4. Fase 4, Fase 5 e Fase 6.....	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1. Reavaliação da metodologia	82
5.1.1. Solos	83
5.1.2. Declividade.....	88
5.1.3. Cobertura vegetal e proteção do solo.....	103
5.1.4. Cálculo e enquadramento nas categorias de fragilidade ambiental	108
5.2. Testes de aplicação da metodologia adaptada: definição das classes de declividade	109
5.3. Análise e validação da metodologia proposta	114
5.3.1. Comparação com os mapas de perdas de solo e de “limiar de erosão”	114
5.3.2. Levantamento das formas erosivas em campo	124
5.3.2.1. Erosão Laminar	124

5.3.2.2. <i>Erosão Linear</i>	130
5.3.3. <i>Levantamento de formas erosivas em imagens do Google Earth</i>	136
5.4. <i>Monitoramento da qualidade das águas na Unidade Hidrográfica do Piraponema</i>	142
5.4.1. <i>Descrição dos pontos de coleta da água</i>	142
5.4.1.1. <i>Bacia Hidrográfica do Paranapanema III</i>	142
5.4.1.2. <i>Bacia hidrográfica do Paranapanema IV</i>	144
5.4.1.3. <i>Bacia hidrográfica do Pirapó</i>	147
5.4.2. <i>A influência da precipitação no entorno dos pontos de monitoramento</i>	150
5.4.3. <i>Parâmetros e análise da qualidade da água</i>	153
5.4.3.1. <i>Temperatura da água</i>	153
5.4.3.2. <i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	155
5.4.3.3. <i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	156
5.4.3.4. <i>Coliformes Termotolerantes</i>	158
5.4.3.5. <i>Nitrogênio Amoniacal</i>	160
5.4.3.6. <i>Fósforo Total e IET (P)</i>	162
5.4.3.7. <i>Sólidos</i>	166
5.4.3.8. <i>Turbidez</i>	170
5.4.3.9. <i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	172
5.4.4. <i>A qualidade da água e a Fragilidade Ambiental</i>	173
5.5. <i>A fragilidade ambiental potencial e emergente na Unidade Hidrográfica do Piraponema: significado ambiental</i>	176
6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES	182
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	186
ANEXOS	203
Anexo I - Tabela de determinação das classes de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.	204
Anexo II - Tabela de limite das categorias de Fragilidade Ambiental.	205

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água na Unidade Hidrográfica de Gestão de Recursos Hídricos do Pirapó, Paranapanema III e IV (Piraponema) está sendo afetada pela ocupação e manejo inadequado do solo, como mostram os diversos trabalhos já realizados na área (ALVES, 2006; SCHNEIDER, 2009; SGORLON, 2011; FREIRE, 2010 e 2013, GORJON NETO, 2014; TARELHO JÚNIOR, 2014; BORTOLETTO, SILVA, BONIFÁCIO, TAVARES, 2015).

Este estudo parte do princípio de que para a gestão das águas é necessário entender esse recurso como resultado das intensas interações entre os atores sociais e o meio físico. Reconhece, por outro lado, que o conhecimento das características e condições ambientais deve ser apreendido de modo integrado e transmitido para os diversos atores relacionados à gestão e ao uso das bacias hidrográficas, de modo simplificado e direto. Deste modo, assume-se como hipótese de trabalho que o desenvolvimento de mapas de Fragilidade Ambiental pode ser um instrumento apropriado para o diagnóstico, classificação e gestão de bacias hidrográficas, sendo capaz de refletir os aspectos naturais (potencial) e os efeitos da ação antrópica (emergente) em determinado ambiente. Sendo assim, os mapas de Fragilidade Ambiental apresentam-se, portanto, como uma ferramenta capaz de subsidiar formulações de estratégias, voltadas para a tomada de decisão dos gestores, principalmente aos recursos hídricos, uma vez que podem favorecer o estabelecimento das prioridades e dos locais de ações.

O mapeamento mais comumente utilizado, para a fragilidade ambiental, emprega a metodologia original de Ross (1994), e apresenta como resultado a identificação inicial em unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis, segundo uma ordem estabelecida (declividade / solo / cobertura vegetal / clima), onde o grau de fragilidade de cada elemento analisado, compreendido naquela unidade. O resultado deste mapeamento se traduz em um código numérico, em que os números mais baixos indicam menor fragilidade e os mais altos, maior fragilidade. Todavia, além da dificuldade na elaboração do mapa, gerada pela forma de cruzamento e representação das informações, a sua leitura e interpretação também é dificultada.

Segundo Spörl (2007) a modelagem da fragilidade ambiental é um grande desafio, pois implica em estabelecer, de forma qualitativa e quantitativa a relação entre os componentes físicos e humanos, sendo que, mesmo que haja um conhecimento da dinâmica destes componentes, não é algo facilmente traduzido em modelos matemáticos.

Além disso, Nakashima (1999) e Cereda Júnior (2006) destacam ainda que nem sempre os resultados da aplicação destes modelos de fragilidade ambiental condizem com a realidade da natureza, uma vez que pode ocorrer falha na aplicação da metodologia e limitações da capacidade preditiva do modelo. Portanto, deve-se avaliar até que ponto é válida a sua aplicação.

Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma metodologia para elaboração de um modelo de Fragilidade Ambiental, a partir daquela proposta por Ross (1994), que vise facilitar tanto a execução dos mapas como a sua interpretação e aplicação, de modo a validar o reconhecimento de padrões estabelecidos diretamente sobre a dinâmica ambiental.

Após a primeira adaptação da metodologia e aplicação em duas pequenas bacias hidrográficas na alta bacia do Pirapó (BONIFÁCIO, 2013), percebeu-se a necessidade de uma avaliação mais detalhada dos parâmetros adotados por Ross (1994) na metodologia original, bem como a apresentação do resultado final – grau de fragilidade, que melhor representasse as condições observadas em campo. Assim, além da análise dos parâmetros originais, esta pesquisa teve também por objetivo, proceder à aplicação e validação da metodologia adaptada na Unidade Hidrográfica do Piraponema.

Em paralelo foi realizado o monitoramento da qualidade da água em diversos pontos da Unidade Hidrográfica (bacia do Pirapó, Paranapanema III e IV), com o objetivo de incorporar as informações entre a fragilidade ambiental emergente e os parâmetros de qualidade. E, espera-se, com os resultados aqui apresentados, subsidiar tecnicamente as ações a serem adotadas na gestão das bacias hidrográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Fragilidade Ambiental e metodologias

A natureza mantém um intercâmbio de formas e movimentos internos. É dinâmica, em constante movimento na busca pelo equilíbrio, ou seja, existe uma harmonia de ordem natural, na qual há uma manifestação diferenciada da natureza, na superfície terrestre, conforme a integração entre os seus elementos (HUMBOLDT, 1874). O Homem faz parte dessa natureza dinâmica, atuando como sujeito social ativo nas integrações e transformações entre esses elementos (SUERTEGARAY, 2001).

Assim, sob a influência das atividades humanas, Ross (2006) descreve que a fragilidade dos ambientes da natureza é maior ou menor, de acordo com suas características genéticas, que pode apresentar graus de fragilidade próprios. Conforme o autor, em princípio, com algumas exceções, os ambientes naturais estavam em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que o homem passou a modifica-los com a exploração excessiva dos recursos naturais.

E, nesse panorama diversificado de ambientais naturais, conforme Ab'Saber (2003) o homem interfere impondo novas condições ao produzir e reordenar o espaço geográfico. E todas essas modificações inseridas por ele no ambiente natural, alteram o equilíbrio de uma natureza, que não é estática, o que acarreta em uma fragilidade ambiental.

As alterações nos diferentes componentes da natureza - relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos - geram o comprometimento da funcionalidade do sistema natural, que ocasiona na quebra do estado de equilíbrio dinâmico. Sendo assim, Spörl e Ross (2004) destacam que a exploração de recursos naturais, a ocupação desordenada e as diferentes formas de poluição, causadas pela humanidade, levam ao estado de desequilíbrio.

A potencialidade desta natureza em modular suas respostas frente às ações antrópicas, considerando a frequência, intensidade e dimensão das

ações, segundo Alves (2006) representa um cenário essencial para a tomada de decisão acerca do uso dos recursos naturais existentes.

A fragilidade do ambiente está associada ao potencial ecológico e a exploração antrópica. Todavia, Ross (2006) menciona que no momento que esta exploração ultrapassa os limites do potencial ecológico, o sistema torna-se suscetível a novos processos, ou a intensificação daqueles já existentes, implicando em transformações na dinâmica da paisagem, afetando, em particular, a vegetação natural, os solos e os fluxos hídricos.

Conforme Santos e Vitte (1999) a fragilidade ambiental está relacionada ainda com fatores de desequilíbrio de ordem natural (alto grau de dissecação do relevo, alto grau de erodibilidade dos solos) e antrópica (manejo inadequado da terra, intervenções em regimes fluviais).

Nessa perspectiva, é possível avaliar se as ações antrópicas podem se relacionar em harmonia, com os condicionantes naturais, por meio de estudos de fragilidade ambiental. Segundo Morato et al (2003) os estudos de fragilidade ambiental identificam unidades ambientais com características comuns, em termos de vulnerabilidades aos processos erosivos.

Para Spörl (2011), as metodologias utilizadas por diferentes autores, para a análise da fragilidade ambiental, buscam simular a interação dos processos naturais e antrópicos de uma determinada área, com base em representações de modelos matemáticos e lógicos.

Vários estudos de fragilidade e/ou vulnerabilidade ambiental se fundamentam na proposta de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977) cuja concepção ecológica pressupõe que na natureza as trocas de energia e matéria se processam por meio das relações de equilíbrio dinâmico. Todavia, esse equilíbrio é alterado pelas intervenções antrópicas, gerando na natureza um estado de desequilíbrio temporal ou permanente.

Na obra Ecodinâmica (TRICART, 1977), o autor destaca que uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses. O conceito de unidades ecodinâmicas está integrado ao conceito de ecossistemas, que tem como base o instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente. Assim, Tricart (1977) aplicando esses conceitos classifica os

ambientes em estáveis, quando estão em equilíbrio dinâmico, e instáveis, quando em desequilíbrio, e intermediários (“intergrades”) quando as condições de equilíbrio e desequilíbrio se alternam frequentemente.

Neste sentido, Silveira; Oka-Fiori (2007) descrevem que os trabalhos que abordam os estudos da fragilidade ambiental, tem como base a análise empírica dos constituintes da paisagem, organizada em níveis de informações, das quais são superpostas e interpretadas, na tentativa de um estudo integrado dos componentes físico-naturais de determinada área. Essa análise, sob a perspectiva qualitativa contribui com o planejamento ambiental e visa dar apoio na gestão territorial, apresentando seus resultados na forma de mapas temáticos e mapas síntese, que são organizados e apresentados por graus de fragilidade.

É necessário, entretanto, que a metodologia adotada para a classificação da fragilidade seja capaz de reproduzir as diferenças observadas na estrutura geocológica e na dinâmica (processos) associada (BONIFÁCIO, 2013). E, para integrar variáveis ambientais, conforme Cereda Júnior (2001) deve-se respeitar as características físicas e humanas do meio, bem como as condições locais da área evitando, assim, a criação de modelos de simples sobreposição de informações.

Com esse pressuposto, Ross (1990; 1994), propõe a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais. O autor propõe uma classificação do relevo para o planejamento ambiental a partir de uma compartimentação da paisagem de modo crescente em escala de detalhamento. Trabalha em escalas médias e pequenas com os índices de dissecação do relevo e, em escalas maiores, com as formas das vertentes e as classes de declividade (SPÖRL, 2001).

Os mapeamentos de fragilidade ambiental, conforme exposto por Spörl e Ross (2004), identificam e analisam as áreas em função de seus diferentes níveis de fragilidade, ou seja, por meio destes mapas temáticos torna-se possível apontar as áreas onde os graus de fragilidade são mais elevados – áreas frágeis, onde são necessárias ações tecnicamente mais adequadas a essas condições.

A metodologia de mapeamento proposta por Ross (1990, 1994) identifica dois grupos de fragilidade:

- as “unidades ecodinâmicas estáveis” ou “unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial” em vários graus (muito fraca a muito forte), que se apresentam em estado natural, em equilíbrio dinâmico, mas com possível inserção antrópica;

- as “unidades ecodinâmicas instáveis” ou “unidades ecodinâmicas de instabilidade emergente” em vários graus (muito fraca a muito forte), que apresentam intervenções antrópicas.

A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes, proposta por Ross (1994) proporciona uma direção para as ações a serem aplicadas no espaço físico-territorial, ou seja, esta identificação serve de base para o zoneamento e fornece subsídios à gestão do território. Nesta metodologia, a combinação do grau de fragilidade permite identificar preliminarmente o grau de “fragilidade potencial”, e, juntamente com as diferentes intervenções antrópicas do uso da terra e cobertura vegetal, é definido o grau de “fragilidade emergente”.

Para Ross (1994) a fragilidade potencial indica os graus de fragilidade da ação dos processos morfogenéticos atuantes na paisagem, que são respostas da relação de alguns dos componentes físico-naturais da paisagem: declividade do terreno, erosividade das chuvas e cobertura pedológica. Já a fragilidade emergente integra às informações resultantes da fragilidade potencial com as informações do uso da terra, e define os graus de fragilidade das unidades, de acordo com a proteção do solo e, com isso, é possível delimitar as áreas em estado de desequilíbrio, causadas pela ação antrópica.

Ross (1994) propõe uma hierarquização para cada variável considerada (relevo, solo, cobertura vegetal e pluviosidade) em cinco classes de acordo com o grau de fragilidade, definido pelas características e propriedades que as tornam mais suscetíveis e/ou menos suscetíveis a erosão. O grau 1 representa a condição de menor fragilidade, o grau 2 de baixa fragilidade, o 3 é uma condição intermediária, o 4 é de forte e o grau 5 se aplica à condição de maior fragilidade.

Outro modelo para análise da Fragilidade foi proposto por Crepani et al. (1996) que é baseado nas Unidades Territoriais Básicas – UTB's. Foi desenvolvido para subsidiar o Zoneamento Ecológico–Econômico, para a Amazônia, com mapas de vulnerabilidade natural a erosão, e aplicado para

demais regiões do Brasil. Esta metodologia consiste na elaboração de um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem, ou Unidades Territoriais Básicas (UTB's), obtido através da análise e interpretação de imagem TM-Landsat, juntamente com informações de cartas temáticas já existentes.

A estabilidade ou vulnerabilidade do ambiente, para Crepani et al. (1996) é definida pela análise integrada do conjunto: rocha, solo, relevo, vegetação e clima, baseada nos processos de morfogênese e pedogênese. Cada um destes critérios recebe uma pontuação de fragilidade, que varia de 1 a 3: as unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias de 2,0 e as mais vulneráveis de 3,0. Assim, cada unidade territorial básica (UTB) recebe um valor, que representa a média aritmética dos valores individuais, e que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo.

Segundo os estudos de Spörl (2001) com relação às formas de calcular a fragilidade, o modelo proposto por Crepani et al. (1996) trabalha com valores médios e Ross (1994) trabalha com o agrupamento dos índices qualitativos das variáveis, tendo o relevo como variável principal. Assim, como destaca Leandro (2013) as formas de análise para obtenção dos graus de fragilidade geram diferentes maneiras de ponderar a importância das variáveis analisadas.

Além disso, na análise proposta por Crepani et al. (1996), o grau de fragilidade de determinada UTB é definido pela média aritmética das variáveis e, com isso, todas apresentam igual importância. Já nos modelos de Ross (1994), a variável que representa o 1º dígito determina o grau de fragilidade. Ou seja, a valorização do relevo e declividade no modelo de Ross define uma fragilidade muito forte para uma área dissecada, não levando em consideração que as demais variáveis poderiam amenizar sua vulnerabilidade. Da mesma maneira, que pode determinar como fragilidade muito fraca uma área de relevo suave, mas que as outras variáveis poderiam acentuar sua vulnerabilidade. Como destaca Spörl (2001), no modelo de Crepani, a ponderação equivalente entre os diferentes valores dos atributos gera valores médios para cada UTB, o que ocasionaria em um índice de fragilidade com um resultado final ameno.

Atualmente, a análise multicritério (Multi Criteria Evaluation – MCE) em conjunto com o uso de SIG, auxilia na tomada de decisão, pois permite balancear os valores dos critérios de análise, o que gera modelos capazes de

demonstrar diferentes graus de fragilidade ambiental para determinadas áreas (ALMEIDA e COSTA, 2003). Dentre os modelos gerados pela análise multicritério é possível destacar o modelo Processo Analítico Hierárquico (AHP) e o modelo Fuzzy.

O modelo do Processo Analítico Hierárquico é subdividido ainda em: modelo booleano, método de combinação linear ponderada e método da média ponderada ordenada. O modelo booleano permite a entrada de vários critérios, que serão multiplicados entre si. Na combinação linear ponderada, de acordo com Valente e Vettonazzi (2005), os critérios recebem pesos e são combinados por uma matriz de comparação, o que gera um grau de prioridades - mas não permite controlar a ordem de importância de cada critério. E, conforme os autores, no método da média ponderada ordenada considera o comportamento de cada critério e faz ordenamentos, conforme esse grau de importância, ou seja, os pesos de cada critério que controla a maneira de como estes serão agregados.

Segundo Moreira et al. (2001), o modelo Fuzzy é indicado para análises que apresentam ambiguidade em modelos matemáticos, pois reduz a propagação de erros por meio de modelos lógicos, com informações mais precisas. Esse modelo é indicado para estudos que apresentem ambiguidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos.

Todavia, é importante destacar que por mais que várias metodologias de fragilidade ambiental indiquem como principal vantagem a agilidade de obtenção dos resultados, também mostram que apresentam alguma deficiência, pois há sempre o fator de maior influência - a subjetividade dos pesos atribuídos, que demonstra a diferença dos resultados entre as metodologias.

Ao comparar diferentes metodologias de análise da fragilidade ambiental: Ross (1994), Crepani (1996), Spörl e Ross (2004) destacam que não foi possível apontar qual a melhor metodologia de fragilidade ambiental, pois todas são empíricas e apresentam algumas deficiências, sendo arbitrárias e subjetivas. Ou seja, devem ser utilizados com ressalva, pois os resultados podem ser diferentes da realidade. Ainda afirmam que é necessário identificar a metodologia que melhor se adequa com a realidade de campo - a natureza. Na mesma linha de raciocínio, Santos e Sobreira (2008) defendem que tais

metodologias permitem certo nível de padronização, mas que não substituem as análises de campo para a avaliação das características ambientais.

Para se tornar possível determinar a fragilidade potencial e emergente de uma determinada área não basta somente conhecer a relação existente entre as variáveis naturais e antrópicas, conforme Andreoli e Carneiro (2005) é necessário também saber aplicar a metodologia escolhida e/ou adaptá-la a área de interesse.

2.2. Uso e ocupação da terra – alteração nas vertentes e processos erosivos

A remoção e transporte do solo (erosão), conforme enfatiza Strahler (2005), é causada pela ação pluvial, que infiltra e abastece os níveis freáticos, e, que escoam superficialmente (escoamento superficial), e arrasta as partículas sólidas sobre a vertente, em direção aos canais de drenagem. O ritmo e o volume dessa remoção dependem, de um lado, da distribuição e intensidade das chuvas que precipitam no local, e de outro, do tipo de revestimento, da natureza do solo (composição e gradiente textural, estrutura), da extensão da vertente e de sua forma (convexa, côncava e retilínea) e declividade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; GUERRA, 1999).

Os processos erosivos podem ser categorizados em erosão natural (ou geológica) e erosão acelerada. Assim, como já abordado por El Swaify et al. (1982), a erosão natural é oriunda de fenômenos naturais, atuando como agente benéfico para a formação do próprio solo – como pedogênese. Já a erosão acelerada é causada pela ação antrópica, conforme exposto por Varella (1999), e, em diferentes escalas é capaz de modificar o ambiente e interferir na estabilidade das diferentes paisagens (PINESE et al., 2008). Em condições naturais, o revestimento promovido pela vegetação, funciona como barreira protegendo a superfície do impacto direto das gotas de chuva e controla a chegada da água até ao solo, promovendo ou favorecendo maior infiltração.

Segundo Strahler (2005), a remoção do solo faz parte do processo geológico de denudação nas massas continentais que é universal e imutável. Segundo o autor, em regiões de climas tropicais úmidos, sob condições naturais com o revestimento florestal, a erosão do solo é lenta, o que permite a evolução e desenvolvimento de solos espessos. Entretanto, Almeida Filho

(1998) e Conciliani (2008) destacam que a atividade humana, quando promove o desflorestamento para abertura de locais para cultivo e/ou atividades urbanas, pode desencadear e/ou intensificar processos erosivos, o que dá início a uma série de impactos que degradam o ambiente e alteram a dinâmica e comportamento da bacia hidrográfica como um todo (assoreamento, aumento da turbidez da água entre outros impactos).

Desse modo, toda e qualquer transformação que ocorre nas vertentes, conforme Young (1973), afeta de diferentes maneiras o fluxo hídrico e os canais de drenagem diretamente associados a essas vertentes, e o funcionamento da bacia hidrográfica em geral. Assim, dependendo do tamanho da bacia hidrográfica a ser considerada, esta pode exibir variados tipos de uso e ocupação: rural, urbano, lazer e turismo, atividade industrial concentrada e exploração mineral, entre outros.

Na área rural, Schneider et al. (2011) mencionam que as atividades agrícolas também implicam na mudança do tipo de revestimento da superfície e, portanto, nas características de infiltração de água e escoamento superficial. Além disso, ocorre a troca de um determinado tipo de revestimento vegetal, original, diversificado, por outro tipo de cobertura vegetal, constituída geralmente por uma mesma espécie.

Além disso, na área rural, os cultivos de produtos diferentes se sucedem no mesmo espaço, com repetição das mesmas fases de preparação de solo, semeadura, manutenção e colheita (GARCIA, 2016). Segundo Gamero (2008), no desenvolvimento dessas tarefas são empregados equipamentos, que podem promover a compactação superficial e subsuperficial do solo, como também fazer uso de fertilizantes e agrotóxicos, que são lixiviados pela água de infiltração e de escoamento superficial.

Esse tipo de uso e ocupação, com redução da cobertura vegetal, exposição de extensas áreas de solo descoberto, em determinados períodos do ano, além da redução da permeabilidade pelo efeito de compactação pela passagem dos equipamentos, também favorece o volume do escoamento superficial e a redução da infiltração de água no solo. O escoamento hídrico difuso se estabelece com facilidade e grandes volumes de solo são removidos e/ou remanejados nas vertentes. Grande parte desse solo removido chega até os cursos d'água (FREIRE, 2010).

No que diz respeito à atividade rural, é importante destacar que há ainda variedades significativas de produtos e de manejos, que vão interferir no revestimento da superfície das vertentes, na sua morfologia, modificando as características originais de infiltração e escoamento hídrico, conforme exposto por Nóbrega e Cunha (2011). Sendo assim, a alteração dos fluxos hídricos é, desta maneira, a primeira consequência das formas de uso e ocupação na área da bacia hidrográfica.

Assim, as atividades agrícolas modificam o revestimento florestal da superfície e, portanto, as características de infiltração da água e do escoamento superficial (PARK, 1977). Nesse cenário ocorre a troca de um determinado tipo de revestimento vegetal, que é diversificado em espécies, por outro tipo de cobertura vegetal, constituída geralmente por uma mesma espécie (cultivo agrícola – soja, milho, trigo, cana de açúcar).

Além de alterar o tipo de cobertura, em áreas de cultivo, há uma série de práticas e manejos que se sucedem ao longo do ano (SIMON, 2007). Assim, ora o solo está descoberto, ora apresenta cobertura vegetal, mais ou menos densa dependendo da fase de crescimento vegetativo do cultivo. De acordo com Flowers e Lal (1998), em muitas áreas, cultivos de produtos diferentes se sucedem no mesmo espaço, com repetição das mesmas fases de preparação de solo, semeadura, manutenção e colheita. Segundo Gamero (2008), no desenvolvimento dessas tarefas são empregados equipamentos, geralmente pesados (principalmente nas áreas de agricultura mecanizada), que podem promover a compactação superficial e subsuperficial do solo.

Assim, esse tipo de uso, conforme Tucci e Clarke (1997) e Guerra e Mendonça (2004), de redução da cobertura vegetal, exposição de extensas áreas, em determinados períodos do ano, como também a redução da permeabilidade, pelo efeito de compactação pela passagem dos equipamentos, também favorece o aumento do escoamento superficial e a redução da infiltração de água. Além disso, Neboit (1983) e Morgan (1986) mencionam que o escoamento hídrico difuso se estabelece com facilidade e grandes volumes de solo são removidos e/ou remanejados nas vertentes.

Segundo Bigarella (2006), a erosão hídrica, provocada pelo escoamento superficial difuso nas vertentes, é responsável pela remoção, ao longo do tempo, da matéria orgânica e das partículas argilosas presentes nos

horizontes superficiais do solo. Em situações mais graves, ocorre a erosão de todo o horizonte (BERTOLANI e VIEIRA, 2001).

A degradação dos solos é acompanhada, também, por mudanças nos aspectos morfológicos da vertente, como apontam Silveira et al. (2009) e Nóbrega e Cunha (2011). O escoamento hídrico, conforme Christofolletti (1980) promove uma mobilização superficial dos materiais e, enquanto determinadas zonas perdem materiais e são rebaixadas topograficamente, outras ganham (depósitos em vales em berço, por exemplo), alterando a forma das vertentes e o próprio escoamento na superfície.

Segundo Ramalho-Filho e Beek (1995), em vertentes de declividades mais acentuadas (>20%) ocorrem, além da erosão pelo escoamento superficial, os movimentos em massa do solo, que podem em determinadas situações, envolver quantidades elevadas de material e, desta forma, expor mais facilmente aos agentes de remoção (águas pluviais, vento). Entretanto, ocorrem também movimentos em massa (COOPER e VIDAL-TORRADO, 2000), que afetam os horizontes de solo mais superficiais e que são observados com relativa freqüência nesses setores de maior declividade em áreas de pastagem. Soma-se à fragilidade natural da área, o efeito do pisoteio do gado, que compacta que concentra o fluxo de águas pluviais.

É importante salientar, que todos os processos citados, que ocorrem nas vertentes, geram materiais que chegam até aos canais de drenagem e passam aí a interferir na sua forma, na dinâmica do fluxo hídrico e na qualidade da água, já que chegam materiais sólidos e substâncias químicas dissolvidas (POLETO, 2007). Assim, se torna algo necessário acompanhar os processos erosivos.

De acordo com Alves (2000), para avaliar e monitorar os processos erosivos são empregados métodos diretos, baseados na coleta do material erodido, em campos experimentais e/ou em laboratórios ou, ainda, métodos indiretos, por meio de modelagem matemática. Modelos matemáticos podem ser associados às técnicas de geoprocessamento (álgebra de mapas, lógicas heurísticas e determinísticas), que permitem análises espaciais do fenômeno, visando ao planejamento racional do uso e ocupação do solo e à detecção das áreas que necessitam de adoção de práticas de controle da erosão.

Câmara e Davis (2001) destacam que o geoprocessamento é uma técnica que se utiliza de artifícios matemáticos e computacionais para o tratamento da informação geográfica, sendo utilizado em diversas áreas como análise de recursos naturais, comunicação, cartografia, transportes, energia e planejamento urbano e regional. Os algoritmos utilizados permitem análises complexas; integrando dados de diversas fontes ao criar bancos de dados georreferenciados.

No âmbito do geoprocessamento o Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite realizar tais operações matemáticas com foco na espacialização dos dados. Aliado ao SIG, como enfatizam Almeida e Costa (2003), a análise multicritério¹ proporciona diversos benefícios para análise espacial, uma vez que soluciona problemas influenciados por diversos fatores, permitindo balancear os valores de cada critério da análise. Isto permite, segundo Spörl (2007), a geração de modelos capazes de demonstrar as áreas com diferentes níveis de fragilidade ambiental frente a processos erosivos.

A aplicação de modelos de estimativa de erosão pode ser efetuada com a utilização de SIGs, que possibilita a obtenção de resultados na forma de mapas com a espacialização da estimativa da perda de solo da região estudada (WANG et al., 2003).

A Equação Universal de Perdas de Solo EUPS (*Universal Soil Loss Equation - ULES*) proposta por Wischmeier e Smith (1978) é um dos modelos existentes para estudos gerais de caracterização de estimativas de erosão e possível implementação em SIG. Dessa forma, a Equação Universal de Perda de Solo foi desenvolvida para áreas compatíveis com o uso agrícola e resulta na quantificação da perda de solos por erosão laminar de forma satisfatória, conforme exposto por Uema (2018). Contudo, em escalas maiores não se pode anular que, ao longo das vertentes, ocorrem perdas, mas também, ao mesmo tempo, deposições, o que não é contemplado no modelo da EUPS, portanto a equação torna-se falha para quantificar de forma adequada as perdas em escalas maiores (regionais).

¹ Análise multicritério é definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar ou apoiar a tomada de decisões, dada uma multiplicidade de critérios (ALMEIDA & COSTA, 2003).

2.3. Sistemas pedológicos e comportamento erosivo no Norte do Paraná

Na região Norte do Paraná o substrato geológico está predominantemente recoberto por Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos de caráter férrico e textura argilosa, sobre os basaltos da Formação Serra Geral, e por Latossolos Vermelhos e Argissolos de textura arenosa/média, sobre os arenitos das formações Caiuá, Santo Inácio e Adamantina (MAACK, 1953).

2.3.1. A cobertura pedológica na área de ocorrência dos arenitos

A região Norte do Estado do Paraná, na área de ocorrência dos arenitos (Formação Caiuá, Formação Santo Anastácio e Formação Adamantina), tem sofrido, desde o início do seu processo de ocupação, sérios problemas relacionados à atuação de fenômenos erosivos. Os estudos de Maack (1953, 1961, 1981) já alertavam sobre os impactos ocasionados por tais fenômenos associados aos solos derivados dos arenitos. Além de Maack, vários autores, instigados por essas questões, desenvolveram pesquisas na região: Bigarella e Mazuchowski (1985), Fasolo et al. (1988), Kronen (1990), Derpich et al. (1991), Gasparetto et al (1994), Barczyszyn e Nakashima (1995), Karling et al. (1999), Cunha et al (1999), Martins (2000), Nóbrega et al (2000), Silveira (2000), Cunha (2002), Santos et al (2010), Zapparoli (2009); Zapparoli e Gasparetto (2010); Elias (2015), Nóbrega e Cunha (2011), Bonifácio et al (2010), Bonifácio, Nóbrega, Silveira (2011), Terassi, Silveira, Oliveira Júnior (2017), Oliveira, Nowatzki e Santos (2017), Fumiya (2017) entre outros.

Conforme Cunha, Castro e Salomão (1999) e Silveira, Nóbrega e Baldo (2009), além da fragilidade natural desses solos, devido à maior proporção da fração areia, o uso inadequado, juntamente com o desmatamento contribuíram para a intensificação dos fenômenos de erosão.

A erosão do Norte do Estado do Paraná está relacionada às características naturais da paisagem, morfologia e textura dos solos e índices pluviométricos. Contudo, a intensificação dos processos erosivos remete-se, também, ao processo de ocupação nessa porção do Estado, que conforme

Serra (2010) se iniciou na década de 1930, com o ciclo do café e incentivo do governo a colonização dessa região.

Segundo Silveira (2001) o uso inadequado da ocupação nessa região acabou por acelerar o processo de empobrecimento do solo e como consequência a saída do homem do campo. E, Conforme já abordaram Vieira e Mazilli (1984), um dos maiores problemas da agricultura paranaense é a erosão do solo.

Assim, a retirada da vegetação nativa, para o cultivo do café e instalação de centros urbanos, contribuiu para o aumento do escoamento concentrado das águas pluviais e, conseqüentemente, intensificou processos erosivos. Outro fator que contribuiu para a instalação de processos erosivos em áreas rurais, de acordo com Mendonça (1994), foi a ocupação no modo “Espinha de Peixe”, que visa a ocupação das vertentes de montante a jusante, com a finalidade de acesso da população as estradas e aos rios.

Na década de 1970, devido ao manejo inadequado e degradação do solo (químico e físico), a cultura de café foi substituída por novas atividades econômicas como cana-de-açúcar, pastagem, soja, trigo e milho. Contudo os processos erosivos continuam a persistir nesses tipos de cultivos, sendo esse uma problemática para a gestão dos recursos naturais na região e temática de estudos em várias pesquisas (MANOSSO, 2006; SERRA, 2010).

Diversos estudos (CUNHA, 1996; CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999; GASPARETTO, 1999; NAKASHIMA, 1999; MARTINS, 2000; CALEGARI, 2000; ZAGO, 2000; ZAPAROLI, 2009; ZAPAROLI e GASPARETO, 2010; BONIFÁCIO et al, 2010; TERASSI, SILVEIRA, BONIFÁCIO, 2014) foram realizados na área de ocorrência do Arenito Caiuá no Estado do Paraná, adotando a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET et al., 1993), com o objetivo de identificar os sistemas pedológicos mais frequentes ao longo das vertentes e as suas relações com o desenvolvimento de processos erosivos. Os resultados desses trabalhos indicam a existências de vários sistemas pedológicos nessa área. Entre os mais frequentes e estudados citam-se: o sistema Latossolo Vermelho – Argissolo Vermelho – Neossolo Quartzarênico e o sistema Latossolo Vermelho – Argissolo. Além desses, ocorrem com menor expressão em área: o sistema Latossolo Vermelho – Neossolo Quartzarênico, geralmente associado a áreas

de cabeceira em forma de anfiteatro largo e aberto, como aqueles estudados por Karling (2000) e Martins (2000) em Cidade Gaúcha; o sistema Argissolo Vermelho – Neossolo Litólico em áreas com vertentes curtas e de declividade mais acentuada (NAKASHIMA, 1999; CALEGARI, 2000). Todos são constituídos por solos de textura média e/ou arenosa.

Do ponto de vista dinâmico, se constituem em sistemas pedológicos em transformação, segundo os critérios apresentados por Boulet (1987). Assim, explica o autor, que um sistema pedológico originalmente em equilíbrio, constituído por Latossolos, em decorrência de mudanças climáticas ou de aprofundamento de nível de base, começa a se transformar. O horizonte Bw do Latossolo sofre mudanças, seja por adensamento da estrutura microagregada e/ou processos e-iluviação de argila, conforme abordado por Cunha (2002), adquire características de horizonte Bt. Esse processo é remontante e pode, a partir da baixa vertente, sob determinadas condições, alcançar setores mais altos e, eventualmente, tomar toda a encosta, como constataram Nakashima (1999) e Calegari (2000). Deste modo, os Latossolos vão cedendo lugar aos Argissolos.

Outra frente de transformação também pode se instalar na base da vertente, alterações nas condições hídricas e no comportamento dos fluxos, exposto por Cunha (1996 e 2002), produzem a retirada de argila e, conseqüentemente, a destruição do Bt, gerando um horizonte arenoso espesso, característico do Neossolo Quartzarênico. Neste último horizonte podem ocorrer ainda resquícios do Bt, na forma de bandas onduladas. Evolui, deste modo, o sistema Latossolo – Argissolo – Neossolo Quartzarênico como descrito por Cunha (1996); Cunha, Castro e Salomão (1999); Nakashima (1999) e outros.

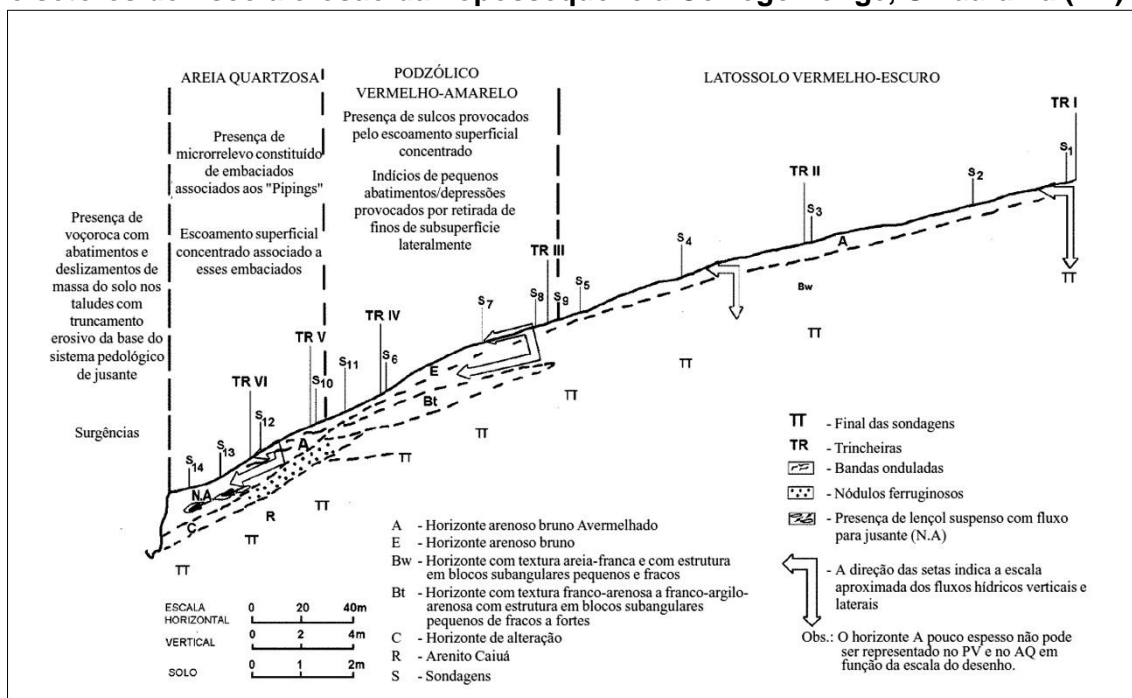
Segundo Couto (2015), a mudança do nível de base é frequentemente responsável pela reorganização da rede de drenagem, aceleração de processos erosivos e, conseqüentemente, também pela mudança da dinâmica hídrica interna do solo, gerando e acelerando fluxos hídricos, capazes de desencadear transformações pedológicas, como aquelas identificadas em bacias hidrográficas de primeira ordem por Cunha, Castro Salomão (1999), Gasparetto (1999), Martins (2000), Calegari (2000), Zago (2000), Zaparoli (2009), Barreiros (2013) entre outros.

Embora a maioria dos estudos tenha sido realizada sobre a cobertura pedológica desenvolvida a partir dos arenitos da Formação Caiuá, situações e condições similares são observadas nas coberturas pedológicas sobre os arenitos das Formações Santo Anastácio e Adamantina.

Em termos gerais, observa-se que nos topos e altas vertentes dos interflúvios predominam os Latossolos e nos setores de média ou média-baixa vertente é comum a passagem para os Argissolos. Os Argissolos tendem a se estender mais, chegando a posições mais altas na vertente quando o relevo é relativamente mais dissecado, exibindo declividades mais acentuadas. No sistema onde ocorre o Neossolo Quartzarênico, este aparece no sopé e/ou na baixa vertente, ocupando uma estreita faixa de terreno, geralmente não mapeável em cartas de solo de média e pequena escala.

Cabe ainda acrescentar que essa organização da cobertura pedológica implica em diferentes condições de funcionamento dos fluxos hídricos ao longo da vertente, se refletindo, também, na suscetibilidade aos processos erosivos. Como exemplo dessa organização de vertente e de seu funcionamento hídrico e erosivo, apresenta-se a topossequência Córrego Longe (Figura 1), em Umuarama, analisada por Cunha (1996) e Cunha, Castro, Salomão (1999).

Figura 1 – Representação esquemática da distribuição dos solos, fluxos hídricos e setores de risco à erosão da Topossequência Córrego Longe, Umuarama (PR).



Fonte: Cunha, Castro, Salomão (1999).

Os estudos sobre o comportamento hídrico dos sistemas pedológicos em Umuarama (Figura 1) e em Cidade Gaúcha, realizados por Cunha (1996 e 2002) mostram que do topo até a média vertente, nos Latossolos, os fluxos hídricos são preferencialmente verticais passando, contudo, a se desenvolver de modo lateral em superfície e subsuperfície nos Argissolos (no topo do Bt) e nos Neossolos Quartzarênicos. A associação do levantamento da topossequência de solos com as medidas hídricas e as observações realizadas em campo pelo autor, permitiu a relação da organização dessa cobertura pedológica com os fenômenos erosivos que aí ocorriam, evidenciando setores com suscetibilidades diferentes. O setor constituído por Latossolo mostrou-se menos suscetível, enquanto que os setores compostos por Argissolo (identificado como Podzólico Vermelho-amarelo na Figura 1) e Neossolo Quartzarênico (identificado como Areia Quartzosa na Figura 1) se apresentaram de modo crescente mais suscetível ao desencadeamento de processos e formas erosivas.

A preocupação em estabelecer relações entre a organização da cobertura pedológica e a instalação de processos erosivos, iniciada nos trabalhos de Cunha (1996 e 2002), Cunha, Castro e Salomão (1999) e Nakashima (1999) foi reproduzida em praticamente todos os trabalhos posteriores, desenvolvidos em topossequências de solos, na região Noroeste. Os resultados obtidos nessas pesquisas corroboram com aqueles observados inicialmente e parcialmente sintetizados na Figura 1.

Destaca-se, ainda, o estudo realizado por Nakashima (1999) sobre o reconhecimento dos principais sistemas pedológicos que ocorrem no Noroeste do Paraná, quando investigou sua distribuição e relações com as formas de relevo e os processos erosivos.

Mangueira, Couto e Santos (2012) com base nos compartimentos de sistema pedológicos de Nakashima (1999), realizaram o reconhecimento e mapeamento de feições erosivas no Noroeste do Paraná e constataram que as formas erosivas predominam em Argissolos (63%) e concentram-se no intervalo altimétrico de 400 a 300 metros. Esse intervalo altimétrico coincide justamente com o início do surgimento do horizonte B textural do Argissolo nas

vertentes (rupturas de declive), já determinado nos compartimento de sistemas pedológicos de Nakashima (1999).

2.3.2. A cobertura pedológica na área de ocorrência dos basaltos

Reis Nakashima (2001), em seus estudos no Norte do Paraná sobre os solos derivados do basalto, observou que o manejo inadequado, pelo uso de maquinário agrícola, tem causado a compactação dos solos, tendo como consequência o decréscimo da infiltração das águas pluviais nestes, e um acréscimo do escoamento superficial e carreamento de partículas para os talvegues, com assoreamentos e consequências para a qualidade dos cursos hídricos. Para os solos encontrados na área, a autora descreveu o Latossolo Vermelho Distroférico, textura argilosa, Nitossolo Vermelho Eutroférico e Neossolo Litólico. Assim também descreveu que os processos erosivos – sulcos, ravinas, voçorocas e terracetes de pisoteio de gado – estão associados às pastagens e as culturas temporárias.

Além disso, Reis Nakashima (2001), categorizou a fragilidade ambiental, aplicando a metodologia proposta por Ross (1994), onde definiu em: Fragilidade muito baixa a baixa, áreas com patamares de 420 a 640 metros de altitude, com Latossolo Vermelho Distroférico (textura argilosa) e plantio de café e culturas temporárias; Fragilidade baixa a média, com Latossolo Vermelho Distroférico (textura argilosa), referente às áreas entre 440 a 620 metros de altitude; Fragilidade média a alta, com topos patamares de 380 a 500 metros e presença de Nitossolo Vermelho Eutroférico; Fragilidade alta a muito alta, com altas e médias vertentes, recobertas por Neossolo Litólico. Em relação aos processos erosivos, para a área, as ravinas estão associadas ao Nitossolo Vermelho Eutroférico e Neossolo Flúvico, com cultura temporária, e Neossolo Litólico com pastagem; enquanto que as voçorocas estão localizadas nas rupturas côncavas, associadas ao Nitossolo, Neossolo Litólico, Neossolo Flúvico, com cultura temporária, e ao Nitossolo e Neossolo Flúvico, com pastagem.

Manosso e Nóbrega (2006) realizaram estudos na alta bacia do rio Pirapó, sobre impactos e vulnerabilidade ambiental no município de Apucarana – PR, e demonstraram que a cobertura pedológica está refletindo às condições

geomorfológicas. Para a área em questão, os autores encontraram a seguinte sequência pedológica: Latossolos Vermelhos Distroféricos e/ou Eutroféricos, localizados sobre o platô principal da área; Nitossolos Vermelhos Eutroféricos e/ou Distroféricos, próximos das cabeceiras das pequenas bacias hidrográficas, ainda sobre o interflúvio, como também na média a baixa vertente, com declividades fracas a moderadas; Neossolos Litólicos no terço superior das bacias hidrográficas, caracterizado por áreas de declividades mais acentuadas (>20%) e vertentes mais curtas e afloramentos rochosos.

Os autores supracitados definiram ainda classes de vulnerabilidade – Vulnerabilidade baixa, onde a erosão que ocorre sobre os Latossolos é concentrada, localizada principalmente nas margens das rodovias, enquanto que a erosão laminar e lixiviação, associadas a esses solos, são encontradas nas áreas com agricultura mecanizada; Vulnerabilidade média, sobre os terrenos de declividades médias, presença de afloramento rochoso, caracterizado por solos rasos como os Neossolos Litólicos, com ocorrência de erosão intensa, nas áreas agrícolas de forte declividade, mesmo onde há pouco manejo; Vulnerabilidade alta, em áreas de declividades acentuadas, marcados por rupturas de relevo, afloramentos rochosos e solos rasos, e, nestas áreas a erosão também é intensa, sendo caracterizada por quedas de blocos e movimentos gravitacionais de solo.

Ainda na região Norte do Paraná, Nakashima (2013) desenvolveu seus estudos em uma bacia hidrográfica no município de Maringá, registrou a ocorrência de Nitossolo e associações entre Cambissolos e Neossolos Litólicos (em rupturas de vertentes), derivados dos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Além disso, o autor investigou a posição destes solos nas vertentes e constatou que há transporte de argila e uma eventual relação com a formação dos horizontes B nítricos (Bni), provavelmente originados dos horizontes B latossólicos (Bw), por processos de eluviação/iluviação nos perfis estudados.

Mais recentemente, Marcato (2016) realizou um estudo sobre os principais tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Pirapó – PR, relacionando os efeitos dos diferentes usos do solo sobre a estabilidade de agregados dessas classes de solos e as suas influências no desencadeamento de processos erosivos. Assim, analisou o Latossolo Vermelho Distroférico

(textura argilosa) e o Nitossolo Vermelho Eutroférico (derivados dos basaltos), sob culturas de grãos, pastagem e floresta nativa, como também o Latossolo Vermelhos (textura média) e Argissolo Vermelho (derivados dos arenitos), com culturas de grãos, pastagem, floresta nativa e cana-de-açúcar. Desse modo, constatou que ocorreu degradação das propriedades físicas e hídricas do Latossolo Vermelho (textura argilosa) e Nitossolo Vermelho nas culturas de grãos, do Latossolo Vermelho (textura média) na cana-de-açúcar, enquanto que o Argissolo Vermelho apresentou degradação em suas propriedades em todos os tipos de usos, mostrando-se como um solo mais suscetível aos processos erosivos, em relação aos demais.

Em virtude dos problemas produzidos pela erosão, principalmente naqueles desenvolvidos sobre os arenitos, foram, também, realizados vários trabalhos, adotando diferentes propostas metodológicas para a avaliação da fragilidade e/ou vulnerabilidade dos solos com o emprego de geotecnologias. Cita-se entre os vários trabalhos nessa linha, o de Santos et al. (2010), Souza e Gasparetto (2012), entre outros.

Santos et al. (2010) mapearam áreas de fragilidade ambiental à erosão (Tamboara - PR) aplicando a metodologia proposta por Ross (1994), nas suas duas versões: uma que emprega as classes de declividade como parâmetro principal e, a outra, que recorre ao índice de dissecação do relevo. Nesse estudo, realizado em escala média, foi constatado que a versão que se baseia no índice de dissecação do relevo reflete de modo mais adequado o que foi observado em campo.

No município de Umuarama - PR, Souza e Gasparetto (2012), identificaram a partir da aplicação de modelo matemático em SIG via EUPS, perdas de solos por erosão variáveis em função de associações entre declividade, tipo de solo e uso. Sob o uso com pastagem as maiores perdas aparecem relacionadas à ocorrência de Argissolo e Neossolo Quartzarênico, e são tão mais elevadas quanto maior for a declividade. As perdas, entretanto, sob pastagem, foram consideradas baixas. Com o uso das terras para culturas (principalmente cana de açúcar e mandioca) as perdas de solo são bem mais elevadas, sobre qualquer tipo de solo, incluindo os Latossolos. Dados similares foram obtidos por Prado e Nóbrega (2005) em Cidade Gaúcha (PR).

As observações realizadas por Martins (2000) e Cunha (2002) mostram que apesar das propriedades do Latossolo gerarem baixo grau de erodibilidade, quando este é submetido a manejo inadequado, pode tornar-se suscetível à erosão, em especial a erosão laminar.

Portanto, a ocorrência de processos erosivos no Norte e Noroeste do Paraná é resultado de uma complexa relação, entre transformações pedológicas e o uso da terra (antrópico). Assim a relação de morfogênese e pedogênese atuam não de forma isolada ou alternada, mas concomitante como já exposto por diversos estudos, demonstrando que a processos erosivos são reflexo de um sistema de entrada e saída de energia (geossistema), passível de modificação no tempo.

2.4. Água: monitoramento e parâmetros de qualidade

A água é um recurso natural dinâmico e requer uma visão sistêmica, dentro da gestão dos recursos hídricos, pois, por circular por outros sistemas, qualquer alteração, pode refletir na quantidade e qualidade da hidrosfera (MOTTER e FOLETO, 2010).

Nesse sentido, Lacerda e Cândido (2013) destacam que a gestão integrada de recursos hídricos busca estabelecer um conjunto de ações que visam o controle e a proteção dos recursos, frente à legislação e normas pertinentes.

Segundo a Agência Nacional de Águas (2008), na gestão integrada dos recursos hídricos, o monitoramento da água é o fator primordial, pois norteia e estabelece ações de planejamento, fiscalização e enquadramento de cursos d'água. Figueirêdo et al. (2008) destacam ainda que a água deve ser sistematicamente monitorada, em termos de qualidade e de quantidade e, Coimbra (1991), complementa sobre o aproveitamento múltiplo e integrado da água.

De acordo com Yassuda (1993), o monitoramento corrobora para a previsão e controle ambiental, devendo ser aplicado na gestão dos recursos hídricos. Alves (2006) menciona que o monitoramento, além de ser um instrumento de controle e avaliação, visa compreender as influências dos fatores naturais e das ações antrópicas, sobre o ambiente. Segundo a autora, o

monitoramento deve ser realizado por análise de tendências qualitativas e quantitativas, a fim de identificar alterações nas características analisadas.

Desse modo, Farias (2006) destaca que o monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos, pois fornece informações e dados, dos quais, segundo Teixeira (2000), refletem o uso e ocupação das bacias hidrográficas.

Todavia, segundo Merten e Minella (2002) a qualidade da água não denota somente a seu estado de pureza, mas às suas características físico-químico-microbiológicas, que são avaliados por parâmetros de qualidade, e que determina seus diversos usos.

Conforme Tucci (1997), a qualidade da água é influenciada por inúmeros fatores – formação geológica, solos, geomorfologia, clima e cobertura vegetal – particulares de cada bacia hidrográfica, variando assim, entre períodos sazonais e os cursos d'água. Já Von Sperling (2005) destaca que qualidade da água pode ser transformada por condições naturais e por ações antrópicas:

“Condições naturais: mesmo com a bacia hidrográfica preservada nas suas condições naturais, a qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. O impacto é dependente do contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo. Assim, a incorporação de sólidos em suspensão (partículas de solo) ou dissolvidos (íons oriundos da dissolução de rochas) ocorre, mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais (ocupação do solo com matas e florestas). Neste caso, têm grande influência a cobertura e a composição do solo.

Ações antrópicas: a interferência do homem, seja de forma concentrada, como na geração de despejos domésticos e industriais, ou de forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribui na introdução de compostos na água, afetando a sua qualidade. A forma em que o homem usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água” (VON SPERLING, 2005, p.15).

Além disso, Freire (2010) menciona que a qualidade da água pode ser alterada, ainda, durante o percurso dos cursos d'água, da nascente à foz, pois ocorre o carreamento de sedimentos e demais materiais, que podem ser fontes geradoras de poluição.

Nesse contexto, a qualidade da água pode ser retratada por meio de parâmetros, que determinam suas características físicas, químicas e biológicas, denominados de parâmetros de qualidade água (SANTOS et al., 2001; PAIVA e PAIVA, 2003; VON SPERLING, 2007).

2.4.1. Parâmetros físicos e químicos

Os parâmetros físicos e químicos são determinados pelas características particulares da bacia hidrográfica – geologia, relevo e solos associados, condições climáticas e aspectos de uso e cobertura vegetal, e, representados pelos sólidos, matéria orgânica e inorgânica, presentes na água (PAIVA e PAIVA, 2003; VON SPERLING, 2005). Dentre esses parâmetros estão: temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total, sólidos, turbidez e pH.

Temperatura da água

De acordo com Von Sperling (2005) e Alves (2006), o parâmetro Temperatura é a medida da intensidade de calor, e, sua alteração se dá por origens naturais, relacionada à transferência de calor por radiação, condução e convecção entre a atmosfera e o solo e, por origens antrópicas, por efluentes, por águas de torres de resfriamento industriais, usinas termoelétricas entre outros.

Segundo os autores, o aumento da temperatura da água eleva a velocidade das reações químicas e exacerbado crescimento de determinadas comunidades aquáticas, ocasionando um acréscimo no consumo de oxigênio dissolvido, além da diminuição da solubilidade de gases dissolvidos, que gera mau cheiro, por liberação de gases com odores desagradáveis.

Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio é essencial para todas as formas de vida, e, na vida aquática influencia diretamente nos organismos que realizam a autodepuração nos cursos d'água (VON SPERLING, 2005). Segundo Freire (2010) a quantificação do oxigênio dissolvido (OD) em águas é um indicador expressivo da qualidade do recurso hídrico.

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), há um limite superior de concentração de oxigênio dissolvido, conforme as condições de temperatura e pressão atmosférica, chamada de concentração de saturação e, conforme Wef

(2006), esta concentração de saturação relaciona-se negativamente com os sólidos dissolvidos, pois aumenta conforme há um incremento de sólidos.

Além disso, o oxigênio dissolvido pode ser influenciado com valores acrescidos pela turbulência das águas (natural ou artificial), como também apresentar uma concentração mais baixa, causada naturalmente pela temperatura – no caso de águas mais quentes e com maior quantidade de matéria orgânica, e pela influência antrópica, em cursos d'água que percorrem centros urbanos e recebem efluentes com grande aporte de matéria orgânica (FARIAS, 2006).

Conforme Von Sperling (2007) concentrações superiores de saturação de 9,2 mg.L⁻¹, na temperatura de 20°C, indica a presença de organismos produtores de oxigênio, como as algas. Entretanto, valores abaixo da concentração estão relacionados ao acúmulo de matéria orgânica no curso d'água. Já Tavares (2006) destaca valores de oxigênio dissolvido entre 8 a 10 mg.L⁻¹, para um rio em condições naturais.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a relação da quantidade de oxigênio disponível na água que seria necessária para oxidar a matéria orgânica, para uma forma inorgânica estável (VON SPERLING, 2005). E, de acordo com Bowie et al (1995) a DBO é uma estimativa indireta do consumo de oxigênio nos cursos d'água.

Assim, a DBO é normalmente definida como a quantidade de OD consumida durante um determinado período de tempo, em uma temperatura específica de incubação. Para a oxidação da matéria orgânica, conforme Von Sperling (2005), a DBO_{5,20} é a quantidade de OD consumida durante o período de tempo de 5 dias, em temperatura de incubação de 20°C.

Segundo Freire (2010), este parâmetro é importante para o controle da poluição da água, já que reflete a matéria orgânica biodegradável, e, além disso, influencia nos níveis de autodepuração dos cursos d'água.

A matéria orgânica presente nos cursos d'água e nos efluentes é utilizada pelos microorganismos, em suas sínteses metabólicas, consumindo OD. Conforme Von Sperling (2007), os principais componentes orgânicos são

as proteínas, carboidratos, gorduras, ureia, pesticidas entre outros. Para Dick e Martinazzo (2006), a matéria orgânica pode ainda atuar como carreador de contaminantes. Desse modo, o aumento da DBO é provocado por efluentes de origem predominantemente orgânica.

É importante destacar que a DBO está intimamente ligada ao OD, pois uma concentração elevada de matéria orgânica na água pode induzir ao completo consumo de oxigênio da água, o que ocasiona um impacto direto na vida aquática, como o desaparecimento de peixes e outras espécies do local (CETESB, 2008).

Além disso, APHA (1995) destaca que os fatores como a quantidade de sólidos suspensos e de formas reduzidas de nitrogênio (orgânico e amoniacal), pode influenciar a precisão da determinação da DBO.

Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal é o primeiro composto produzido pela degradação de matéria orgânica, sendo a forma mais reduzida do nitrogênio, caracterizada por demonstrar a poluição em seu estágio inicial (VON SPERLING, 2007).

A principal fonte de nitrogênio amoniacal nos cursos d'água, na área urbana, é o lançamento de efluentes, caracterizado pela hidrólise da ureia na água, pela decomposição de proteínas e aminoácidos. Já na área rural, as fontes podem ser associadas ao uso de fertilizantes nas plantações, que é carreado para os cursos d'água pela ação da chuva. Assim, Silva et al. (2010) mostraram que há relação entre o uso de fertilizantes e a concentração de formas de nitrogênio em águas superficiais.

Conforme Esteves (1998) a amônia na forma NH_3 é uma substância tóxica, que em concentrações, nos cursos d'água, pode impactar a vida aquática, e causar a morte de peixes. Essa elevada concentração é proveniente de efluentes domésticos, industriais e agrícolas (ALVES, 2006).

Farias et al. (2007) e Oliveira, Souza e Castro (2009) destacam que quando há o lançamento de efluentes, o excesso dessa substância em conjunto com o fósforo, pode causar a eutrofização do curso d'água, tendo sérias consequências ao sistema aquático.

Fósforo Total

O fósforo é essencial para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e está presente em ecossistemas aquáticos, tendo origem natural – pela dissolução das rochas, compostos do solo, decomposição da matéria orgânica – e por ação antrópica, pelos efluentes de origem doméstica e industrial, pela presença de detergentes, fertilizantes/pesticidas e excrementos de animais (VON SPERLING, 2007).

Paiva e Paiva (2003) destacam que o fósforo, assim como o nitrogênio, é um dos principais nutrientes utilizado nos processos biológicos, sendo um macro nutriente. Além disso, o fósforo é indispensável para o crescimento de algas, que, associado a altas concentrações e em ambiente lântico, pode gerar a proliferação exacerbada desses organismos – caracterizando uma eutrofização, que segundo Von Sperling (2005) é o crescimento excessivo de plantas e algas nos cursos d'água, que gera um grande consumo de oxigênio dissolvido que prejudica a vida aquática e compromete a qualidade dos recursos hídricos.

Sólidos

A qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial, em condições naturais. Assim, a interferência na qualidade depende do material carregado por este escoamento, podendo ser sedimentos e impurezas do solo. Desse modo, conforme Von Sperling (2007), a incorporação de sólidos (em suspensão - partículas de solo resultantes da dissolução das rochas) ocorre mesmo em um ambiente natural, e, o que dá o maior grau de proteção, frente ao escoamento, é a cobertura vegetal e a composição/textura do solo.

Todavia, Mello (2006) destaca que quando há interferência da ação antrópica, o escoamento superficial remove as partículas sólidas do solo e as transporta aos cursos d'água, comprometendo sua qualidade. Assim, todos os contaminantes, com exceção dos gases, fazem parte da carga de sólidos.

Para Merten e Poletto (2006) a quantificação do fluxo de poluentes transportados pelos sedimentos em suspensão tem um papel importante para a

gestão dos recursos hídricos. Além disso, destacam que a granulometria fina dos sólidos (fração silte e argila) está ligada ao transporte de contaminantes.

Desse modo, Von Sperling (2005) descreve que é possível realizar a divisão dos sólidos totais, presentes na água, por tamanho, onde as menores partículas correspondem aos sólidos dissolvidos, sendo capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado, enquanto que as retidas pelo filtro são denominadas de sólidos em suspensão.

É importante destacar que os sólidos podem causar danos ao canal hídrico, com assoreamento e alteração da morfologia da drenagem, como também impactos para a vida aquática e comprometimento da qualidade da água, uma vez que podem reter poluentes e resíduos orgânicos no leito dos rios. Assim, conforme Poletto e Laurenti (2008), a identificação do material carregado, pelo escoamento superficial, é de suma importância para se avaliar o potencial poluidor e inferir sobre os impactos gerados por eles.

Turbidez

A turbidez é uma medida fotométrica, em que se analisa a matéria em suspensão e sua capacidade de interferir no fluxo de energia luminosa, ou seja, a turbidez representa o grau de interferência à passagem da luz na água, ocasionando uma aparência turva (SINCERO e SINCERO, 2003).

De acordo com Branco et al (1991) a redução da turbidez na água ocorre pela presença de sólidos em suspensão, como as partículas de solo (areia, silte e argila) e matéria orgânica (plâncton, bactérias, algas). Enquanto Barcellos et al. (2006) descrevem que alguns minerais presentes nos solos, como o ferro e manganês, conferem um aumento da coloração e turbidez à água.

Assim, nos períodos de intensa precipitação, que podem gerar um escoamento exacerbado, há uma lixiviação do solo, influenciando na turbidez dos cursos d'água. Nesse contexto, Freire (2010) e Gorjon Neto (2014) mencionam que a concentração da turbidez é um efeito decorrente do carregamento de partículas dos solos pela ação da precipitação e escoamento. Descrevem que este parâmetro é influenciado também pela vazão dos cursos

d'água, uma vez que, quando há precipitação e alteração da vazão, há o desencadeamento de processos erosivos.

Com o escoamento para os cursos d'água, toda microbiota natural e compostos oriundos de práticas agropecuárias geram um aporte de materiais que alteram as condições físico-químicas das águas (CARVALHO, SCHITTLER, TORNISIELO, 2000). Conforme Tarelho Júnior (2014) há inter-relações de problemas de um ambiente (solo, ar, água) para outro.

Além disso, segundo a CETESB (2008), o acréscimo da turbidez nas águas pode ainda ser causado pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos e por esgotos, que geram um impacto ainda maior em relação à qualidade do corpo hídrico.

Desse modo, altas concentrações de turbidez podem influenciar nas comunidades aquáticas, pois limita a penetração de raios solares e reduz a reposição do oxigênio, como também afeta diversos usos da água, como o doméstico, industrial e recreacional (SÃO PAULO, 2008).

Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é a medida de concentração dos íons hidrogênio H^+ , que dá uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, cuja escala varia de 0 a 14 (VON SPERLING, 2005).

Para Esteves (2009) os cursos d'água superficiais apresentam a água com um pH entre 6 e 9, sendo ligeiramente alcalinas, isso se deve à presença de carbonatos e bicarbonatos, dissolvidos das rochas locais e solos associados, ou seja, o pH pode refletir o tipo de solo que a água percorre. Todavia, para o mesmo autor, quando este parâmetro se apresenta na escala de muito ácido ou muito alcalino, está associado à presença de lançamentos de efluentes.

De acordo com Iost (2008), o pH é um dos parâmetros mais difíceis de interpretar, uma vez que existe um grande número de fatores que podem causar influência em suas concentrações, como os sólidos dissolvidos, temperatura da água, oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese, e também efluentes domésticos, industriais e esgotos.

Assim, conforme Collischonn e Dornelles (2013) o pH influencia no equilíbrio dos compostos químicos nos cursos d'água, podendo acelerar o processo de decomposição de materiais tóxicos, em sua condição ácida, como aumentar a concentração de amônia livre (NH₃), em condição básica, ou seja, tem um alcance direto sobre os ecossistemas aquáticos.

2.4.2. Parâmetros biológicos

Em relação aos parâmetros biológicos, têm-se destaque aos microrganismos. Esses são responsáveis por diversas funções, sendo de suma importância frente aos processos de transformação da matéria orgânica dentro dos ciclos biogeoquímicos. Todavia, em relação à qualidade da água, são indicadores de contaminação fecal (grupo dos coliformes) e podem estar associados a doenças de veiculação hídrica (WHO, 2004; VON SPERLING, 2007).

Coliformes Termotolerantes

Von Sperling (2005) e Who (2004) destacam que é possível realizar uma determinação da potencialidade da transmissão de doenças de veiculação hídrica, de forma indireta, por meio dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo dos coliformes. Esse grupo é formado, segundo Pelczar (1996) por um número de bactérias que inclui os gêneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria*.

Com exceção da *Escherichia*, as demais bactérias do grupo coliformes, segundo Tarelho Júnior (2014), podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, de efluentes industriais, como também na decomposição da matéria vegetal no solo, ou seja, sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal.

Assim, *Echerichia coli* pertence ao grupo coliforme fecal (termotolerantes), sendo encontrada em esgotos, efluentes e águas naturais, sujeitas a contaminação por atividades agropecuárias e animais, exclusivamente por origem fecal. A presença desse microrganismo nas águas

demonstra ainda falhas no processamento, ou contaminação pós-processamento de uma estação de tratamento de efluentes, sendo utilizada como indicador da eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento de esgotos (SÃO PAULO, 2008).

Desse modo, os coliformes termotolerantes são utilizados como padrão para qualidade microbiológica, conforme a Legislação brasileira, de águas superficiais destinadas a abastecimento, irrigação, recreação e piscicultura (CETESB, 2008).

2.4.3. Enquadramento em classes de usos

Para assegurar a disponibilidade de água, para a atual e futuras gerações, em quantidade e padrões de qualidade, bem como promover uma utilização racional e integrada dos recursos hídricos, foi criada a Lei 9.433/97, conhecida como Lei das Águas.

Assim, para atingir o objetivo do estabelecimento dos padrões de qualidade, embasados por um suporte legal, foi realizado um enquadramento dos cursos d'água – que é o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um segmento do curso hídrico ao longo do tempo – como referência a ser utilizado aos demais instrumentos de gestão de recursos hídricos e de gestão ambiental (FREIRE, 2010).

Além disso, foi realizada uma classificação, pelo Ministério do Meio Ambiente, por uma Portaria da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº357 de 17 de março de 2005, dos corpos de água e diretrizes ambientais, em relação ao uso (BRASIL, 2005).

Desse modo, a Resolução CONAMA nº 357/2005, estabeleceu o controle sobre as condições de qualidade de água em 12 parâmetros indicadores de qualidade, dividiu as águas do território nacional em águas doces, salobras e salinas e estabeleceu as classes em função dos usos previstos, com uma determinada qualidade a ser mantida. O Art. 4º desta Resolução destaca a classificação das águas doces em:

- Classe especial: águas destinadas:
 - a) Ao abastecimento para o consumo humano, com desinfecção;

- b) À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
 - c) À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
- Classe 1: águas que podem ser destinadas:
- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
 - b) À proteção das comunidades aquáticas;
 - c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
 - d) À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
 - e) À proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
- Classe 2: águas que podem ser destinadas:
- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
 - b) À proteção das comunidades aquáticas;
 - c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
 - d) À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
 - e) À aquicultura e à atividade de pesca.
- Classe 3: águas que podem ser destinadas:
- a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
 - b) À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
 - c) À pesca amadora;
 - d) À recreação de contato secundário; e
 - e) À dessedentação de animais.
- Classe 4: águas que podem ser destinadas:
- a) À navegação; e
 - b) À harmonia paisagística.

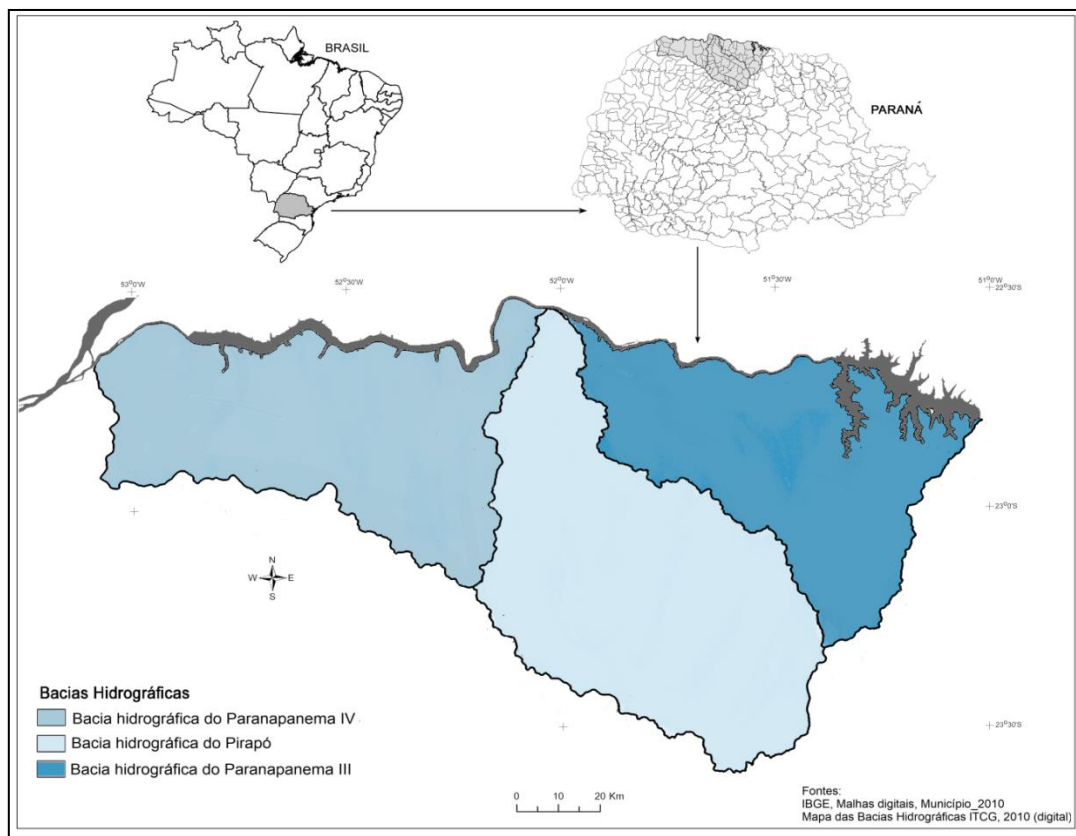
Além disso, a Resolução nº357/2005 dá destaque à importância do enquadramento, visto que o controle da poluição das águas está relacionado com a proteção da saúde e com uma garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado. E, segundo Alves (2006) essa Resolução é de suma importância, pois é um instrumento de melhoria do sistema de gestão de recursos hídricos no Brasil.

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e aspectos gerais

A Unidade Hidrográfica do Piraponema (Figura 2) está situada no Terceiro Planalto Paranaense, na região norte do Estado do Paraná, Brasil (MAACK, 2012). Esta unidade é composta pelos afluentes da margem esquerda do rio Paranapanema, que formam três bacias hidrográficas: Paranapanema IV, Pirapó e Paranapanema III (ITCG, 2013).

Figura 2 – Localização da área de estudo, Unidade Hidrográfica do Piraponema.



A bacia hidrográfica do Paranapanema IV (Figura 2) limita-se com as bacias do rio Pirapó a leste, do Paraná I a oeste, Ivaí ao sul e Pontal do Paranapanema ao norte. Possui uma área de 4.134,90 km² e conta com 15 afluentes diretos do Paranapanema (SEMA, 2010), sendo os mais destacados o ribeirão do Tigre, ribeirão do Corvo, ribeirão da Coroa do Frade, ribeirão Caiê e ribeirão Francisco ou do Diabo (TARELHO JÚNIOR, 2014; NÓBREGA et al., 2015; BONIFÁCIO, SILVEIRA, NÓBREGA, 2017). Esta bacia hidrográfica

possui uma disponibilidade hídrica superficial de 20 mil L/s, o que representa cerca de 2% do volume hídrico total do Estado do Paraná. Segundo Sema (2010), o valor demandado é somente de 0,2 mil L/s, enquanto que a disponibilidade hídrica subterrânea é provida pelas unidades aquíferas do Guarani e Caiuá, sendo estimada em 3 mil L/s.

A bacia hidrográfica do Pirapó (Figura 2), limita-se com as bacias do rio Paranapanema 4 a oeste, do Paranapanema 3 a leste, Pontal do Paranapanema ao norte e Ivaí e Tibagi ao sul. Conta com 60 afluentes diretos, sendo o mais destacado o rio Pirapó. A nascente do rio Pirapó, está situada no município de Apucarana – PR, a 1000 metros de altitude (SEMA, 2010). Percorre uma extensão de 168 km até sua foz, ao norte, no rio Paranapanema, no município de Jardim Olinda – PR, a 300 metros de altitude (SCHNEIDER et al., 2011).

A disponibilidade hídrica superficial desta bacia é de 3% da área total do Estado, ou seja, 30 mil L/s. Enquanto que o valor demandado é de 2 mil L/s, apenas 7% do total disponível na bacia (SEMA, 2010). Já a disponibilidade hídrica subterrânea é estimada em 6 mil L/s, dos aquíferos Guarani, Serra Geral Norte e Caiuá (SEMA, 2010; GORJON NETO, 2014).

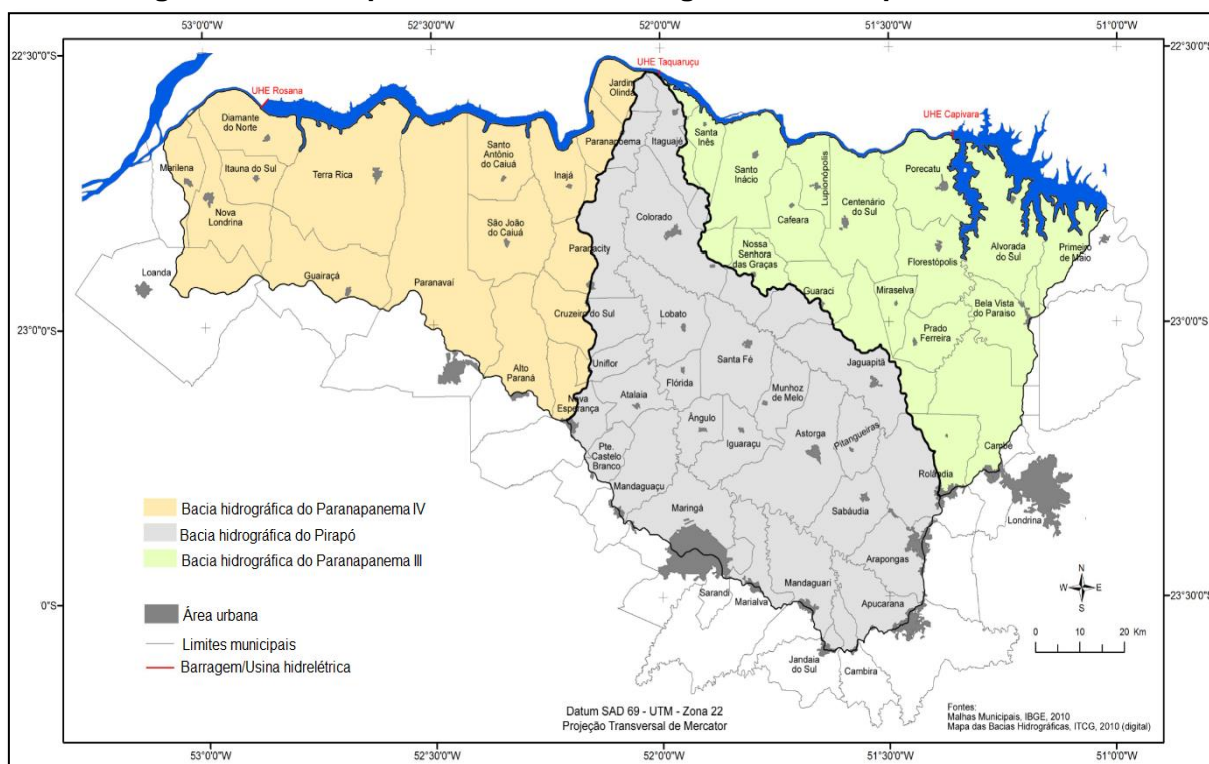
A bacia hidrográfica do Paranapanema III (Figura 2) faz divisa com as bacias do rio Pirapó a oeste, do rio Tibagi ao sul e Pontal do Paranapanema ao norte. É formada por 12 afluentes diretos, que deságuam no rio Paranapanema, entre eles destacam-se o ribeirão Vermelho, ribeirão Caneleira, ribeirão Santo Inácio e ribeirão do Tenente (TARELHO JÚNIOR, 2014, NÓBREGA et al., 2015; BONIFÁCIO, SILVEIRA, NÓBREGA, 2017). De acordo com Sema (2010) e Tarelho Júnior (2014), a bacia hidrográfica do Paranapanema III apresenta uma disponibilidade hídrica superficial de 16 mil L/s, ou seja, 1% do Estado do Paraná. Já valor demandado é de 1 mil L/s, apenas 6% do total disponível. A disponibilidade hídrica subterrânea é de 4 mil L/s, dos aquíferos Guarani, Serra Geral Norte e Caiuá.

A Unidade Hidrográfica do Piraponema abrange, de forma total ou parcial, o território de 57 municípios do Estado do Paraná (Figura 3), com duas áreas metropolitanas de suma importância para a região, Maringá e Londrina. Segundo o senso do IBGE (2010), a população total da Unidade era de

1.362,109 habitantes, onde 94% dessa população residem na área urbana e apenas 6% na área rural (BONIFÁCIO, SILVEIRA, NÓBREGA, 2017).

Em escala de detalhe, conforme Godoy e Souza (2012) e Godoy (2015), a bacia hidrográfica do Paranapanema IV abrange 2% da área do Estado do Paraná, com 18 municípios e uma população 207.042 habitantes, onde residem 15% da população total da Unidade, dos quais 90% se concentram na área urbana e 10% na área rural. Já a bacia hidrográfica do rio Pirapó, ocupa cerca de 3% da área do Estado do Paraná, abrangendo total ou parcialmente 33 municípios e uma população de pouco mais de 1 milhão habitantes, com 70,2% da população total da Unidade, onde 95% da população ocupa o setor urbano e 5% o setor rural. A bacia hidrográfica do Paranapanema III, por sua vez, contém em torno de 2% da área do Estado do Paraná, com 19 municípios e uma população de 198.261 habitantes, e há um total de 15% da população da Unidade, sendo 90% residentes na área urbana e 10% na área rural (SEMA, 2007; SEMA, 2010).

Figura 3 – Municípios da Unidade Hidrográfica do Piraponema.

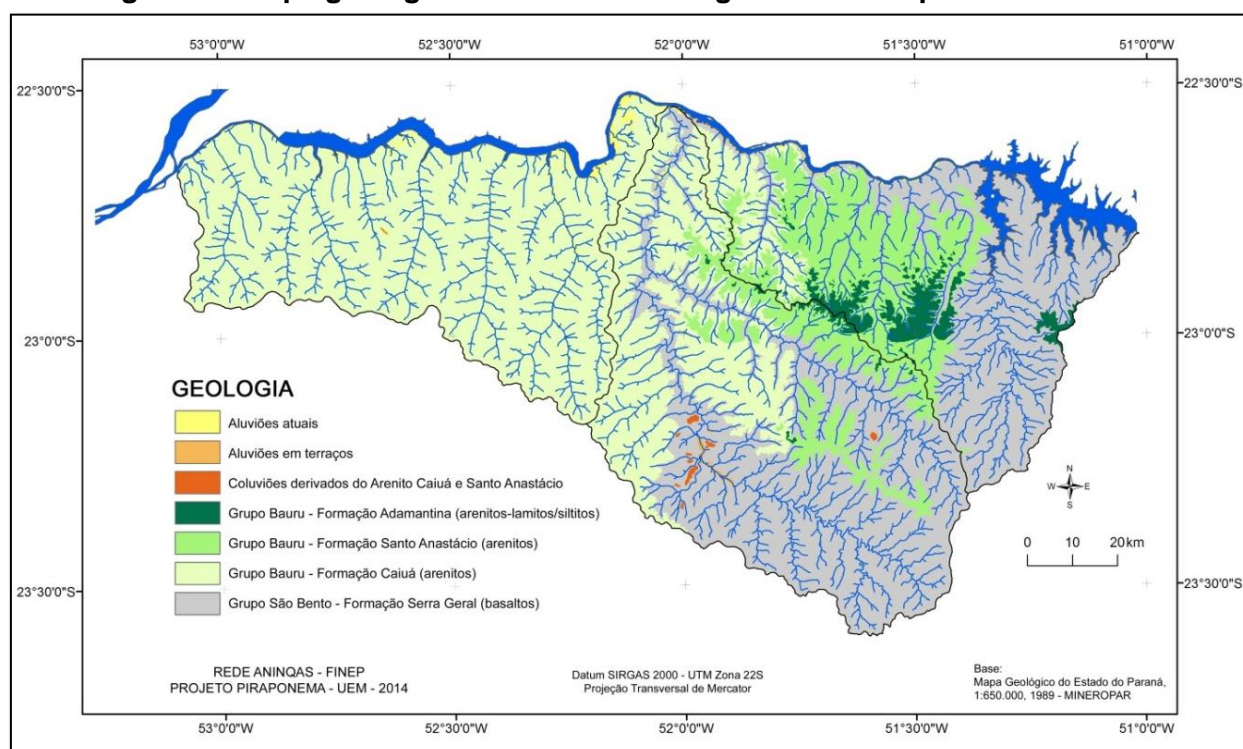


Fonte: Projeto Piraponema – UEM.

3.2. O substrato geológico, o relevo e os solos

A Unidade Hidrográfica do Piraponema corresponde a um setor constituído por rochas da Formação Serra Geral do Grupo São Bento (Jurássico e Cretáceo) (Figura 4), recobertas parcialmente por rochas sedimentares do Grupo Bauru, das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, formadas no período Cretáceo (MINEROPAR, 2001).

Figura 4 – Mapa geológico da Unidade Hidrográfica do Piraponema.



Fonte: Projeto Piraponema – UEM.

Segundo Nóbrega et al. (2015), os basaltos afloram em 38% da área, ocorrendo no setor leste da bacia hidrográfica do Paranapanema III e no setor centro-sul da bacia hidrográfica do Pirapó.

Já as formações areníticas do Grupo Bauru, apresentam as seguintes ocorrências:

A Formação Caiuá ocorre em 46% da área presente na Unidade, em toda a extensão da bacia do Paranapanema IV, nos setores médio e baixo do Pirapó, com 31%, e em 9% da bacia do Paranapanema III, no setor noroeste, (NÓBREGA et al., 2015). Conforme apresentado por Mineropar (2001) se

caracteriza pelos arenitos finos a médios, formados em ambiente eólico e fluvial.

A Formação Santo Anastácio, está assentada sobre a Formação Caiuá, segundo Nóbrega et al. (2015) no setor centro-leste da Unidade Hidrográfica, enquanto que no sentido leste a sudeste aparece diretamente sobre a Formação Serra Geral. Corresponde a 13% da área da Unidade (11% da área da bacia do Pirapó e em 30% do Paranapanema III). Esta Formação se originou em ambiente de planície aluvial, sendo constituída por arenitos muito finos a médios (MINEROPAR, 2001).

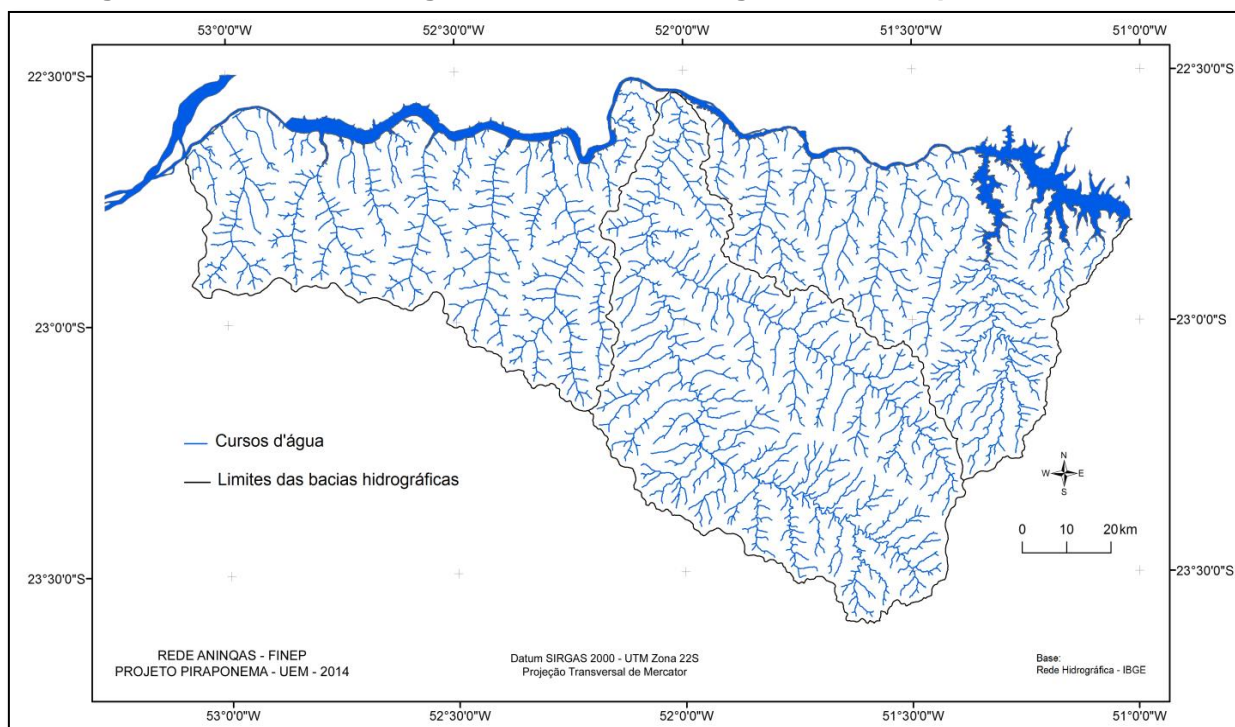
A Formação Adamantina está disposta na maior parte das ocorrências sobre a Formação Santo Anastácio, mas em uma pequena mancha a leste aparece diretamente sobre a Formação Serra Geral. Ocupa 7% da área da bacia hidrográfica do Paranapanema III, é inferior a 1% na bacia hidrográfica do Pirapó e está ausente na do Paranapanema IV, representando somente 2% da área total da Unidade Hidrográfica (NÓBREGA et al, 2015). Segundo a Mineropar (2001), a Formação Adamantina é formada por arenitos muito finos a finos, com origem em ambiente de planície aluvial.

Na Unidade Hidrográfica ainda há ocorrência de depósitos Quaternários aluviais ao longo do rio Paranapanema, e alguns depósitos coluviais, derivados de arenitos das Formações Caiuá e Santo Anastácio, em manchas isoladas, que recobrem localmente os basaltos (NÓBREGA et al, 2015).

A rede de drenagem (Figura 5) apresenta densidade $< 0,50 \text{ km/km}^2$, que segundo Christofolletti (1980) é um valor de densidade baixo. Todavia, Nóbrega et al. (2015) destacam que há um adensamento dessa rede de drenagem sobre as rochas vulcânicas nas bacias do Pirapó e Paranapanema III, quando comparado ao comportamento desta rede sobre os arenitos, na bacia hidrográfica do Paranapanema IV, que apresenta a densidade mais baixa das três bacias.

Segundo Strhaler (1992), os padrões de drenagem se apresentam sobre determinadas configurações conforme a estrutura das rochas. Além disso, há diferenças significativas sobre a configuração da rede de drenagem: dendrítica com ramificação arborea sobre o basalto, paralela sobre os arenitos.

Figura 5 – Rede de drenagem na Unidade Hidrográfica do Piraponema.

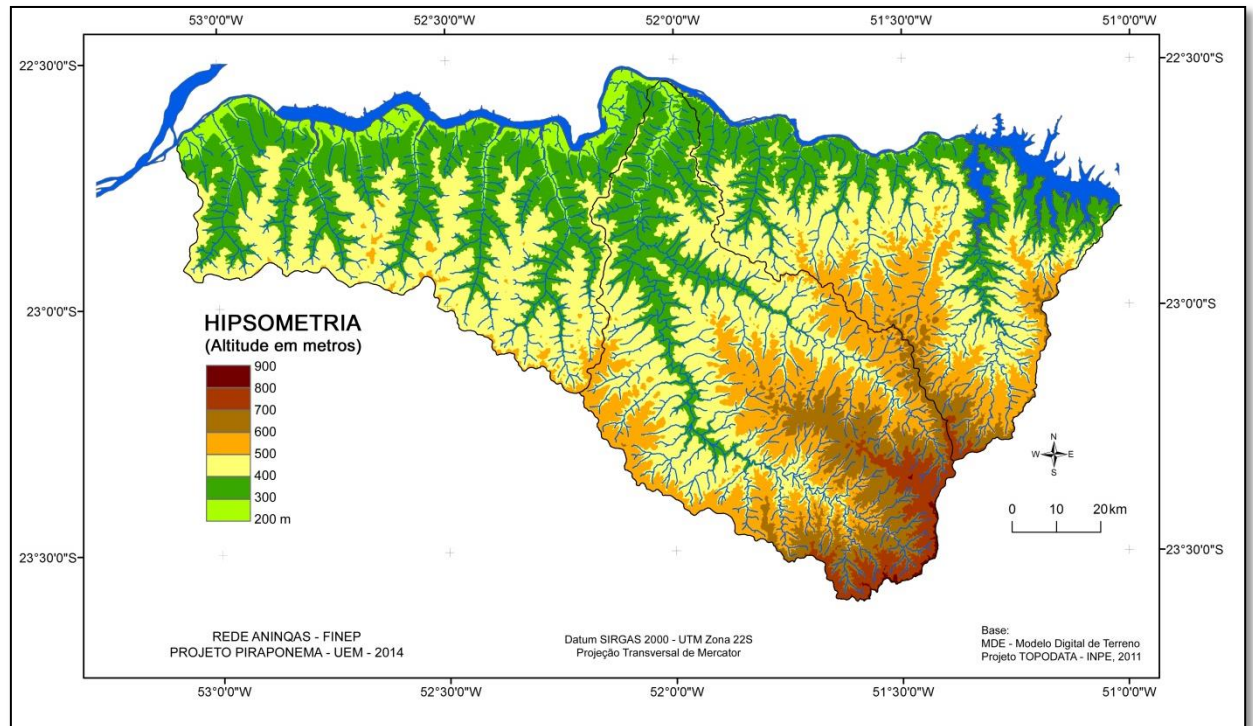


Fonte: Projeto Piraponema – UEM.

Conforme os estudos de Nóbrega et al. (2015), na Unidade Hidrográfica há uma integração entre o substrato geológico e a rede de drenagem, tanto nas litologias e estruturas quanto no trabalho de entalhe produzido pela drenagem, que se reflete no relevo. Ainda segundo os autores, na maior parte da área as altitudes (Figura 6) variam entre 300 e 500 metros, e a morfologia é predominantemente constituída por colinas amplas a médias, apresentando geralmente vertentes longas e de declividades fracas.

As altitudes mais elevadas, que em alguns locais ultrapassam os 900 metros, como o caso das nascentes do rio Pirapó, ocorrem no setor leste e sudeste da área, principalmente nos divisores de águas entre as bacias hidrográficas dos rios Pirapó e Ivaí. Nesses setores, o relevo apresenta vertentes mais curtas e declividades maiores.

Figura 6 – Hipsometria da Unidade Hidrográfica do Piraponema.



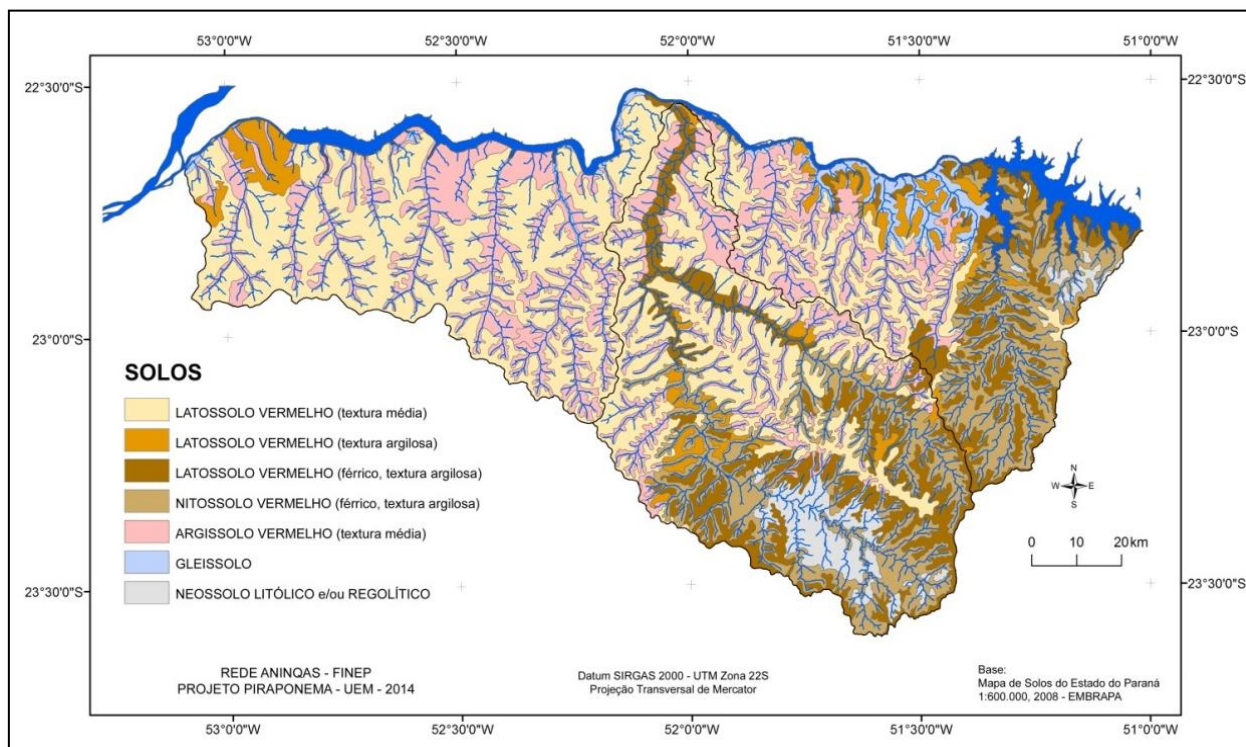
Fonte: Projeto Piraponema – UEM.

A cobertura pedológica reflete, também, os aspectos gerais do relevo e do substrato geológico (Figura 7). Para a escala mapeada, é constituída predominantemente por Latossolos Vermelhos Distróficos, associados aos Argissolos Vermelhos Distróficos na área de ocorrência das rochas sedimentares areníticas, enquanto que os Latossolos Vermelhos Distroféricos, associados aos Nitossolos Vermelhos Eutroféricos ocorrem sobre os basaltos. Ao longo de vários cursos d'água aparecem os Gleissolos, tendo, contudo, nessa escala, maior representatividade na bacia hidrográfica do Paranapanema III. Manchas de Neossolos Litólicos são observadas em áreas de relevo mais dissecado, como aquela no setor da alta bacia do Rio Pirapó.

Além disso, na Unidade Hidrográfica, a cobertura pedológica associada com as rochas areníticas do Grupo Bauru, apresenta textura mais arenosa e/ou média, predominando na sua composição grãos de areia (quartzo) enquanto que quando ocorre sobre o Grupo São Bento, nos basaltos, a textura é argilosa ou muito argilosa, com partículas muito finas de argila. Segundo Fasolo et al. (1988), essa relação da textura da cobertura pedológica está diretamente ligada à fertilidade e vulnerabilidade aos processos erosivos, pois os solos de

textura argilosa e muito argilosa são naturalmente mais férteis e menos suscetíveis a erosão, enquanto que os de textura média têm fertilidade mais baixa e são relativamente mais suscetíveis à erosão.

Figura 7– Solos na Unidade Hidrográfica do Piraponema.



Fonte: Projeto Piraponema – UEM.

3.3. As condições climáticas

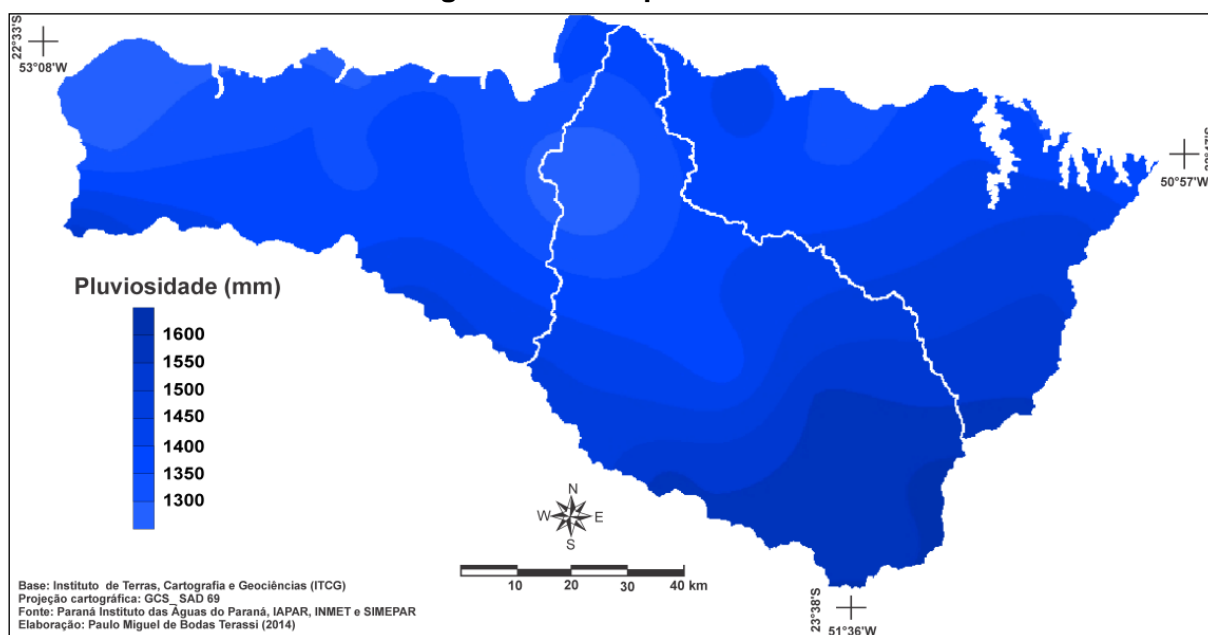
Para a região Norte e Noroeste do Paraná, onde estão inseridas as bacias hidrográficas do Paranapanema III, Pirapó e Paranapanema IV, os estudos de Cavaglione et al (2000) definiram, conforme a classificação de Köppen (1918) que a tipologia climática dessas regiões é definida com de clima Cfa (subtropical quente), por apresentarem temperatura média no mês mais quente acima de 22°C e temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C, com verões quentes e geralmente chuvosos, inverno com geadas pouco frequentes e sem estação seca definida.

Em estudo mais detalhado, Terassi e Silveira (2013) identificaram uma nova tipologia climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó, a Am (Tropical com inverno seco), para as porções de menores cotas altimétricas, onde a

temperatura média do mês mais quente encontra-se acima de 22°C e a temperatura média do mês mais frio entre 18° e 22°, com verão chuvoso e redução da precipitação nos meses de inverno. Assim, pela nova classificação desses autores, a bacia hidrográfica do Pirapó apresenta duas tipologias climáticas: Cfa e Am.

Além disso, as condições climáticas apontadas pelos estudos de Terassi (2015) demonstram que a precipitação pluviométrica da área tem uma média anual que varia de 1250 mm a 1600 mm (Figura 8). Em relação à distribuição espacial da precipitação pluviométrica, em todas as estações as chuvas são mais abundantes a montante, no setor sul, sudoeste e sudeste, e mais reduzidas à jusante, na porção norte e noroeste. A estação mais chuvosa é o verão, seguida pela primavera, outono, já o inverno é a estação mais seca (TERASSI, SILVEIRA, OLIVEIRA JÚNIOR, 2017).

Figura 8 – Distribuição espacial da média anual de pluviosidade na Unidade hidrográfica do Piraponema.



Fonte: Terassi (2015).

3.4. Uso da terra e aspectos socioeconômicos

A Unidade Hidrográfica do Piraponema abriga uma população de 1.367.173 habitantes, em 57 municípios (Tabela 1), sendo que na bacia hidrográfica do rio Pirapó está a maior concentração de habitantes, com 69,98%, esta bacia também se destaca nos aspectos econômicos, pois concentra de maneira acentuada o PIB (Produto Interno Bruto) da Unidade, devido ao município polo de Maringá (IBGE, 2013, GODOY, 2015).

Tabela 1 – Municípios da Unidade Hidrográfica e suas respectivas bacias hidrográficas.

Unidade Hidrográfica do Piraponema		
Parapanema IV	Pirapó	Parapanema III
Alto Paraná	Ângulo	Alvorada do Sul
Cruzeiro do Sul	Apucarana	Bela Vista do Paraíso
Diamante do Norte	Arapongas	Cafeara
Guairaçá	Astorga	Cambé
Inajá	Atalaia	Centenário do Sul
Itaúna do Sul	Cambira	Florestópolis
Jardim Olinda	Colorado	Guaraci
Loanda	Flórida	Lupionópolis
Nova Esperança	Iguaraçu	Miraselva
Nova Londrina	Itaguajé	Nossa Senhora das Graças
Paranapoema	Jaguapitã	Porecatu
Paranavaí	Jandaia do Sul	Prado Ferreira
Santo Antônio do Caiuá	Lobato	Primeiro de Maio
São João do Caiuá	Mandaguaçu	Santa Inês
Terra Rica	Mandaguari	Santo Inácio
	Marialva	
	Marilena	
	Maringá	
	Munhoz de Melo	
	Paranacity	
	Pitangueiras	
	Presidente Castelo Branco	
	Rolândia	
	Sabáudia	
	Santa Fé	
	Sarandi	
	Uniflor	

Conforme apontam os estudos de Godoy e Sousa (2012) o PIB total dos municípios compreendidos (inteiramente ou parcialmente) na Unidade Hidrográfica era, em 2010, de R\$7.550.904,61 mil, em que 65% desse valor correspondia à bacia do Pirapó, seguida pela bacia do Paranapanema III, com 27,2% e o Paranapanema IV com apenas 7,4%. Outro aspecto abordado no estudo das autoras é o levantamento das propriedades agrícolas existentes na Unidade, que totalizaram na época 28.147 estabelecimentos.

Em relação ao tamanho, as pequenas propriedades correspondem a 80,8% do total de estabelecimentos, enquanto que 10,2% são propriedades classificadas como grande. Em relação à distribuição dos estabelecimentos agrícolas, 53,9% pertencem à bacia hidrográfica do rio Pirapó, 25,8% estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Paranapanema IV e 20,3% na bacia hidrográfica do rio Paranapanema III (GODOY e SOUSA, 2012).

Em relação ao uso da terra (Figura 9) é possível observar que há predominância de determinados tipos de atividades agropecuárias em alguns setores (Tabela 2).

Tabela 2 – Atividades agropecuárias nos municípios total ou parcialmente inseridos da Unidade Hidrográfica do Pirapanema.

	Paranapanema IV	Pirapó	Paranapanema III
Culturas	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
Temporária	140.665	533.460	229.229
Permanente	89.915	177.953	61.075
Pecuária	302.668	187.837	85.713
Outras	23.677	27.728	4.319
Total	556.925	936.978	380.336

Adaptado de Godoy e Sousa (2012).

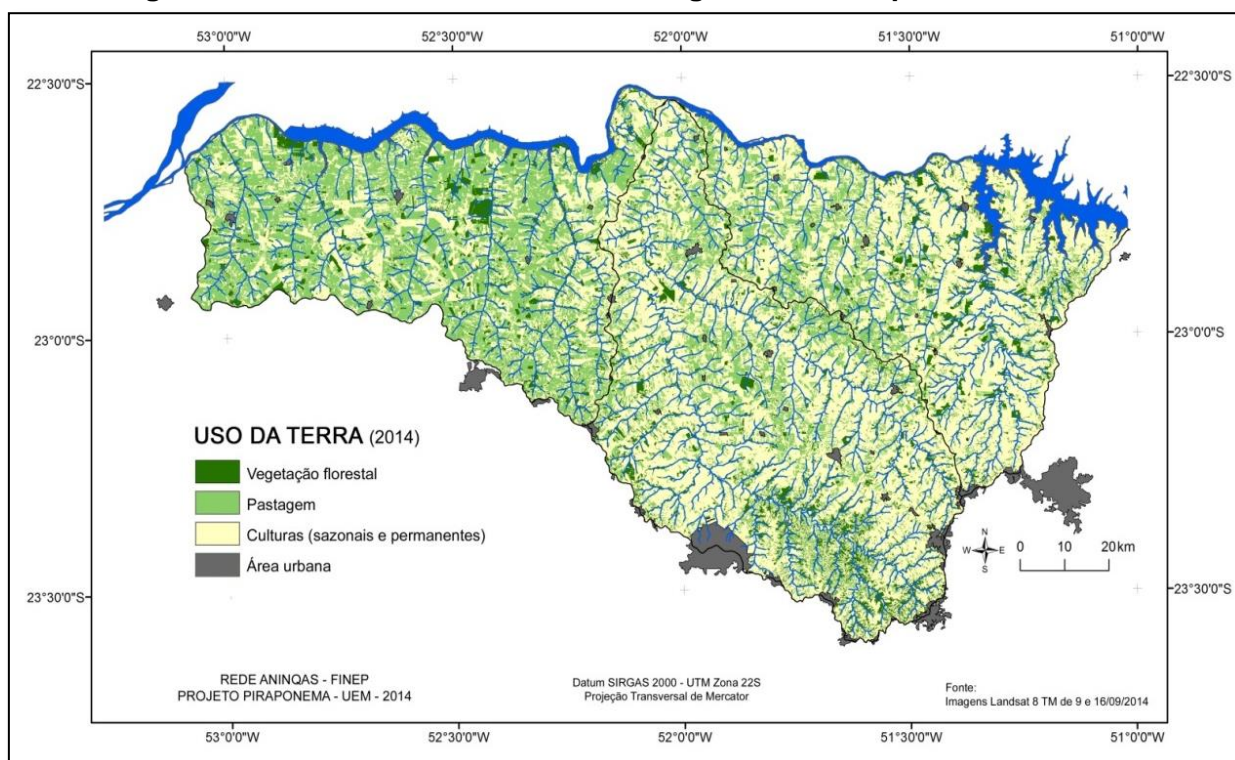
Assim, o uso da terra, como relatam Nóbrega et al. (2015), está diretamente refletido na associação com o substrato geológico, pois nas áreas de ocorrência das rochas areníticas, há uma maior predominância de pastagens e/ou cana de açúcar. Desse modo, na distribuição da atividade agrícola sobre solos de textura média, se destacam cultivos temporários como a cana de açúcar, mandioca, e cultura permanente de laranja na bacia hidrográfica do rio Paranapanema IV, enquanto que sobre esses solos, na

bacia hidrográfica do rio Pirapó se destaca o cultivo de colorau, porém de forma mais localizada.

Já nos solos de textura argilosa, sobre as rochas vulcânicas, há um comportamento distinto dos usos, quando comparado à textura média. Nessa área há um enfoque na produção de grãos, soja, trigo e milho, na bacia hidrográfica do rio Pirapó e na do rio Paranapanema III.

Vale ressaltar que as atividades agropecuárias também são refletidas pelo relevo: onde as declividades são mais acentuadas e os solos mais rasos, há o predomínio das pastagens, enquanto que, nas áreas com as declividades mais fracas, há uma maior utilização para o plantio, pois são locais mais favoráveis à mecanização. Conforme destacam Nóbrega et al. (2015), o uso da terra na Unidade é refletido em parte pelas características físicas do meio, substrato geológico, relevo e cobertura pedológica, que não são afetadas pelas condições climáticas variadas no interior da Unidade, ao menos de forma aparente, ou seja, neste caso, o clima não limita as atividades agropecuárias.

Figura 9 – Uso da terra da Unidade Hidrográfica do Piraponema.



Fonte: Projeto Piraponema – UEM.

3.5. Os compartimentos da paisagem

A bacia hidrográfica abriga no seu interior uma diversidade de paisagens, diferenciadas entre si por suas estruturas geológicas e/ou socioeconômicas (BONIFÁCIO, 2013).

Assim, considerando inicialmente os limites de cada bacia hidrográfica, Nóbrega et al. (2015) identificaram, para o conjunto da Unidade Hidrográfica, cinco grandes compartimentos ou unidades de paisagem (Figura 10). Tais unidades se distinguem, no interior de cada bacia hidrográfica, principalmente por variações significativas nas características geológicas e na cobertura pedológica associada, como se observa nos compartimentos identificados nas bacias do Pirapó e do Paranapanema III.

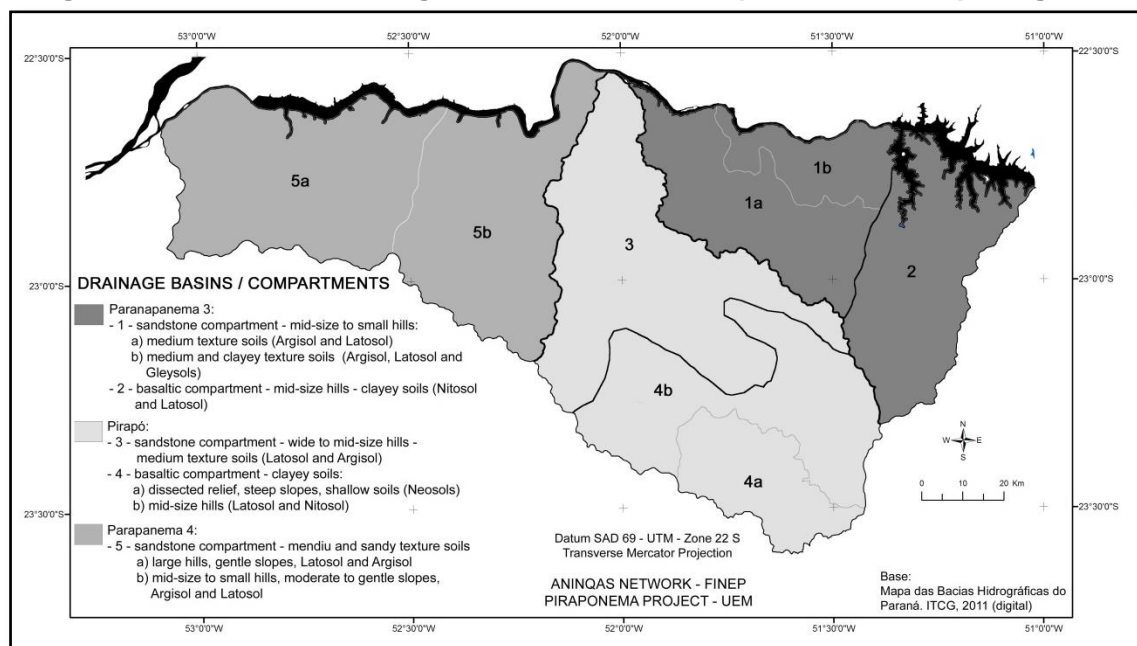
Nessas duas bacias se contrapõem compartimentos basálticos recobertos por solos de textura argilosa e compartimentos areníticos recobertos por solos de textura arenosa/média. Entretanto, na bacia do Pirapó, no compartimento basáltico, uma variação no grau de dissecação do relevo, que também se reflete na organização da cobertura pedológica, levou à identificação de dois subcompartimentos: um no setor de alta bacia, onde o grau de dissecação é mais acentuado e a presença de Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos é expressiva; outro onde dominam as colinas médias recobertas por Latossolos e Nitossolos de textura argilosa.

Na bacia do Paranapanema III, no compartimento arenítico, uma variação gerada pelo contato com as rochas basálticas também levou à divisão em subcompartimentos. O mais extenso e característico tem o substrato constituído pelos arenitos das formações Santo Inácio e Adamantina, recoberto por Argissolos e Latossolos de textura arenosa/média. O outro, na zona de contato, os solos são de textura argilosa ou muito argilosa, Nitossolos predominantemente, e, condicionados pela condição topográfica mais baixa e proximidade do rio Paranapanema, há a ocorrência em maior extensão de solos hidromórficos, os Gleissolos.

A bacia do Paranapanema IV é homogênea quanto aos aspectos geológicos e pedológicos, pois nela dominam os arenitos da Formação Caiuá, e solos de textura arenosa/média. Tal fato levou Nóbrega et al. (2015) a considerarem aí apenas um grande compartimento de paisagem. Entretanto,

as pequenas variações na densidade de drenagem, mas que se refletem no grau de dissecação do relevo e na organização da cobertura pedológica, desse modo, os autores realizaram a distinção de dois subcompartimentos: um a leste, relativamente mais dissecado e onde os Argissolos aparecem associados aos Latossolos, mas ocupam maior extensão ao longo das vertentes; outro a oeste, menos dissecado, onde os Latossolos dominam as vertentes e os Argissolos ficam mais restritos às partes baixas das encostas.

Figura 10 – As bacias hidrográficas e os seus compartimentos de paisagem.

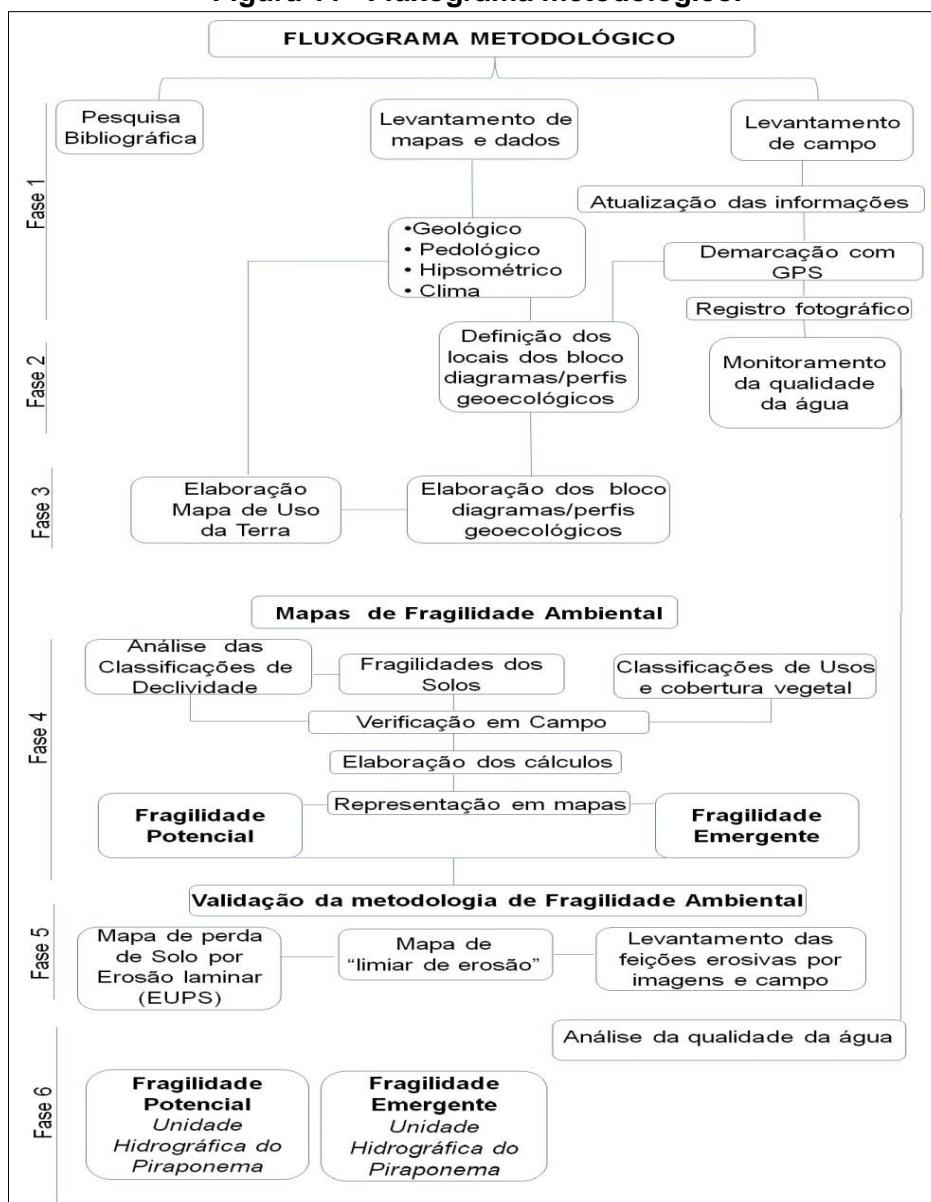


Fonte: Nóbrega et al. (2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa está vinculada ao projeto multidisciplinar “Rede de Monitoramento da Bacia dos rios Pirapó, Paranapanema III e IV” e, no seu desenvolvimento, foram empregadas às cartas temáticas e, parcialmente, as observações realizadas durante a execução do projeto maior. Nesse contexto, a pesquisa aqui apresentada, foi desenvolvida em cinco fases (Figura 11).

Figura 11– Fluxograma metodológico.



4.1. Fase 1

A primeira fase consistiu em revisão bibliográfica, com temas de interesse da tese, levantamento de dados da área de estudo e de produtos cartográficos, gerados no desenvolvimento do Projeto Piraponema – UEM (2014).

Em paralelo, foi realizado o levantamento inicial da área, com diversas missões em campo, que ocorreram ao longo dos anos de 2014 a 2018. As missões em campo tiveram por objetivo percorrer e reconhecer as três bacias hidrográficas e as suas unidades de paisagem internas (NÓBREGA et al. 2015), além de fazer o controle e aferição dos documentos cartográficos gerados. Nessas missões procurou-se, também, identificar as relações existentes entre uso da terra, o relevo, as classes de solos, o substrato geológico e a ocorrência de processos erosivos.

Para os levantamentos de campo foram utilizados os seguintes equipamentos e *softwares*:

- GPS Garmin Oregon 550;
- Máquinas fotográficas Nikon Profissional e Canon com GPS;
- Notebook;
- *Softwares*: Global Mapper 19 e Play Memories Home (localização das fotografias de campo em imagens de satélite);

4.2. Fase 2

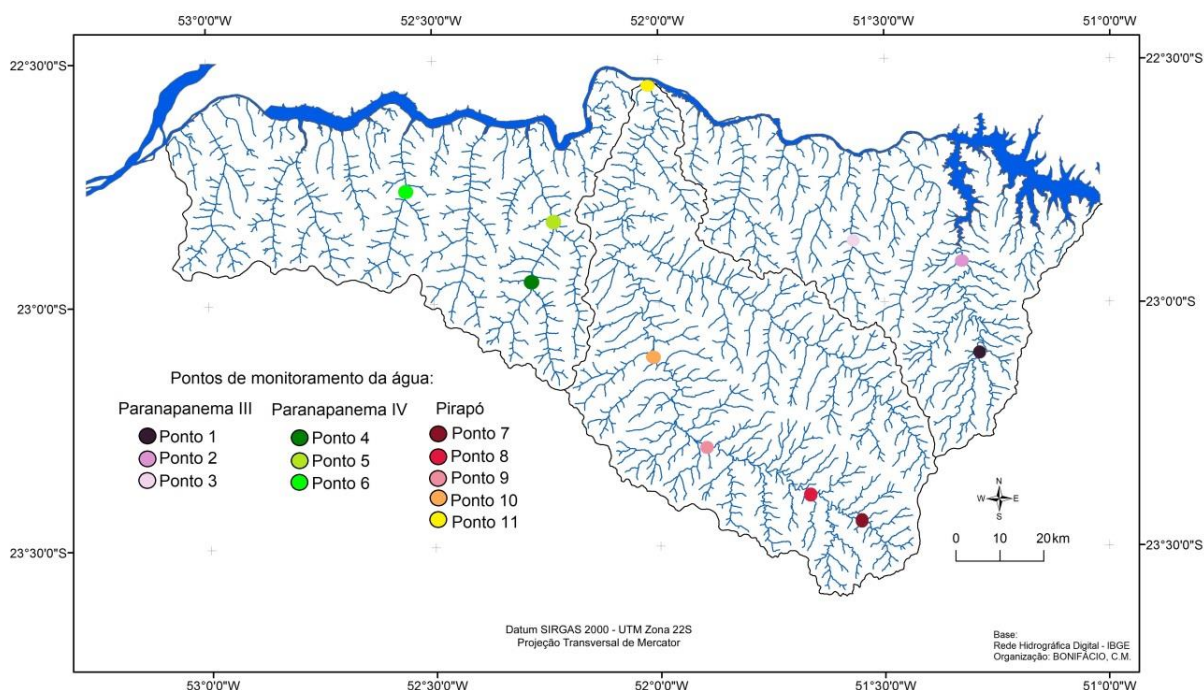
Para a segunda fase, os dados dos documentos cartográficos pesquisados e aqueles obtidos em campo serviram de base para a análise integrada dos elementos que compõem a base da metodologia (relevo, solos e uso das terras), e possibilitaram a seleção dos locais, mais representativos, para os blocos diagramas e perfis geocológicos, como propõem Richard (1989) e Monteiro (2001).

O monitoramento da qualidade da água foi realizado, com a participação efetiva (coleta e análises laboratoriais) da autora, nos pontos pré-estabelecidos pelo projeto multidisciplinar (Figura 12), que considerou para a sua locação à facilidade de acesso, ao longo das bacias hidrográficas

analisadas e a sua localização no contexto da compartimentação em unidades de paisagem realizada. Na presente pesquisa, foram considerados 11 pontos de monitoramento (Figura 12).

Os dados do monitoramento da qualidade da água tiveram aqui o objetivo de verificar como as relações entre os aspectos naturais e os aspectos antrópicos se refletem nos recursos hídricos locais.

Figura 12 – Localização dos pontos de monitoramento na Unidade Hidrográfica do Pirapanema.



Para a determinação da qualidade da água, as amostras de água foram coletadas e analisadas mensalmente, durante todo o período de 2014, a fim de conseguir evidenciar a variação das estações do ano e do calendário agrícola. Nas missões de campo, as coletas de água nas bacias hidrográficas do Paranapanema III e Paranapanema IV eram realizadas no mesmo dia, enquanto que as da bacia hidrográfica do Pirapó em outro momento, devido a grande extensão do trajeto percorrido.

As amostras de água foram coletadas a partir de pontes, pelo método composto. Após a coleta, as amostras eram acondicionadas em recipientes de polietileno tereftalato (PET) e frascos de vidro (previamente lavados). Para a análise do parâmetro microbiológico, as amostras eram acondicionadas em

frascos schott, previamente esterilizados. Após a coleta e acondicionamento, as amostras eram mantidas refrigeradas em recipientes térmicos com gelo, acidificadas com ácido nítrico ou sulfúrico, de acordo com a metodologia APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995). As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química, na Universidade Estadual de Maringá, Maringá –PR.

Todas as análises foram feitas em duplicata, em que os resultados apresentados correspondem à média dos valores, todavia, quando ocorria discrepância, entre os valores da primeira e segunda duplicata, era realizada uma terceira leitura para contraprova. Os resultados obtidos foram comparados e discutidos conforme a Resolução CONAMA nº357/2005 para rios Classe II.

Os parâmetros analisados foram determinados de acordo com os seguintes procedimentos:

4.2.1. pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura da água

A leitura destes parâmetros foi realizada por sonda multiparâmetros, da marca HACH, em campo, no momento da coleta, e as unidades de leitura foram: mg L⁻¹, °C, respectivamente.

4.2.2. Sólidos Dissolvidos e Totais

A determinação da concentração de sólidos dissolvidos e totais seguiu o método gravimétrico, descrito pelo APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).

4.2.3. Turbidez

Os valores da turbidez da água foram obtidos por o turbidímetro APTO 1000II, em laboratório. As leituras eram apresentadas em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

4.2.4. Nitrogênio Amoniacal

A determinação das concentrações de Nitrogênio Amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) seguiu a metodologia descrita do equipamento Portable Datalogging Spectrophotometer HACH DR/2010, por meio “Nessler Method”.

4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Para a concentração de DBO utilizou-se o equipamento BODTrak™ II da HACH, conforme metodologia descrita por APHA (1995). A unidade de leitura é mg L^{-1} .

4.2.6. Coliformes Termotolerantes

A determinação dos coliformes termotolerantes foi realizada por meio das placas para contagem de coliformes fecais da 3M Petrifilm, e foram quantificados segundo o método AOAC (991.14). A representação dos resultados é dada em unidades formadoras de colônias por 100 mg/L de amostra, ou seja, UFC 100 mg L^{-1} .

4.2.7. Fósforo Total

As concentrações de fósforo total foram determinadas segundo o método de digestão com persulfato, com a metodologia descrita pelo equipamento Portable Datalogging Spectrophotometer HACH DR/2010.

4.2.8. Índice do Estado Trófico (IET - P)

O Índice do Estado Trófico classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, conforme apresentado na Tabela 3

Para o cálculo desse índice utilizou-se da metodologia modificada por Lamparelli (2004), o IET (P), onde, por meio da determinação da concentração de fósforo total é possível calcular a medida do potencial de eutrofização, conforme a Equação:

$$IET = 10. \left\{ 6 - \left(\left(0,42 - 0,36. \frac{\ln(PT)}{\ln(2)} \right) \right) \right\} - 20 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

IET - Índice de Estado Trófico

PT - Concentração de fósforo total (mg.m⁻³)

Tabela 3 – Índice do Estado Trófico (IET).

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
≤47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
47<IET≤52	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52<IET≤59	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59<IET≤63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63<IET≤67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
IET>67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Adaptado de LAMPARELLI (2004) e CETESB (2007).

4.2.9. Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação, na Unidade Hidrográfica do Piraponema, foram utilizados como apoio, na compreensão dos parâmetros de qualidade da água, durante o período de monitoramento. Foram obtidos pelo Instituto de Águas do Paraná. Dentre os postos pluviométricos estão distribuídos nas bacias hidrográficas (TERASSI, 2015), optou-se pela seleção dos postos com influência nos pontos de coleta de água, de forma geral. As informações geográficas dos postos pluviométricos estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Localização dos postos pluviométricos nas bacias hidrográficas.

Bacia hidrográfica do Paranapanema III				
Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2351031	Cambé	23° 03' 58"	51° 15' 40"	438
2251027	Bela Vista do Paraíso	22° 57' 00"	51° 12' 00"	600
2251038	Alvorada do Sul	22° 46' 00"	51° 13' 59"	373
2251023	Porecatu	22° 45' 17"	51° 22' 26"	425
2251069	Centenário do Sul	22° 49' 22"	51° 35' 44"	500
Bacia hidrográfica do Paranapanema IV				
2252019	Paranapoema	22° 39' 39"	52° 07' 59"	229
2252024	Santo Antônio do Caiuá	22° 44' 04"	52° 20' 38"	327
2252017	Paranavaí	22° 39' 10"	52° 31' 05"	333
2252022	Terra Rica	22° 43' 50"	52° 36' 59"	437
Bacia hidrográfica do Pirapó				
2351048	Arapongas	23° 24' 00"	51° 25' 59"	793
2351053	Rolândia	23° 12' 00"	23° 12' 00"	653
2351051	Astorga	23° 14' 14"	51° 39' 41"	572
2351013	Maringá	23° 25' 00"	51° 57' 00"	542
2351050	Iguaçu	23° 10' 59"	51° 49' 59"	581
2351065	Santa Fé	23° 02' 25"	51° 48' 20"	485
2352039	Nova Esperança	23° 13' 19"	52° 20' 59"	497
2251033	Colorado	22° 53' 53"	51° 53' 17"	487
2252010	Paranacity	22° 49' 59"	52° 06' 00"	250
2252013	Jardim Olinda	22° 33' 03"	52° 02' 11"	318

4.3. Fase 3

Nesta fase foi elaborado o mapa de uso das terras (Figura 13), em associação com os mapas de declividades e de solos, para a obtenção dos mapas de fragilidade ambiental.

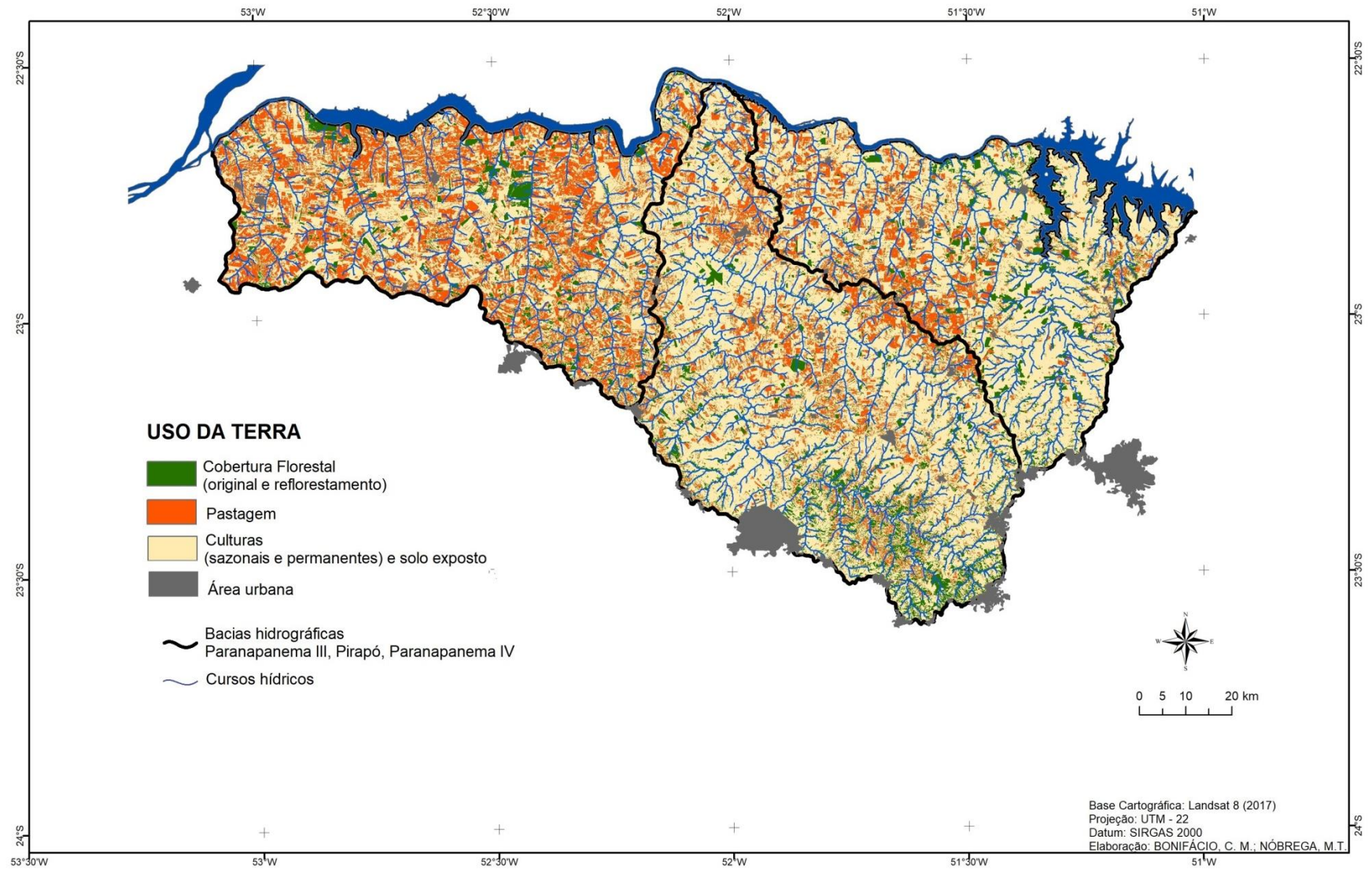
O mapa de uso das terras foi gerado por classificação de imagens Landsat 8, captadas em 06/07/2017 e 01/09/2017, cenas LC8223076201718 e LC82220762017244, respectivamente, pelos sensores OLI e TIRS disponibilizadas pela USGR (US Geological Survey).

A escolha dessas datas ocorreu pela qualidade das imagens – ausência de nuvens – e por serem mais atualizadas. Desse modo, com o auxílio do *software* Arcgis 9.0, utilizou-se o método de polinômios de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo com RMS (*Root Mean Square*) inferior a 0,5 pixels, na projeção *UTM* e Datum SIRGAS 2000. Logo após, foi recortada a área da Unidade Hidrográfica do Piraponema e coletadas amostras representativas de cada classe de uso, para uma classificação não supervisionada através do método “*Iso Cluster*”, que posteriormente teve cores atribuídas e foi retrabalha em:

- Cobertura vegetal (nativa ou de reflorestamento);
- Pastagem;
- Culturas (sazonais ou permanentes) e solo exposto;
- Área urbana.

Todavia é importante destacar que, para a comparação do uso da terra com os parâmetros de qualidade de água, fez-se uso do mapa desenvolvido pelo Projeto Piraponema, da data de 2014 (Figura 9), uma vez que coincidiu com o período de monitoramento da água.

Figura 13 – Mapa de uso da terra.

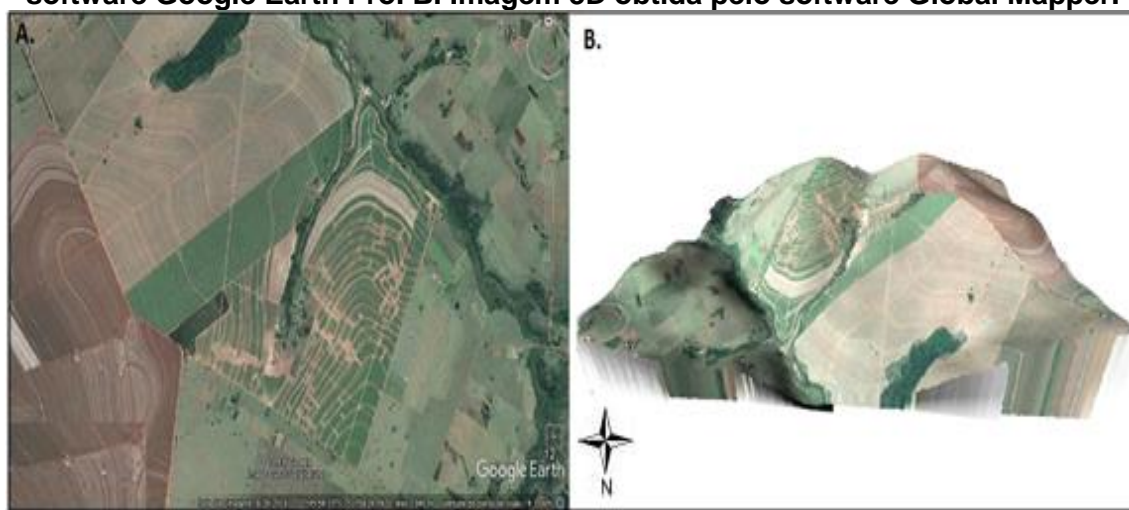


Em paralelo, foram compiladas e interpretadas as informações obtidas da área, para uma caracterização geral. A partir dessa caracterização foram elaborados os blocos diagramas e perfis geocológicos.

Para a elaboração dos blocos diagramas, foram selecionadas imagens de interesse, pelo *software* Google Earth Pro, com aproximação de até 600 metros, direcionadas ao norte, entre os anos de 2001 a 2018 (para a identificação e, eventualmente, acompanhamento da evolução de processos erosivos), conforme a qualidade da imagem.

Essas imagens foram demarcadas no próprio *software* Google Earth Pro e posteriormente georreferenciadas, nas imagens SRTM, anteriormente descritas, no *software* Global Mapper 19. Após o georreferenciamento das imagens juntamente com as imagens SRTM, por meio da ferramenta “3D View” foi possível criar o bloco diagrama, que posteriormente foi editado no *software* Adobe Photoshop 5.5 (Figura 14).

Figura 14 – Exemplo da elaboração de um bloco diagrama: A. Imagem plana pelo software Google Earth Pro. B. Imagem 3D obtida pelo software Global Mapper.



O emprego dos perfis geocológicos, que são formas de representação da estrutura geocológica da paisagem nas dimensões horizontal e vertical, visou representar a posição dos pontos de coleta e monitoramento da água no contexto da paisagem local.

A construção dos perfis foi realizada com o emprego do *software* Global Mapper 19, sobre uma base hipsométrica gerada a partir de imagem SRTM, e as informações geocológicas foram adicionadas com o auxílio do

software Adobe Photoshop 5.5. As bases para a determinação dos elementos que estruturam a paisagem ao longo dos perfis foram os seguintes mapeamentos: geologia (1:250.000), solos (1:250.000), além da carta de uso da terra, descrita anteriormente.

4.4. Fase 4, Fase 5 e Fase 6

Essas fases serão descritas detalhadamente no Item 5 - *Resultados e Discussão*.

Na fase 4 deu-se início os processos de elaboração das cartas de Fragilidade Ambiental, buscando estabelecer os parâmetros mais adequados para a Unidade Hidrográfica, onde:

- Solos: buscou-se reformular a proposta apresentada por Ross (1994), para a classificação da fragilidade dos solos, tendo em vista os valores da erodibilidade dos solos paranaenses, e comparação com outros autores (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1975; CAVALIERI, 1994; SILVA; ALVARES, 2005; MANNIGEL et al., 2005), juntamente com a realidade observada em campo.

- Declividade: foram comparadas diferentes propostas para a definição das classes de declividades: com a aplicação do recurso estatístico de “Quebra Natural” (JENKS, 1967); a de YOUNG, 1972; ROSS, 1994; FAO, 2006; EMBRAPA, 2006; e a empregada na determinação da Capacidade de Uso das Terras (LEPSCH et al, 2015). Foram elaboradas cartas de declividade aplicando as diferentes formas de classificação, a fim de avaliar qual seria a mais adequada para a aplicação na adaptação da metodologia para a determinação da fragilidade ambiental na área de estudo.

- Cobertura vegetal: analisaram-se vários trabalhos associados ao uso e manejo e da Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS (STEIN et al., 1987; BRITO et al., 1998; RIBEIRO e ALVES, 2007; SILVA, 2007; MACHADO et al., 2009), assim como o levantamento, frente aos processos erosivos em campo, para a reavaliação do grau de proteção do solo conferido pela cobertura vegetal.

Assim, com as metodologias eleitas para solos, declividade e cobertura vegetal, procedeu-se a elaboração do cálculo da Fragilidade Ambiental (potencial e emergente) e a realização dos mapas.

E, na fase 5 foi realizada a validação do método proposto:

Elaborou-se um mapa de perda de solos, aplicando-se a EUPS, e foi desenvolvida uma proposta de Carta de “limiar de erosão”, a fim de comparar as perdas de solo na Unidade Hidrográfica com as áreas apresentadas nas cartas de Fragilidade Ambiental:

Carta de perda de solo por erosão

A carta de perda de solo por erosão foi elaborada aplicando-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) de Whischmeier e Smith (1978):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

A - perda de solo;

R - erosividade das chuvas;

K - erodibilidade dos solos;

L - comprimento da rampa;

S - declividade;

C - uso da terra;

P - práticas conservacionistas.

Os dados de erosividade (R) foram obtidos no trabalho apresentado por Terassi (2015) que os calculou aplicando a equação de Rufino, Biscaia e Mertem (1993).

A erodibilidade dos solos (K) foi determinada com a aplicação da expressão de Bouyoucos (1935):

$$K = \frac{(\%areia + \%silte)/(\%argila)}{100} \quad (\text{Equação 3})$$

Os dados granulométricos empregados para o cálculo da erodibilidade foram àqueles apresentados para o horizonte A, no Levantamento de Solos do Estado do Paraná (IAPAR, 1984). Considerou-se para esse cálculo apenas os perfis que ocorriam na área de estudo e/ou aqueles que, mesmo fora da

unidade, pertenciam à mesma classe de solos e eram derivados de rochas semelhantes às encontradas na unidade hidrográfica.

Para a determinação dos parâmetros L e S foram realizados vários testes com diferentes metodologias, mas a que mais se mostrou adequada para a escala de estudo foi a de Bertoni e Lombardi Neto (1990):

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

S - % de declividade;

L - comprimento da rampa.

Os valores para o parâmetro C (uso da terra) foram compilados a partir da consulta a diversos trabalhos (BERTONI, LOMBARDI NETO, 1990; BRITO et al., 1998; RIBEIRO; ALVES, 2007; LIMA, 2003; MACHADO et al., 2009). Para os valores do parâmetro P consideraram-se aqueles apresentados por Bertoni e Lombardi Neto (1990) (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores para uso da terra e práticas conservacionistas.

Uso	Valor C	Valor P
Floresta	0,00004	0,00004
Culturas	0,20	0,50
Pastagem	0,010	0,20

Por fim, a carta de perda de solo por erosão foi elaborada com o auxílio do *software* Arcgis 9.3, empregando-se principalmente a ferramenta “Álgebra de Mapas”.

Carta de tolerância de perda de solo

A carta de tolerância de perda de solo foi obtida com o emprego da carta de solos da Unidade Hidrográfica, associando-se a cada classe de solos mapeada dados de tolerância de perdas de solo apresentados para diferentes classes de solos do estado de São Paulo por Bertoni e Lombardi Neto (1990). Segundo esses autores (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990, p. 267):

“A expressão tolerância de perdas de solo é usada para designar a intensidade máxima de erosão do solo que permitirá

a um elevado nível de produtividade manter-se econômica e indefinitivamente.”

O grau de tolerância depende, principalmente, das propriedades dos solos, profundidade e topografia. Em um estudo realizado para os solos do estado de São Paulo, Lombardi Neto e Bertoni (1975) concluíram que a tolerância às perdas de solo varia aí de 4,5 a 15t/ha/ano. Indicam, ainda, que solos profundos e bem drenados têm valor de tolerância mais elevado, enquanto que solos pouco profundos apresentam um valor de tolerância mais baixo.

Desse modo, dada a similaridade entre os solos do Estado de São Paulo e aqueles que ocorrem na unidade hidrográfica de estudo, aplicou-se os limites de tolerância de perda de solo estabelecidos pelos autores (acima referidos) para cada classe de solo. Essa carta foi elaborada, como no caso anterior, com o auxílio do Arcgis 9.3.

Fez-se ainda um levantamento das áreas com feições erosivas em campo e por imagens de satélite. Neste sentido, uma atenção especial foi dada ao levantamento das diferentes formas de erosão que ocorrem nas vertentes e margens dos cursos d'água, fazendo-se um amplo registro fotográfico e de localização desses fenômenos. Para a localização dos pontos e sua associação e integração com os mapas de Fragilidade Ambiental, em campo, recorreu-se ao emprego de GPS acoplado ao notebook, e ao *software* Global Mapper 19. Assim, à medida que se faziam os caminhamentos, foi possível fazer a checagem das informações dos mapas com aquelas levantadas em campo.

Já o levantamento por imagens de satélite, foi realizado para as áreas de difícil acesso e, por em de diferentes estágios de cultivos, visando acompanhar a evolução dos processos erosivos. Para isso, utilizaram-se as imagens do Google Earth Pro, com aproximação de 600 metros, para tornar uma medida padrão da visualização dos processos, visando aferir os locais apontados com maior fragilidade, pela metodologia proposta. Dada a extensão da área essas observações foram aplicadas em um dos subcompartimentos, da bacia hidrográfica do Paranapanema III, delimitados por Nóbrega et al. (2015).

Fase 6

Os resultados dos parâmetros do monitoramento da qualidade de água foram computados e transformados em gráficos com a aplicação do *software* OriginLab Pro v8.0. Para efeito de comparação dos resultados, adotou-se a Resolução CONAMA nº357/2005, que estabelece padrões de qualidade da água, para cursos d'água Classe II e III. Discutiram-se também os dados de pluviosidade dos postos próximos aos pontos de coleta de água, a fim de relacionar os valores obtidos aos parâmetros de qualidade.

Os perfis geoecológicos, descritos anteriormente, foram empregados na descrição do entorno dos pontos de coleta, onde se considerou o substrato rochoso, a cobertura pedológica e o uso de solo. E, para demonstrar as diferenças entre o resultado dos parâmetros de qualidade da água, dentre as bacias analisadas, fez-se a média de cada parâmetro, por todo o período de monitoramento, para cada ponto de coleta de água.

Após validar a metodologia, foram apresentados os mapas finais, de Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente, desenvolvidos para a Unidade Hidrográfica do Piraponema.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da apresentação dos resultados obtidos nesta pesquisa faz-se necessário retomar a metodologia original proposta por Ross (1994), objeto desta adaptação.

A metodologia proposta por Ross (1994), como já foi referido, identifica unidades ecodinâmicas estáveis e unidades ecodinâmicas instáveis. As unidades ecodinâmicas estáveis correspondem às áreas que se encontram sob cobertura vegetal original, mas que são, entretanto, hierarquizadas a partir da fragilidade potencial que lhes é conferida pelos atributos que definem a intensidade de dissecação do relevo (declividade ou distância interfluvial, dependendo da escala do trabalho), e aqueles relativos à suscetibilidade à erosão, conferidos pelos solos (tipos de solos).

As unidades ecodinâmicas instáveis correspondem às áreas transformadas pelo uso e ocupação e, como no caso anterior, são hierarquizadas em função da fragilidade emergente, neste caso, dada pelos atributos relativos ao relevo e aos solos, acrescentando-se a estes os efeitos do uso e ocupação.

Para os parâmetros relevo (declividade ou distância interfluvial), o autor definiu um grau de fragilidade, que varia de 1 a 5, categorizando-os como muito fraco (1), fraco (2), moderado (3), forte (4) e muito forte (5). Utilizou os mesmos critérios para definir o grau de proteção que a cobertura vegetal confere ao solo e, deste modo, facilitar ou evitar os efeitos da erosão. Neste caso o 1 representa o maior grau de proteção e o 5 o menor grau de proteção. O mapa de fragilidade é obtido a partir da integração de mapas topográficos e temáticos (morfológico ou de declividades, solos, uso da terra).

O resultado em mapa é expresso pela identificação das unidades ecodinâmicas estáveis ou instáveis e estas são, por sua vez, categorizadas em termos de fragilidade potencial ou emergente por meio de uma associação numérica, como indica o autor:

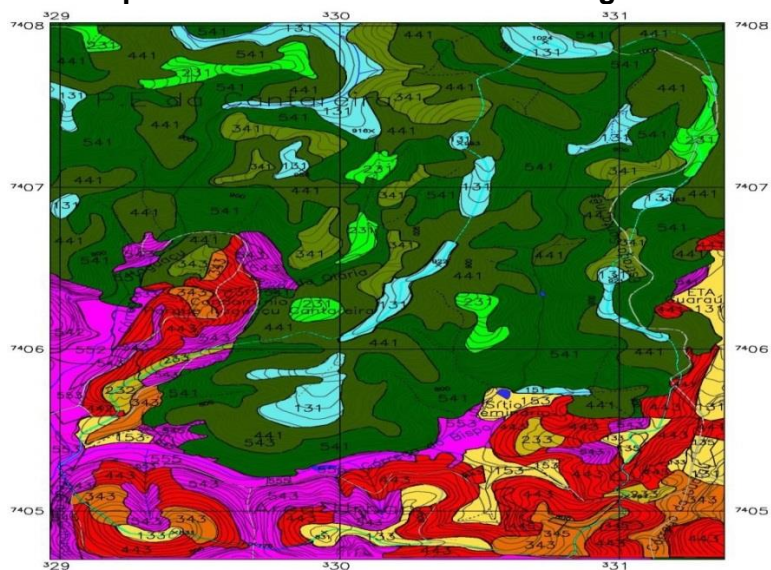
“A associação numérica representa um dígito para a intensidade de dissecação do relevo (de 1 a 5), outro para a suscetibilidade à erosão dos tipos de solos (de 1 a 5) do menos suscetível ao mais suscetível, outro dígito para o grau de proteção aos solos pela vegetação (natural ou cultivada),

também variando da mais protetora a menos protetora (1 a 5)” (ROSS, 1994, p.70).

Um quarto número pode ser acrescentado ao final, quando necessário, para informar sobre as características da distribuição pluviométrica, principalmente quando ocorrem variações significativas na área analisada.

Em relação à apresentação do resultado da metodologia de Ross, de forma cartográfica, são dispostos diversos números nas porções representativas de cada classe no mapa, como exemplo – se uma área se apresenta com classe de declividade fraca (2), com fragilidade de solo forte (4), com grau de proteção de cobertura vegetal muito baixa (5) e com comportamento pluviométrico de nível médio (3), a definição dessa área, apresentada no mapa, em uma porção, será de 2,4,5,3, ou seja, tem-se uma cartografia de difícil leitura e entendimento. Apresentam-se nas Figuras 15 e 16 um exemplo de aplicação dessa metodologia e legenda adotada, em pesquisa realizada por Massa e Ross (2012).

Figura 15 – Mapa realizado conforme a metodologia de Ross (1994).



Fonte: Massa e Ross (2012).

Figura 16 – Legenda do Mapa conforme metodologia de Ross (1994).

Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou de Instabilidade Potencial			Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente		
Grau de Fragilidade	Simbologia	Ocorrências na área de estudo	Grau de Fragilidade	Simbologia	Ocorrências na área de estudo
Muito Fraco		1313, 1513	Muito Fraco		1313, 1333, 1353
Fraco		2313	Fraco		2323, 2333
Médio		3413	Médio		3433, 3453
Forte		4413	Forte		4413, 4423, 4433, 4453,
Muito Forte		5413, 5513	Muito Forte		5413, 5423, 5433, 5453, 5523, 5533, 5553

Obs: O primeiro algarismo refere-se ao grau de fragilidade em função das classes de declividade; o segundo ao grau de fragilidade de acordo com o tipo de solo, o terceiro ao grau de proteção de acordo com o uso da terra/ cobertura vegetal e o quarto ao grau de fragilidade de acordo com as características pluviométricas, conforme a tabela a seguir:

Fonte: Massa e Ross (2012).

Observa-se no exemplo acima que o grau de fragilidade representado pelas cores prende-se inicialmente à condição de instabilidade potencial ou emergente (unidades ecodinâmicas estáveis – tons verdes, ou instáveis – cores e tons vermelhos a amarelos). A variação dos tons das cores indica o grau de fragilidade, definido pela declividade, como indica a observação na base da legenda apresentada.

A adaptação dessa metodologia proposta visa, sobretudo, simplificar a representação, tornando-a mais objetiva e de fácil interpretação. Nesse processo procedeu-se a uma reavaliação dos parâmetros empregados e das formas de cálculo e enquadramento nas categorias de fragilidade.

Em pesquisa anterior (BONIFÁCIO, 2013) foi proposta uma forma alternativa para a obtenção do grau de fragilidade ambiental, potencial e emergente, que representasse a condição do conjunto integrado dos parâmetros analisados, dispensando-se a associação numérica, como prevê o método original. Os graus atribuídos à fragilidade do relevo e dos solos em face da erosão foram somados e a média obtida foi considerada como grau de fragilidade ambiental potencial desse conjunto.

Para a determinação da fragilidade ambiental emergente, foi acrescentada a essa média um índice que variou de 0 (cobertura florestal) a 1,0 (solo exposto), considerando-se o grau de proteção conferido ao solo. Abandona-se, desse modo, o reconhecimento de unidades ecodinâmicas estáveis ou instáveis e passa-se a considerar apenas a fragilidade ambiental potencial (gerada pelos atributos da declividade e dos solos) e a fragilidade emergente (gerada pela integração à fragilidade potencial dos efeitos da cobertura vegetal ou uso da terra). Neste processo são gerados dois mapas, um de fragilidade ambiental potencial e outro de fragilidade ambiental emergente, cuja comparação permite avaliar o grau de transformação e degradação imposto ao ambiente natural.

O procedimento, acima descrito, foi ajustado após a reavaliação dos parâmetros empregados e aplicado à Unidade Hidrográfica do Paranapanema III, Pirapó e Paranapanema IV (Piraponema). Os resultados foram comparados a outras formas de previsão de erosão, metodologicamente mais complexas, assim como com observações detalhadas e mapeamento (localização) de

feições erosivas em imagens de satélite e levantamentos de informações e registro fotográfico realizados em campo.

5.1. Reavaliação da metodologia

Como já foi apresentado, na metodologia original de Ross (1994) fica evidente a importância maior dada aos aspectos do relevo (declividade ou distância interfluvial), que acabam por definir o grau de fragilidade enquanto os outros atributos aparecem de forma complementar.

Na metodologia proposta, já na primeira abordagem (BONIFÁCIO, 2013), considera-se os solos e as declividades com igual importância, propondo-se assumir o grau de fragilidade inicialmente atribuído por Ross (1994) para cada um desses elementos, como um “peso” que somados e divididos por 2 definem o grau de fragilidade ambiental potencial.

No trabalho anterior, (BONIFÁCIO, 2013), justifica-se a valorização do elemento solo nessa avaliação de fragilidade por ele se constituir na “síntese das inter-relações entre os diversos elementos físicos e biológicos que compõe a paisagem num determinado espaço”. Enfatiza ainda que o solo incorpora a influência da rocha, do clima, da vegetação e dos fluxos hídricos condicionados pela topografia, dos organismos vivos, além das transformações desencadeadas pelo seu uso e manejo. A declividade, por seu turno, como atributo vinculado às formas do relevo, também interfere na organização e funcionamento da cobertura pedológica. Considera, por outro lado, que a declividade é um atributo da forma atual da vertente, que interfere na dinâmica dos fluxos hídricos, tanto em superfície quanto no solo, condicionando processos erosivos superficiais e movimentos em massa.

Assim, a possibilidade de avaliação conjunta desses dois parâmetros, viabiliza e facilita a elaboração de mapas de fragilidade ambiental potencial aplicando-se apenas uma representação das categorias em cores. A incorporação das informações relativas à cobertura do solo (grau de cobertura vegetal), também alteradas em relação à proposta original de Ross (1994), fornecem os graus de fragilidade ambiental emergente.

Apresenta-se, na sequência, a reavaliação desses parâmetros – declividade, solos e cobertura vegetal e proteção do solo.

5.1.1. Solos

Ross (1994) apresenta as classes de fragilidade ou erodibilidade dos solos com base no seu comportamento em face do escoamento concentrado e difuso. A classificação proposta está baseada, segundo o seu relato, nos resultados de pesquisas do IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, no IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná, nos estudos de Lombardi Neto e Bertoni (1975) e outros pesquisadores, além da sua própria experiência no desenvolvimento de pesquisas no Projeto Radambrasil e no Departamento de Geografia – USP.

Enfatiza, ainda, que os critérios utilizados consideram a textura, estrutura, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais. A classificação resultante é mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 – Classes de Fragilidade de Ross (1994).

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
1 - Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo textura argilosa.
2 – Baixa	Latossolo Vermelho e Vermelho amarelo textura média/argilosa.
3 – Média	Latossolo Vermelho amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambissolos.
4 – Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa, Cambissolos.
5 - Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas.

Fonte: Adaptado de ROSS (1994).

Além disso, Ross (1994) chama a atenção, também, para o comportamento diferenciado que os solos apresentam em relação ao escoamento difuso e ao escoamento concentrado. Ressalta que os solos de textura média, como é do conhecimento geral, sofrem mais com o escoamento concentrado, mas que as perdas de solo por escoamento difuso são maiores nos horizontes superficiais dos solos mais argilosos do segundo grupo.

Os levantamentos de campo realizados na área da Unidade Hidrográfica do Piraponema evidenciaram, de fato, uma maior ocorrência de formas e processos erosivos produzidos pelo escoamento concentrado na área

onde a cobertura pedológica é derivada da alteração dos arenitos (Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina).

Verificou-se também, entretanto, evidências generalizadas da ação do escoamento difuso, promovendo a redistribuição do material em superfície ao longo da vertente. Sobre os solos de textura argilosa, derivados da alteração dos basaltos (Formação Serra Geral), tanto sobre os Latossolos quanto sobre os Nitossolos a ocorrência desses processos é comparativamente bem menos evidente. Efeitos do escoamento concentrado foram, neste caso, observados em condições específicas – trilhas e sulcos em áreas de pastagem. Como na área domina o sistema de plantio direto, os efeitos do escoamento difuso foram verificados, em diversas situações, sobre a palhada e no acúmulo de água “barrenta” e de material mais argiloso junto às curvas de nível.

Essas observações de campo levantaram algumas questões sobre a classificação proposta por Ross (1994) para a fragilidade dos solos, principalmente com relação à posição dos Nitossolos. Os Nitossolos Vermelhos se apresentam, na Unidade Hidrográfica estudada, mais estáveis e menos suscetíveis aos processos erosivos do que os Latossolos Vermelhos textura média.

Com o objetivo de avaliar a aplicação e enquadramento dos solos nas classes de fragilidade sugeridas por Ross (1994) procedeu-se à determinação da erodibilidade dos solos dos principais grupos de solos que ocorrem na área de pesquisa.

A erodibilidade é uma propriedade do solo associada à suscetibilidade à erosão. Segundo Morgan (1986), a erodibilidade define a resistência do solo tanto à desagregação quanto ao transporte. Apesar da resistência do solo a erosão depender, em parte, da posição topográfica, declividade da vertente e do grau de distúrbio criado pelo homem nas operações de cultivo e manejo, conforme o autor, as propriedades físicas do solo são, ainda, as determinantes principais.

A erodibilidade está condicionada, deste modo, à textura do solo, estabilidade dos agregados, resistência, capacidade de infiltração, teor de matéria orgânica e características do complexo químico. A erodibilidade do solo é comumente expressa pelo fator K, que representa a perda de solo por unidade índice de erosividade (EI_{30}), medido no campo em uma parcela padrão

de solo. Dada a dificuldade de obtenção desse valor, como previsto originalmente, recorre-se frequentemente a formas indiretas de determinação da erodibilidade como as propostas por Bouyoucos (1935), o nomograma de Wischmeier et al. (1971), Lombardi Neto e Bertoni (1975) e Denardin (1990), entre outras.

Nesta pesquisa, para a determinação indireta da erodibilidade dos solos recorreu-se à aplicação da equação de Bouyoucos (1935). Para cada classe de solo, considerando-se a classificação atual do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013), determinou-se o valor médio da erodibilidade dos horizontes superficiais, obtido sobre o conjunto dos perfis de solos (como descrito no Item 4 - Materiais e Métodos) analisados e apresentados pela EMBRAPA/IAPAR (1984), quando da realização do levantamento e mapeamento de solos do Estado do Paraná.

Os resultados de erodibilidade obtidos, elencados na Tabela 7, confirmam as observações de campo. Constatou-se, nesse processo, que o parâmetro textura do solo, assim como, sua variação ao longo do perfil, notadamente entre o horizonte A e B, são fundamentais para a definição desse atributo. Ressalta-se, entretanto, a importância de outros parâmetros pedológicos capazes de interferir e condicionar a erodibilidade (teor de matéria orgânica, estabilidade da estrutura).

A adoção da metodologia de Bouyoucos (1935) além de ser a mais viável, neste caso, pela disponibilidade dos dados necessários à sua aplicação, tem apresentado resultados adequados e consistentes, quando comparadas a outras metodologias, como atestam Clemente et al. (2017). Por outro lado, os dados de K obtidos foram similares àqueles encontrados por Mannigel et al. (2002) para as mesmas classes de solos no Estado de São Paulo, aplicando a mesma equação.

Tabela 7 – Erodibilidade das classes de solos.

Classes de Solos	Valor K
Latossolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho eutroférico (todos)	0,0036
Latossolo Vermelho eutrófico, Latossolo Vermelho distrófico (argiloso)	0,0285
Nitossolo Vermelho eutroférico	0,0180
Argissolo Vermelho distrófico, Argissolo Vermelho eutrófico	0,1007

Neossolos Regolíticos	0,0178
Neossolos Flúvicos	0,0100
Gleissolos	0,0072
Organossolo	0,0178

Desse modo, associando as observações realizadas nos levantamentos de campo e os dados de erodibilidade dos solos paranaenses, além da comparação com resultados de outros estudos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1975; CAVALIERI, 1994; SILVA; ALVARES, 2005; MANNIGEL et al., 2005 entre outros), procedeu-se a uma reformulação da classificação da fragilidade para os solos, apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Classes de Fragilidade Ambiental.

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
1 – Muito baixa	Latossolos textura argilosa a muito argilosa.
2 – Baixa	Latossolos textura argilo-franco, Nitossolos Vermelhos.
3 – Média	Latossolos textura média, Argissolos textura média/argilosa.
4 – Forte	Argissolos textura média e arenosa/média. Cambissolos, Chernossolos.
5 – Muito Forte	Neossolos, Gleissolos, Planossolos, Organossolos, Espodossolos.

As fotos apresentadas nas Figuras 17 e 18, a seguir, exemplificam as condições dessas classes de solos, em superfície, observadas nos levantamentos de campo realizados.

Figura 17– Fotografias de solos e fragilidade associada.











	
<p>Latossolo Vermelho Distroférrico Cultura temporária/cana-de-açúcar Paranapanema III</p>	<p>Latossolo Vermelho Distroférrico Preparação do solo Paranapanema III</p>
	
<p>Nitossolo Vermelho Eutroférrico Cultura temporária/pastagem Paranapanema III</p>	<p>Nitossolo Vermelho Eutroférrico Cultura temporária Pirapó</p>
	
<p>Latossolo Vermelho, textura média Cultura temporária</p>	<p>Latossolo Vermelho, textura média Cultura temporária</p>

Figura 18 – Fotografias de solos e fragilidade associada.

Paranapanema IV	Pirapó
	
<p>Argissolo Vermelho Pastagem Paranapanema IV</p>	<p>Argissolo Vermelho Cultura temporária/aveia Paranapanema IV</p>
	
<p>Neossolo Litólico Pastagem Pirapó</p>	<p>Neossolo Litólico Pastagem Pirapó</p>

5.1.2. Declividade

A declividade é um atributo associado ao relevo, um dos fatores importantes na formação dos solos, na circulação hídrica superficial e subsuperficial, além do seu papel nas condições de uso e ocupação do espaço geográfico. As vertentes, por sua vez, compõem a maior parte da superfície terrestre e se constituem, assim, no elemento básico do relevo e componente fundamental do sistema geomorfológico (GOUDIE, 2004).

A vertente é, segundo Christofolletti (1980), uma superfície inclinada e sua descrição é capaz de fornecer, mesmo que de forma básica, as

informações para a caracterização de uma determinada área, pois engloba a análise de processos e formas.

Carson e Kirby (1972) apresentam a vertente como um sistema que, juntamente com o clima e a rede de drenagem, vai caracterizar a estrutura e dinâmica natural de uma dada paisagem, definindo, em consequência, as suas vulnerabilidades e/ou potencialidades para o desenvolvimento e suporte de distintas atividades humanas.

Os principais processos que afetam a estrutura e dinâmica das vertentes estão relacionados com o comportamento da água. A água atua de diferentes maneiras modelando a vertente: escoando na superfície, provoca o destacamento, o transporte e deposição das partículas do solo; em subsuperfície, juntamente com a ação da gravidade, promove movimentos em massa do solo de diversos tipos: rastejamento, solifluxão, deslizamentos (CHORLEY; SCHUMM; SUGDEN, 1984). As condições climáticas, a natureza litológica e estrutural do substrato geológico e da cobertura vegetal, além do tempo de evolução, são os principais condicionadores e responsáveis pela morfologia da vertente que, por sua vez, também determina o seu funcionamento.

A morfologia das vertentes, representada pela declividade, forma (convexa, côncava, retilínea) e sucessão dos seus segmentos (alternância de formas e declividades), influencia diretamente na movimentação dos fluxos hídricos e na ação dos processos erosivos, uma vez que, conforme os setores morfológicos há diferentes condições de funcionalidade, como destacam Valeriano (2003) e Oliveira (2005):

- Nos setores côncavos de vertente, há migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica do solo, e uma tendência à concentração do escoamento superficial, que por sua vez pode desencadear processos erosivos de forma linear;

- Nos setores convexos das vertentes, o escoamento superficial é preferencialmente difuso e a velocidade do escoamento é diretamente proporcional à inclinação.

- Nas vertentes retilíneas, podem ocorrer tanto processos erosivos lineares quanto laminares, uma vez que dependem apenas da extensão e da declividade para se instalarem.

Assim, associada à forma, a declividade da vertente atua de modo determinante no comportamento hídrico e nos processos erosivos (ROCHA, 2016). Segundo Morgan (1986), o aumento da declividade da vertente e do seu comprimento, produzem como resultado maior velocidade dos fluxos hídricos e volume de escoamento superficial, resultando em aumento da erosão.

Young (1972), por sua vez, aponta o ângulo de inclinação da vertente como um dos fatores ambientais mais importantes, capaz de influenciar nas atividades humanas, seja agrária, de transporte ou urbanas.

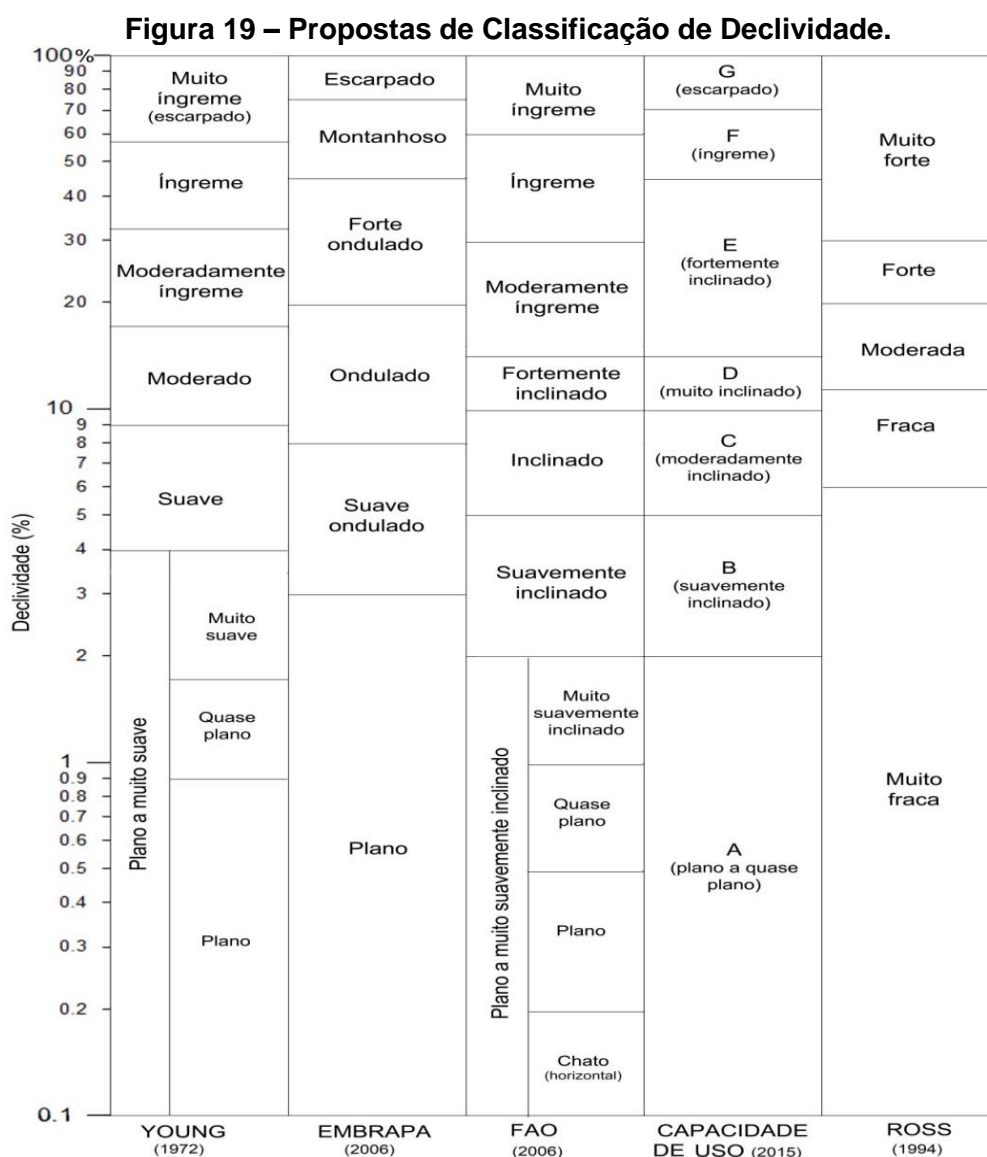
A declividade da vertente, por essas razões, se constitui em um parâmetro morfométrico frequentemente empregado nas metodologias que avaliam vulnerabilidade ambiental (ROSS, 1994; CREPANI et al., 1996), perdas de solo (WISCHMEIER, SMITH, 1962 e 1978), capacidade de uso das terras (LEPSCH et al., 2015), zoneamento agroecológico (FISCHER; VELTHUIZEN; NACHTERGAELE, 2000), etc.

Há diferentes propostas para a classificação da declividade, que buscam estabelecer critérios capazes de nortear o uso adequado das vertentes, como também identificar as áreas com maior fragilidade – áreas suscetíveis aos processos erosivos. As informações sobre o declive das vertentes possibilitam identificar fatores críticos e restritivos para determinados usos do solo, sobretudo a utilização como fator regulador da ocupação em áreas urbanas, assim como o uso de maquinário nas áreas agrícolas, instalação de redes viárias entre outros (IBGE, 2009).

Deste modo, uma das preocupações na revisão da metodologia foi determinar quais as classes de declividade devem ser consideradas. Em Bonifácio (2013), quando se apresentou a primeira versão aplicada às bacias hidrográficas do ribeirão Sória e do ribeirão Alegre, foi adotada a classificação proposta por Ross (1994) sem modificação. Na pesquisa atual, entretanto, busca-se verificar qual, dentre as classificações apresentadas pelos diversos autores e entidades de pesquisa e gestão, é a mais adequada para compor a metodologia.

Dentre as várias classificações existentes reuniram-se na Figura 18 aquelas geralmente mais empregadas, considerando-se as suas áreas de aplicação: a proposta com base geomorfológica de Young (1972); aquelas empregadas na caracterização do relevo e suas relações com a formação dos

solos como as da EMBRAPA (2006) e da FAO (2006); aquela vinculada à capacidade de uso da terra de Lepsch et al. (2015); e a de Ross (1994), que funciona como base da sua metodologia para determinação da fragilidade ambiental. Para facilitar a comparação entre elas, adotou-se na Figura 19, a exemplo de Young (1972), uma escala logarítmica vertical para representar a declividade em porcentagem, e nas colunas são indicadas as classes de declividade de cada uma das classificações selecionadas.



De acordo com Young (1961), do ponto de vista geomorfológico, as vertentes de determinada área podem se caracterizar pela ocorrência de “ângulos característicos” de inclinação (declividade), dependentes das condições da rocha ou do clima. Esses ângulos característicos definem a

morfologia dominante. Há que se considerar ainda, segundo o autor, os “ângulos limites” de inclinação. Estes determinam faixas de ocorrência para dadas formas ou processos, considerando-se as condições locais particulares de rocha ou clima. É a partir dessa base geomorfológica que Young (1972) propõe a sua classificação de declividade:

- as três primeiras classes (0° a 2°), reunidas aqui no intervalo equivalente de 0% a 4% (plano a muito suave), representam frequentemente áreas planas ou aplainadas por erosão (superfície de erosão), e não apresentam limitações para práticas agrícolas;

- a classe de 4% a 9% (2° a 5°) é associada, pelo autor, à morfologia de peneplano, incluindo a maioria dos pedimentos. As limitações de práticas agrícolas são relativamente reduzidas. Young (1972) indica que em muitas áreas, esta classe corresponde ao ângulo primário característico, aquele que apresenta frequência máxima;

- a classe moderada (5° a 10°) de 9% a 18%. Em muitas regiões geralmente ocorre um declínio drástico na frequência desses ângulos;

- a classe moderadamente íngreme (10° a 18°) de 18% a 33%, apresenta limitações substanciais para as práticas agrícolas;

- a classe íngreme (18° a 30°) de 33% a 58%, cujo uso agrícola exige medidas especiais, dificulta o uso econômico para vários tipos de produtos e práticas;

- a classe muito íngreme – escarpado – (30° a 40°) de 58% a 84%, apresenta fortes limitações para a existência de cobertura regolítica uniforme e contínua;

- os precipícios verticais (45°), em torno de 100% de declividade, aparecem como paredões irregulares ou escalonados, faces rochosas.

Várias das classificações de declividades adotadas para a caracterização geral de relevo, principalmente na área de solos, seguem grosso modo as classes propostas por Young (1972). Os limites propostos para cada classe podem variar, entretanto, dentro de limites possíveis de ocorrência, como indica Young na sua análise. Assim é que, em algumas classificações, como aquela adotada pelo Soil Survey Manual (USDA, 1993), os limites mínimos e máximos podem invadir quer seja a classe anterior ou a posterior.

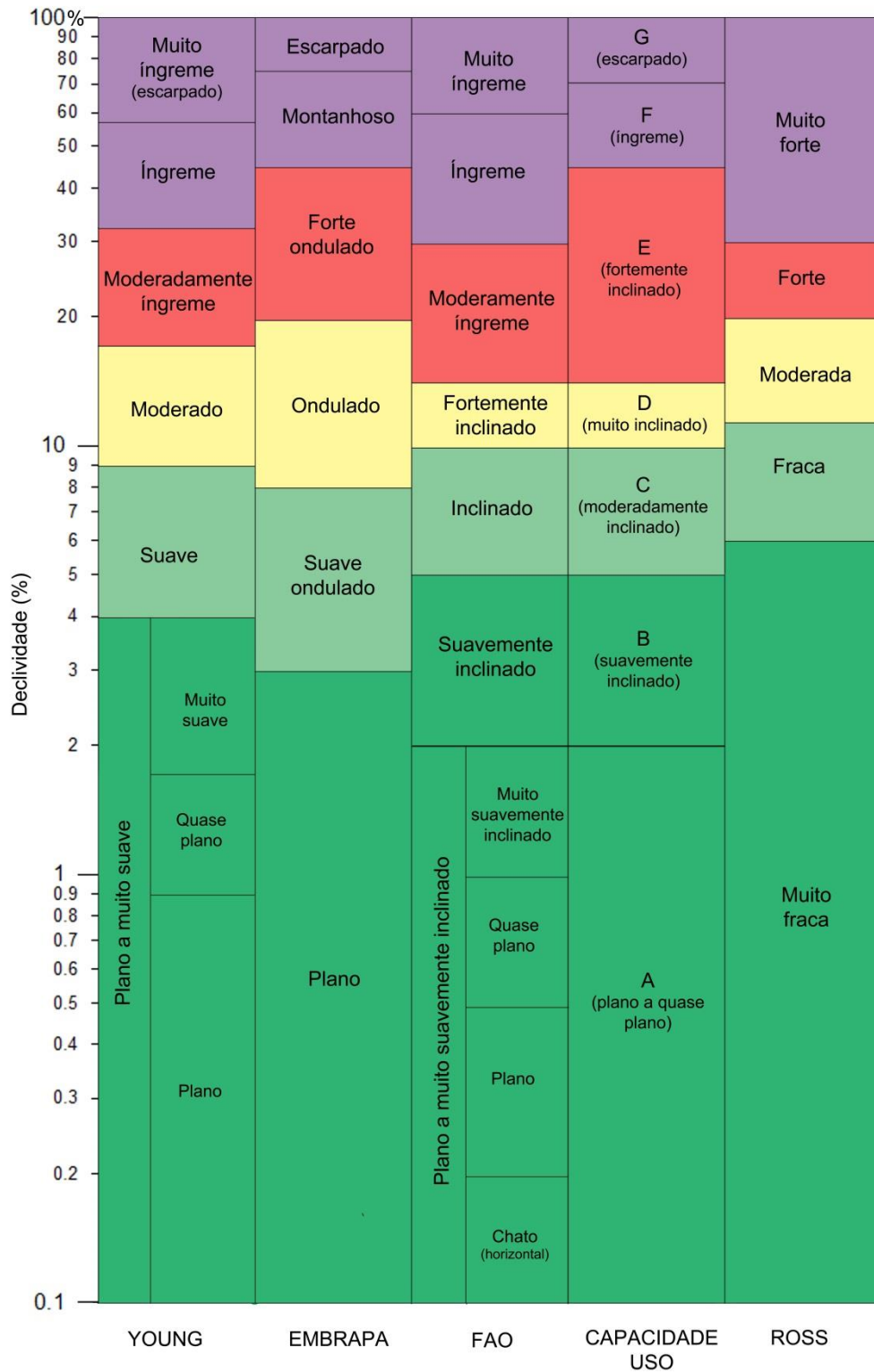
Nas classificações que visam à aplicação à aptidão agrícola dos terrenos, geralmente são introduzidos os limites de declividade impostos por condições de uso e manejo, como por exemplo, o limite de 15% para o emprego de mecanização nas culturas. A classificação proposta pela FAO e aquela aplicada na determinação da capacidade de uso da terra (LEPSCH et al., 2015) adotam também esse limite.

Na análise realizada para verificar qual a classificação de declividade mais adequada a ser adotada para a determinação da fragilidade ambiental, considerou-se tanto para a classificação proposta por Young (1972) quanto pela FAO (2006), o agrupamento das classes de declividade mais baixas (Figura 18). Assim, observa-se que as classificações propostas por Young (1972) e a Embrapa (2006) apresentam uma relativa similaridade para as classes inferiores a 20% de declividade, mas diferindo de modo significativo para as classes mais altas. A classificação empregada pela FAO (2006) e aquela adotada para a determinação da capacidade de uso das terras (LEPSCH et al., 2015), são similares (agrupando-se as classes menores que 3%, no caso da FAO) para as classes inferiores a 15%, diferindo mais expressivamente nas superiores. Essa diferença está associada às condições de uso e práticas agrícolas, informações que são privilegiadas pela capacidade de uso. A classificação da FAO (2006) apresenta nessa faixa superior, entretanto, uma maior similaridade com a classificação de Young (1972).

A classificação de declividade adotada por Ross (1994) tem uma configuração diferente das anteriores. O autor justifica a adoção dessas classes nos estudos de uso/aptidão agrícola, nos valores limites críticos da geotecnia e nos indicativos de processos erosivos.

Dadas as variações nos limites entre as classes, foram elaborados mapas de declividade, aplicando cada uma das classificações acima elencadas. Respeitando-se os limites das classes de cada classificação, foi estabelecida a relação com as classes de fragilidade (graus) associadas à declividade, como propôs Ross (1994) – muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte (Figura 20).

Figura 20 – As classes de declividade e a equivalência adotada (em cores) em relação aos graus de fragilidade da proposta de Ross (1994) – Muito fraca (verde escuro), fraca (verde claro), moderada (amarelo), forte (vermelho) e muito forte (roxo).



Em paralelo a essa análise, gerou-se um mapa clinográfico onde as 5 classes de declividades, como na proposta de Ross (1994), foram definidas

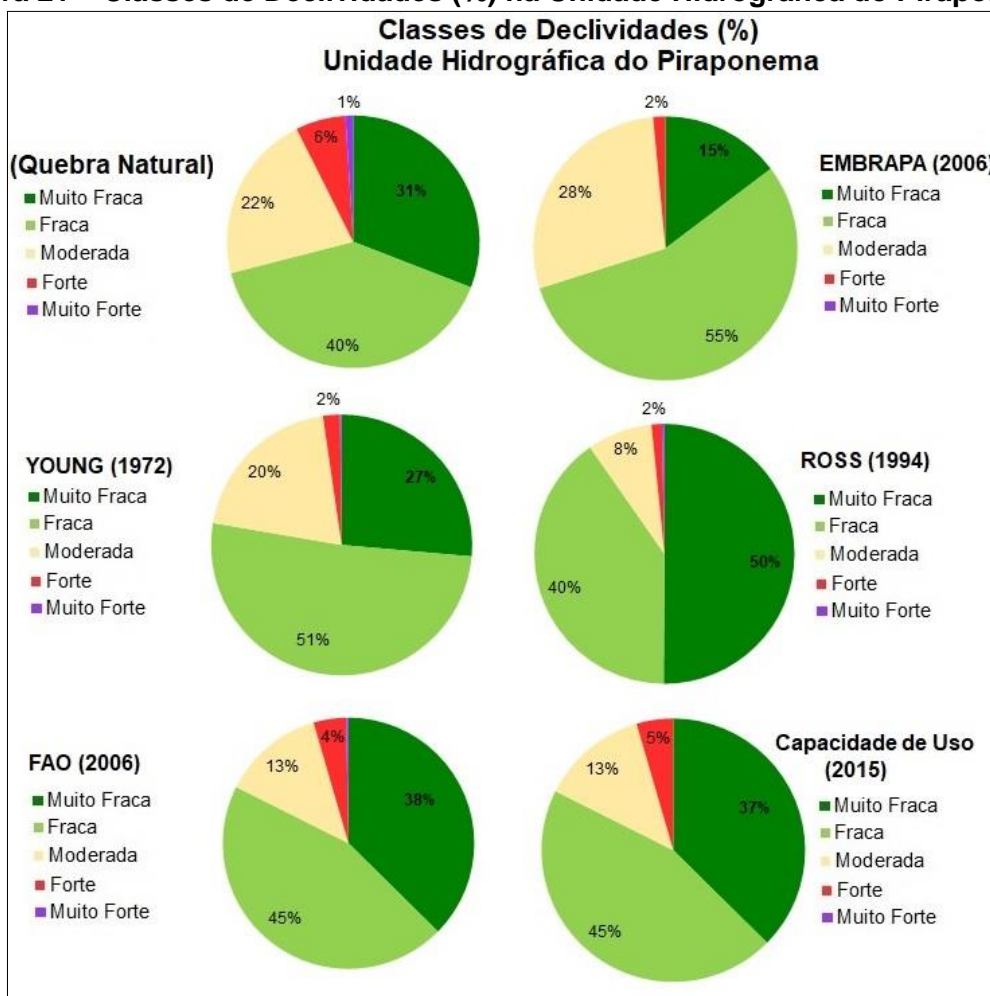
com a aplicação do método estatístico denominado “Quebra Natural”, criado por Jenks (1967). Por esse método, os limites das classes são ajustados de acordo com a distribuição e variabilidade dos dados, encontrando quebras que minimizam a variação dentro da classe, ao mesmo tempo em que maximizam as diferenças entre elas. Os agrupamentos obtidos e as respectivas áreas (em %) estão reunidos na Tabela 9 e Figura 21, juntamente com os resultados das outras classificações testadas, enquanto que os mapas gerados são apresentados na Figura 22.

Tabela 9 – Agrupamentos e as áreas (%) das classificações.

Proposta	Classes Declividades (%)	Área (%)	Grau de Fragilidade ¹
YOUNG	0 - 4,0	26,4	Muito fraco
	4,0 - 9,0	51,3	Fraco
	9,0 - 18,0	20,0	Moderado
	18,0 - 33,0	2,1	Forte
	>33,0	0,2	Muito forte
EMBRAPA	0 - 3,0	14,7	Muito fraco
	3,0 - 8,0	55,4	Fraco
	8,0 - 20,0	28,4	Moderado
	20,0 - 45,0	1,5	Forte
	> 45,0	0,0	Muito forte
FAO	0 - 5,0	37,4	Muito fraco
	5,0 - 10,0	45,0	Fraco
	10,0 - 15,0	13,1	Moderado
	15,0 - 30,0	4,2	Forte
	>30,0	0,3	Muito forte
CAPACIDADE DE USO	0 - 5,0	37,4	Muito fraco
	5,0 - 10,0	45,0	Fraco
	10,0 - 15,0	13,1	Moderado
	15,0 - 45,0	4,5	Forte
	>45,0	0,0	Muito forte
ROSS	0 - 6,0	50,1	Muito fraco
	6,0 - 12,0	40,2	Fraco
	12,0 - 20,0	8,1	Moderado
	20,0 - 30,0	1,3	Forte
	>30,0	0,3	Muito forte
QUEBRA NATURAL	0 - 4,3	30,9	Muito fraco
	4,3 - 8,0	40,1	Fraco
	8,0 - 13,0	21,6	Moderado
	13,0 - 21,9	6,4	Forte
	> 21,9	1,0	Muito forte

¹ Conforme Ross (1994).

Figura 21 – Classes de Declividades (%) na Unidade Hidrográfica do Piraponema.



A classificação pela Quebra Natural mostra que 71% da área da Unidade Hidrográfica apresentam declividades inferiores a 8%, predominando, contudo, declividades entre 4,3 e 8,0% (40,1%). Como já observava Young (1972), é esta faixa que apresenta, na maior parte das áreas, o “ângulo primário característico”, aquele de maior frequência. Ainda, concordando com as observações do referido autor, aqui, também, a classe de declividades maior que 8,0% (entre 8 e 13%), sofre uma redução acentuada (no caso, próximo da metade), continuando, as classes seguintes, cada vez menos expressivas. Apenas 1% da área apresenta declividades superiores a 21,9% (Figura 21).

Apesar de fornecer um quadro do ponto de vista estatístico mais adequado para a classificação das declividades locais, a Quebra Natural não é recomendada para a aplicação em uma metodologia como a da determinação da fragilidade ambiental. Para cada área as classes terão limites variados, o que dificulta as comparações e, também, a previsão dos resultados,

comprometendo a sua aplicação. Outro aspecto a considerar é a existência de condições similares para a ocorrência de determinados processos e fenômenos erosivos dentro de uma faixa de declividades mais alargada do que aquela fornecida apenas pelo tratamento estatístico.

A análise da Tabela 5 mostra ainda que, excetuando-se a classificação de Ross (1994), em todas as outras (incluindo a Quebra Natural), são distinguidas duas classes inferiores a 10%, sendo que a classe de menor declividade não é, na área, a de maior extensão. A maior extensão é ocupada pelas declividades que variam acima de 3%, 4% ou 5%, que caracterizam, segundo as diversas classificações, as vertentes como “suaves”, “suave onduladas” ou ainda “moderadamente inclinadas”. O limite superior dessa categoria varia entre 8% e 10% nos sistemas analisados. Somente Ross (1994) coloca esse limite mais acima – 12%.

Nessa categoria, declividades entre 5% e 10%, segundo Lepsch et al. (2015), pela Capacidade de Uso, a erosão laminar tem caráter moderado, a formação de sulcos superficiais é frequente e os sulcos rasos são ocasionais. Em declividades mais baixas que essas (inferiores a 5%), a erosão laminar é ligeira. Em vertentes com declividades entre 10% e 15%, classificadas como “moderadas” por Young (1972) ou já “fortemente inclinadas” (classificação da FAO) ou “muito inclinadas” para Capacidade de Uso, os autores indicam a ocorrência de erosão laminar severa, ocorrência de sulcos superficiais muito frequentes e sulcos rasos frequentes, enquanto que os sulcos profundos são ocasionais. O limite de 15% para essa faixa é imposto, pela FAO e pela Capacidade de Uso, em virtude da restrição, acima dele, do emprego de máquinas agrícolas motorizadas.

Para Young (1972), essa classe (moderada) abrange vertentes de 9% até 18% de declividade, enquanto Ross (1994) considera o intervalo de 12% a 20% e a Embrapa o define na faixa de 8 a 20%, caracterizando o relevo como “ondulado”. Verifica-se, desse modo, uma similaridade maior entre as classes definidas por Young e pela Embrapa, que não levam em consideração a restrição ao uso de maquinário motorizado. O limite inferior de 12% adotado por Ross, não é reproduzido em nenhuma das classificações analisadas e, quando se compara com os resultados da classificação por Quebra Natural, verifica-se que um dos agrupamentos ocorre entre 8% e 13%, o que o inclui

preferencialmente na classe moderada de Young ou na “ondulada” da Embrapa. Na classificação de Ross, esse agrupamento estaria predominantemente incluso na classe “fraca”, reduzindo a presença da classe moderada na área de pesquisa, (Tabela 9 e Figura 21) e, conseqüentemente elevando a ocorrência das classes muito fraca e fraca.

Dadas às características morfológicas da Unidade Hidrográfica, há uma ocorrência reduzida das faixas acima dos 15% de declividade – 4,5% da área. A classificação por Quebra Natural, mostra que apenas 1% da área tem declividades acima de 21,9%, como já referido anteriormente. Nas classificações analisadas, o limite superior da classe que define a vertente como “moderadamente íngreme” ou “fortemente inclinada” varia de 30% a 45%. Acima desses valores as vertentes são consideradas pelos autores como “íngremes” e “escarpadas”. Ross (1994) adota 30% para delimitar o grau forte, enquanto que o grau “muito forte” ocorre acima desse valor (Figura 21). A Embrapa, por sua vez, emprega os termos “fortemente ondulado” para caracterizar o relevo com declividades entre 20 e 45% e “montanhoso” para valores de inclinação acima de 45%. Registrou-se, na escala trabalhada, a ocorrência de apenas 0,3% da área com declividades entre 30% e 45%. Acima de 45% não foi observada nenhuma ocorrência.

Em virtude do significado das inclinações superiores a 30%, tanto morfológica quanto para o desencadeamento de processos erosivos, conclui-se que esse limite, já adotado por Ross (1994), é adequado para separar as classes “forte” e “muito forte” (>30%). A erosão laminar nas declividades superiores a 30%, de acordo com o apresentado por Lepsch et al. (2015), é muito severa a extremamente severa (declividades superiores a 45%) acompanhada do desenvolvimento de sulcos rasos e profundos frequentes a muito frequentes.

De um modo geral as classificações de Young (1972), FAO e aquela da Capacidade de Uso (ressalvando-se o limite relacionado às condições de mecanização agrícola) apresentam maior similaridade entre si e, parcialmente, com a obtida pelo método da “Quebra Natural”. As classificações adotadas pela Embrapa e por Ross (1994) apresentaram diferenças mais acentuadas em relação às demais e entre si.

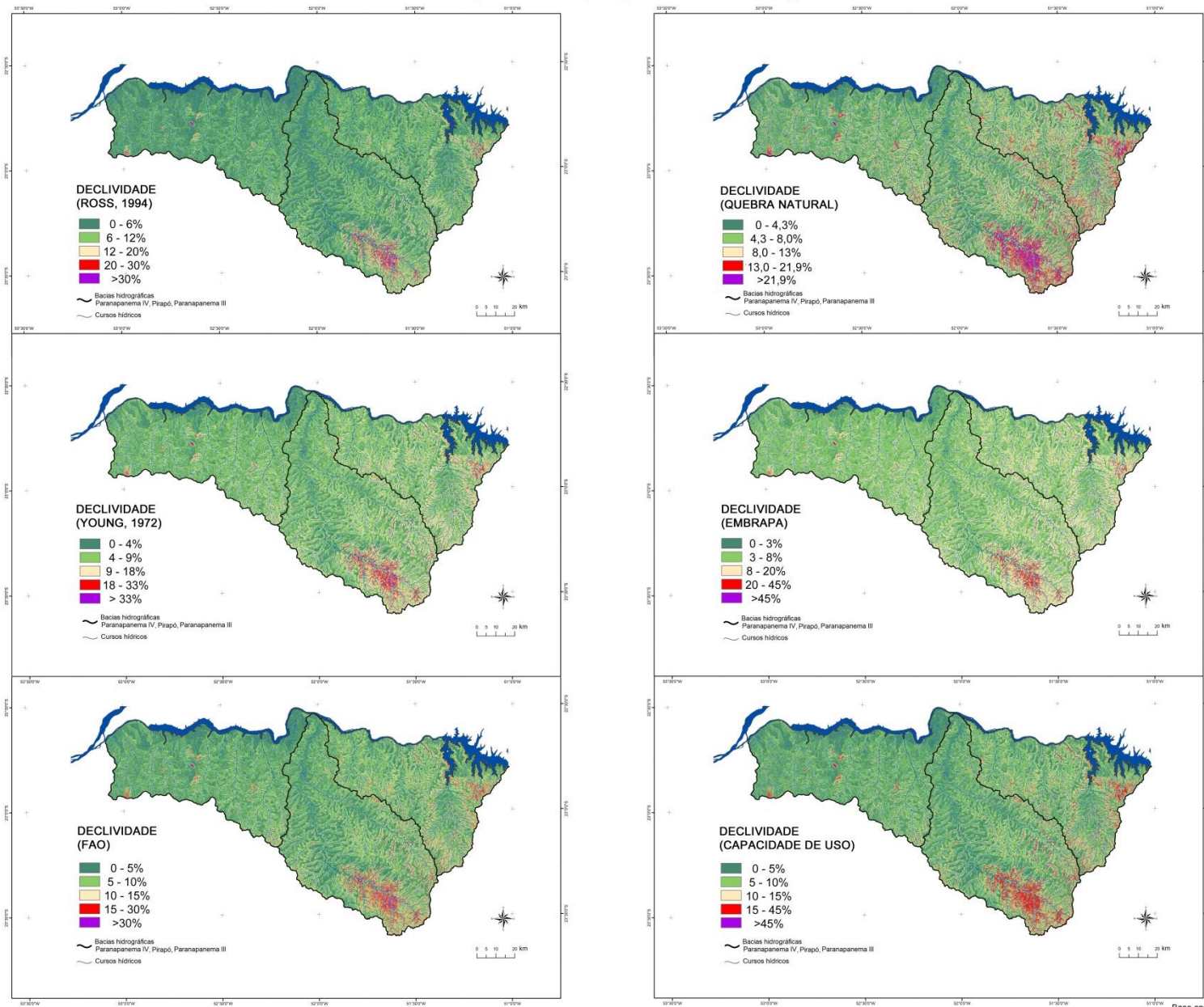
A análise dos mapas clinográficos (Figura 22) mostra, também, diferenças significativas entre as bacias que compõem a Unidade Hidrográfica. Para verificar os resultados da aplicação das classificações selecionadas, recorreu-se à quantificação em porcentagem de área ocupada em cada uma das bacias hidrográficas (Figura 23). Adota-se nessa análise a terminologia proposta por Ross (1994) para as categorias de fragilidade relacionadas à declividade. Como a classificação da FAO e aquela empregada pela Capacidade de Uso são muito similares considerou-se aqui apenas os resultados da primeira.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema IV (Figura 23-A) as porcentagens do parâmetro declividade tiveram maior concentração em categorias definidas como muito fraca e fraca para a área em questão. É importante destacar que dentre as bacias hidrográficas estudadas, a bacia hidrográfica do Paranapanema IV é a que apresenta, comparativamente, as declividades mais baixas.

Em relação às metodologias abordadas, para a categoria Muito Fraca, esta se apresentou de forma muito distinta entre as classificações testadas, com 63% para Ross (1994) e 21% para a Embrapa (2006). Para as demais, os valores seguiram mais próximos, de 35%, 41%, 48%, Young, Quebra Natural e FAO, respectivamente. Para a categoria Fraca, houve maior similaridade entre a Quebra Natural e FAO, 42% e 44% e valores distantes, 34% para Ross.

Na classe Moderada, o menor valor foi encontrado em Ross, 3%, e o maior para Embrapa de 17%. Valores mais próximos foram obtidos com o emprego do método de Quebra Natural e o de Young, e entre FAO e Young. Sobre a categoria Forte, esta só ocorreu de modo muito reduzido, no mapeamento com as classes da Quebra Natural e da FAO, demonstrando similaridade entre estas propostas para a essa área. Não houve ocorrência de declividade Muito Forte para nenhuma das classificações.

Figura 22 – Comparação entre as classificações de declividade.



Base cartográfica: Topodata (INPE, 2017)
 Projeção: UTM 22. Datum: SIRGAS 2000.

Figura 23 – Declividades (%) na Unidade Hidrográfica do Piraponema.

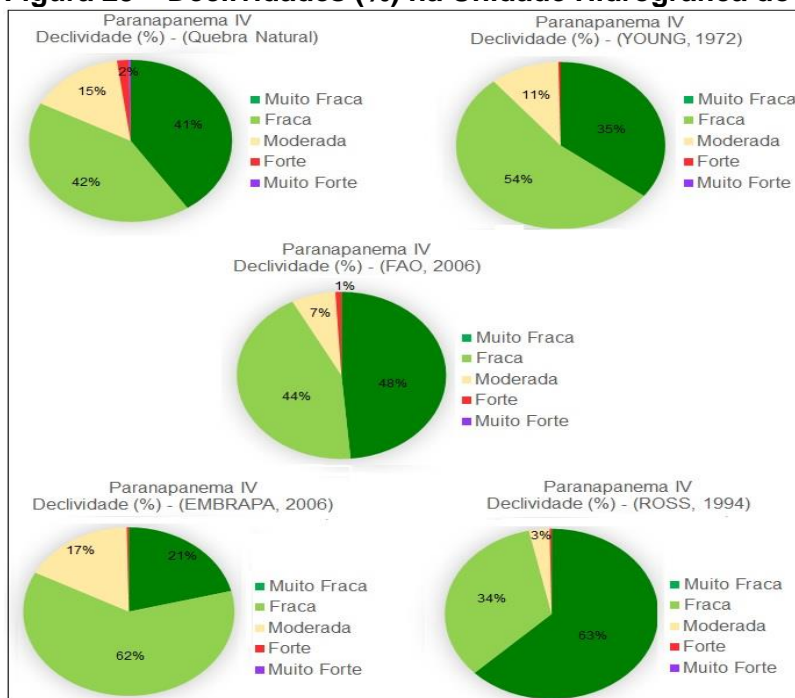


Figura 23-A – Declividade (%) para a bacia hidrográfica do Paranapanema IV, conforme propostas de Quebra Natural, Young (1972), FAO (2006), EMBRAPA (2006), Ross (1994).

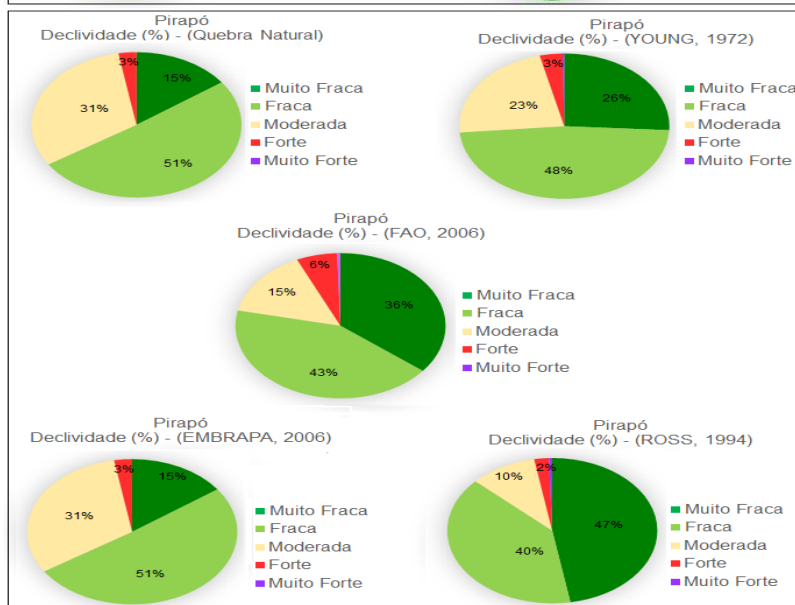


Figura 23-B – Declividade (%) para a bacia hidrográfica do Pirapó, conforme propostas de Quebra Natural, Young (1972), FAO (2006), EMBRAPA (2006), Ross (1994).

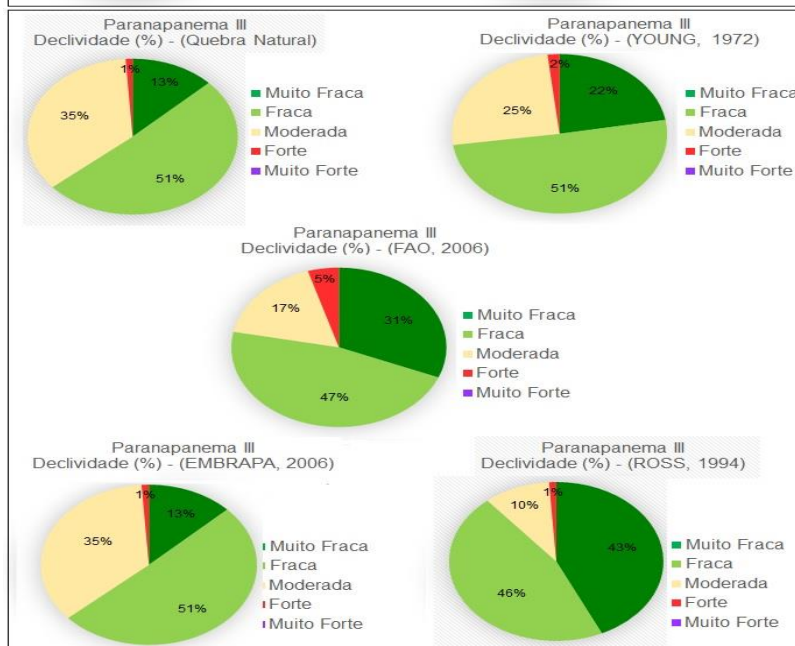


Figura 23-C – Declividade (%) para a bacia hidrográfica do Paranapanema III, conforme propostas de Quebra Natural, Young (1972), FAO (2006), EMBRAPA (2006), Ross (1994).

A Figura 23-A mostra, portanto, para a bacia hidrográfica do Paranapanema IV, que há maior similaridade entre as propostas de Quebra Natural e Young, assim como a FAO que acaba por se apresentar como o meio termo entre estas propostas, enquanto que a Embrapa e Ross apresentaram valores divergentes e entre si e em relação às demais.

A bacia hidrográfica do rio Pirapó (Figura 23-B) apresentou concentração dos valores percentuais de declividade, em algumas classificações para as categorias Muito Fraca a Fraca e, para outras, de classes Fraca e Moderada. Há de se destacar que nesta bacia, ao contrário da anterior, a categoria Muito Forte, ainda que pouco expressiva (<0,5%), foi assinalada em três das cinco classificações. Esta ocorre na área mais dissecada, na alta bacia.

Em relação às propostas utilizadas, a Quebra Natural e a Embrapa apresentaram valores idênticos para esta área. Para a categoria Muito Fraca, a Quebra Natural e Embrapa foram opostas a Ross, com 15% e 47%, respectivamente. Para a classe Fraca, a Quebra Natural e a Embrapa foram superiores às demais com 51%, seguidas pela classificação de Young com 48%. Tanto a FAO quanto Ross apresentaram valores próximos – 43% e 40% - representando os percentuais mais baixos para esta categoria. Na classe Moderada, novamente Quebra Natural e Embrapa se comportaram de modo extremo em relação a Ross, com 31% e 10% respectivamente. Young, FAO e Ross apresentaram valores diferentes – 23%, 15% e 10% – sem proximidade entre si e com as demais. Para a categoria Forte, a FAO foi a que apresentou o maior resultado comparativamente, 6% e Ross o menor, com 2%, enquanto que a Quebra Natural, Young e Embrapa obtiveram 3% para esta classe.

A bacia hidrográfica do Paranapanema III (Figura 23-C), assim como a do Pirapó, também apresentou divergências na distribuição das categorias de fragilidade para a declividade, apresentando a concentração dos valores de Muito Fraca e Fraca para algumas propostas e Fraca e Moderada para outras. Nesta bacia também ocorrem declividades relativamente mais acentuadas, principalmente nas cabeceiras de drenagem no setor nordeste e na face leste do divisor de águas da bacia do ribeirão Vermelho com a bacia do ribeirão do Tenente, o que se reflete na ocorrência da categoria Forte é detectada em todas as propostas.

É importante destacar que a classificação pela Quebra Natural e a da Embrapa se mostraram muito próximas para esta bacia hidrográfica e, para algumas categorias os valores foram similares entre todas as propostas. Na classe Muito Fraca, a proposta de Ross apresentou o maior resultado, com 43%, sendo oposta a Quebra Natural e Embrapa, ambas com 13%. Tanto a classificação de Young quanto a FAO foram divergentes entre si e as demais. Na categoria Fraca, a Quebra Natural, Young e Embrapa tiveram os mesmos valores –51%, enquanto que FAO e Ross obtiveram também valores aproximados – 47% e 46%, respectivamente. Para a classe Moderada, a Quebra Natural e a Embrapa apresentaram os valores extremos em relação à proposta de Ross, 35% e 10% da área. Na categoria Forte, a FAO teve o maior resultado de 5%, enquanto que Quebra Natural, Embrapa e Ross registraram apenas 1%.

5.1.3. Cobertura vegetal e proteção do solo

Na metodologia original de Ross (1994), para a determinação da fragilidade ambiental emergente, incorpora-se à análise a cobertura vegetal, que é avaliada em relação ao grau de proteção que ela oferece à superfície do solo. Do mesmo modo que os parâmetros solos e declividade, o grau de proteção foi hierarquizado de 1 a 5, sendo 1 o de maior proteção e o 5 de proteção muito baixa ou nula (Tabela 10).

Tabela 10 – Graus de proteção da cobertura vegetal.

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
1 - Muito alta	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2 – Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de pinus densa.
3 - Média	Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau. Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.

4 - Baixa	Culturas de ciclo longo da baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento).
5 - Muito baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/graduação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curso sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1994).

Com a modificação da metodologia proposta em pesquisa anterior (BONIFÁCIO, 2013), a avaliação do grau de proteção foi alterada e simplificada. Nesta nova abordagem, para a determinação da fragilidade ambiental emergente, esses graus variam de 0 a 1, e seu valor é somado à fragilidade ambiental potencial. O objetivo é ter apenas uma matriz de classificação de fragilidade ambiental, capaz de ser empregada para as duas condições – potencial e emergente – o que facilita a compreensão do grau de transformação/degradação introduzido pelo uso e ocupação. Na Tabela 11 são apresentados os grupos de cobertura de superfície adotados, com o valor correspondente:

Tabela 11 – Cobertura vegetal e valor correspondente.

Valor	Cobertura Vegetal
0	Cobertura Florestal: cobertura original florestal, silvicultura
0,25	Pastagem
0,75	Culturas: temporárias e permanentes
1	Solo exposto

Além da classificação original proposta por Ross (1994), foram consultados vários trabalhos que trataram do fator C (associado ao uso e manejo) da Equação Universal de Perdas de Solo, como os de Stein et al. (1987), Brito et al. (1998), Ribeiro e Alves (2007), Silva (2007); Machado et al. (2009). Soma-se a esses, o trabalho de Marcatto (2016), sobre as relações de uso e manejo com as propriedades físicas e hídricas de solos, realizado na área da pesquisa, principalmente sobre os solos derivados dos arenitos. Esse levantamento de informações também orientou o escalonamento e atribuição desses índices do grupo de cobertura vegetal. A simplificação adotada

considerou a condição geral associada a cada grupo de cobertura, sem discriminar variações possíveis introduzidas por alterações de práticas e manejos, tanto no caso das culturas, quanto das pastagens. Considera-se, aqui, que a cobertura vegetal florestal original, com a produção da camada superficial de folhas (serapilheira) que protegem o solo, além da barreira criada pelas copas das árvores, modificando o ritmo e a intensidade dos pingos de chuva que chegam até essa superfície, inibe ou impedem que a fragilidade potencial (latente) se revele.

As pastagens conferem, por sua vez, um grau de proteção à superfície do solo, mas permitem que a fragilidade potencial se manifeste. Em resposta às diferenças de uso e manejo, processos erosivos lineares (trilhas, sulcos), sobretudo, podem se instalar. Nas Figuras 24 (B, C, D) é possível verificar pastagens com diferentes aspectos, resultantes tanto das formas de manejo quanto dos efeitos da manifestação da fragilidade potencial local.

Quanto às culturas, ocorrem variações significativas em termos de manejo e práticas adotadas relacionadas aos produtos cultivados. A preparação do solo para o cultivo da cana de açúcar, por exemplo, produz grandes alterações no solo, como pode ser observado na Figura 25 (A e B). Não se trata apenas da aração da camada superior, mas sim de um revolvimento de vários horizontes, afetando geralmente mais de 1m de espessura do perfil de solo. Na Figura 25 (A), observa-se um rebaixamento topográfico generalizado da superfície, testemunhado por “restos” do antigo nível, que ainda sustentam postes de eletricidade, instalados na superfície original. Além dessa grande transformação, que remove os horizontes superiores do perfil de solo, a superfície fica totalmente exposta durante as fases iniciais de plantio e do ciclo vegetativo.

As culturas de grãos (soja, milho, trigo) (Figura 25-C e D), ainda que praticadas em grande parte com o manejo de plantio direto, também promovem a exposição da superfície nos períodos entre colheita e plantio, início do ciclo vegetativo do cultivo seguinte, se o sistema não for adequadamente aplicado. Assim, observa-se, que no caso das culturas, existe um risco maior de degradação, que se soma àquele definido na condição de fragilidade potencial.

A proposta desses índices de proteção levou em consideração, além da bibliografia, as observações realizadas diretamente no campo.

Figura 24 – Uso e cobertura vegetal na Unidade Hidrográfica.



(A) Seringueiras – Cafeara – Paranapanema III.



(B) Pastagem – alto Pirapó.



(C) Pasto degradado - trilhas, sulcos e “bad lands” – Santo Inácio (Paranapanema III).



(D) Pastagem – pastos em piquetes - Paranapanema IV.

Figura 25 – Uso e cobertura vegetal na Unidade Hidrográfica.



(A) Preparação de solo para cultivo de cana – Atalaia (Pirapó).



(B) Cultura de cana-de-açúcar, erosão laminar – Cafeara (Paranapanema III).



(C) Cultura de milho – plantio direto – Cambé (Paranapanema III).



(D) Cultura de soja – plantio direto – Cambé (Paranapanema III).

5.1.4. Cálculo e enquadramento nas categorias de fragilidade ambiental

A determinação do grau de Fragilidade Ambiental Potencial passou, na adaptação da metodologia proposta inicialmente em Bonifácio (2013), a ser obtida pela aplicação da seguinte Equação:

$$FAP = \frac{GS + GD}{2,0} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

FAP - Fragilidade Ambiental Potencial

GS - Grau de Fragilidade dos Solos (Tabela 8)

GD - Grau de Fragilidade da Declividade (de acordo com a classificação adotada)

E o grau de Fragilidade Ambiental Emergente foi determinado pela Equação:

$$FAE = \left(\frac{GS + GD}{2,0} \right) + IU \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

FAE - Fragilidade Ambiental Emergente

GS - Grau de Fragilidade dos Solos (Tabela 8)

GD - Grau de Fragilidade da Declividade (de acordo com a classificação adotada)

IU - Índice Relacionado ao Uso das terras (grau de proteção)

Na Tabela 12 são apresentados os valores para o enquadramento nas categorias de fragilidade ambiental (Quadro completo de enquadramento – Anexo), aplicáveis tanto para a condição potencial quanto emergente.

Tabela 12 – Enquadramento das categorias de Fragilidade Ambiental.

Categoria	Graus de Fragilidade
Muito fraca	1 a 1,4
Fraca	1,5 a 2,4
Moderada	2,5 a 3,4
Forte	3,5 a 4,4
Muito forte	≥ 4,5

5.2. Testes de aplicação da metodologia adaptada: definição das classes de declividade

Com o objetivo de avaliar o desempenho da proposta de avaliação da fragilidade potencial e emergente, bem como verificar o efeito das diferentes classificações de declividade e definir qual a ser adotada, realizou-se uma série de mapeamentos que são apresentados a seguir.

Na Figura 26 estão reunidos os mapas de Fragilidade Ambiental Potencial, definidos pela integração dos solos com a declividade.

A análise dos mapas de fragilidade ambiental potencial já revela visualmente diferenças maiores resultantes das variações entre as classificações de declividades testadas. A quantificação das áreas associadas aos diferentes graus (Figura 27-I) deixam mais evidente essas diferenças.

A fragilidade ambiental potencial, obtida com a aplicação das classificações de declividades da Embrapa e de Ross, foge ao padrão daquelas reveladas com a adoção das classificações de Young, Quebra Natural e FAO, que se mostram relativamente mais próximas.

Nas Figuras 27 (II) e 28 são apresentados os dados e mapas de Fragilidade Ambiental Emergente, obtidos com a aplicação das alterações propostas, variando-se, contudo os parâmetros relativos à declividade, como no caso da fragilidade ambiental potencial. O mapa de uso da terra empregado para o cálculo da Fragilidade Ambiental Emergente, elaborado com as imagens orbitais Landsat 8 de 2017, já foi apresentado na Figura 13 (Materiais e Métodos).

Figura 26 – Classificações de Fragilidade Ambiental Potencial.

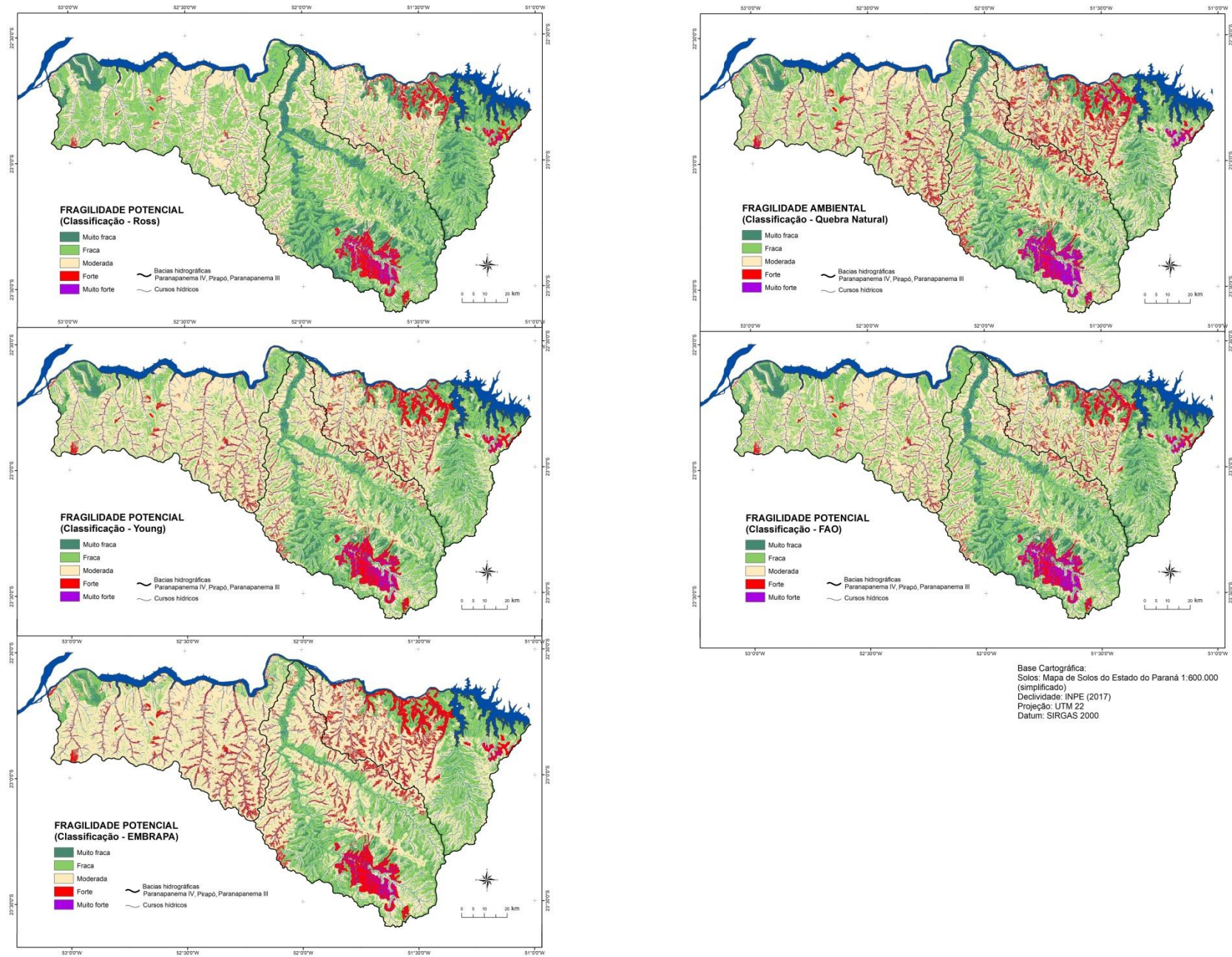


Figura 27 – (I).Fragilidade Potencial (%) e (II).Fragilidade Emergente (%).

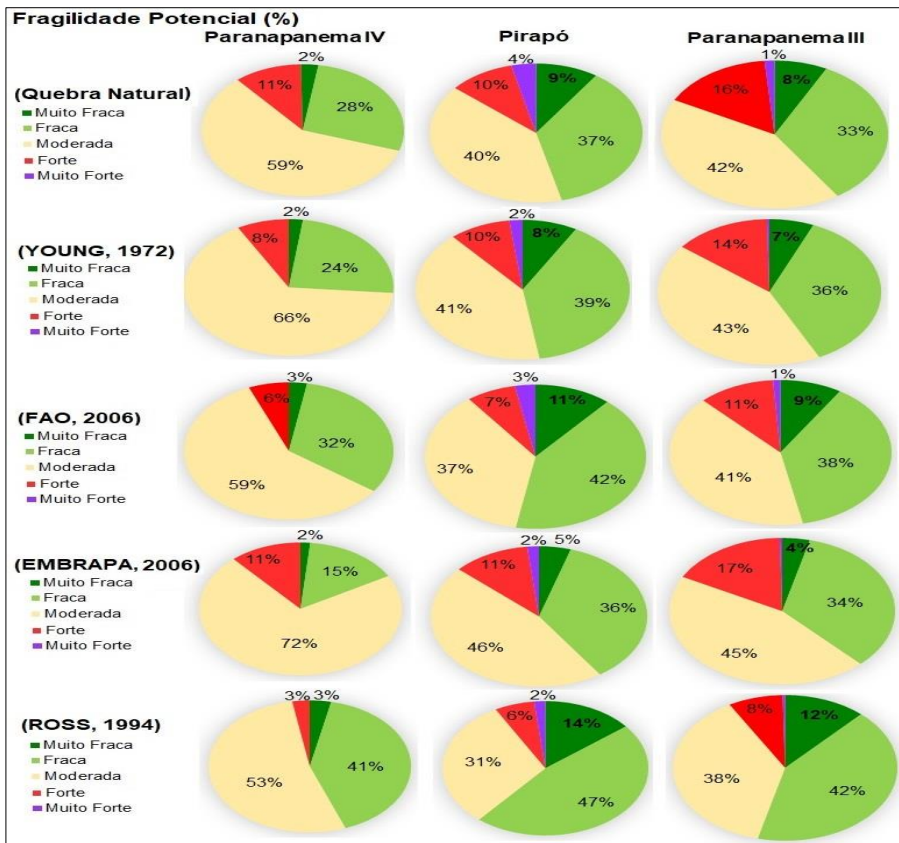


Figura 27(I) – Fragilidade Ambiental Potencial (%) conforme propostas de declividades (%) de Quebra Natural, Young (1972), FAO (2006), EMBRAPA (2006), Ross (1994).

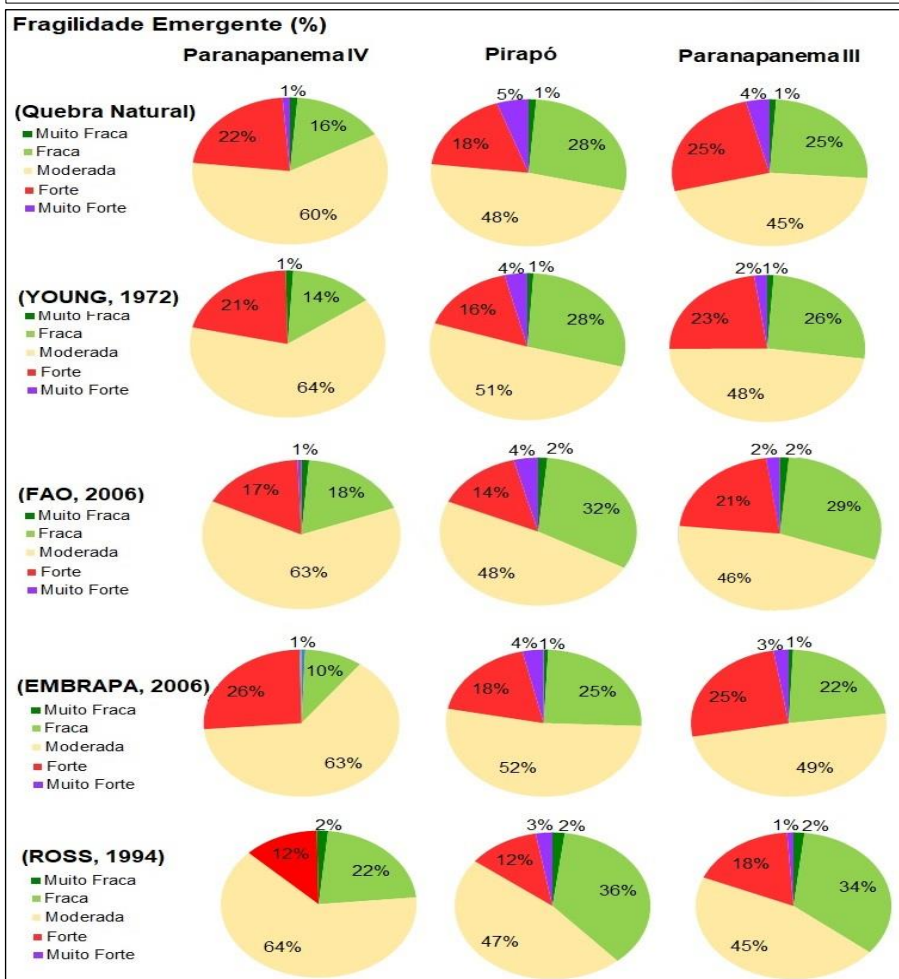
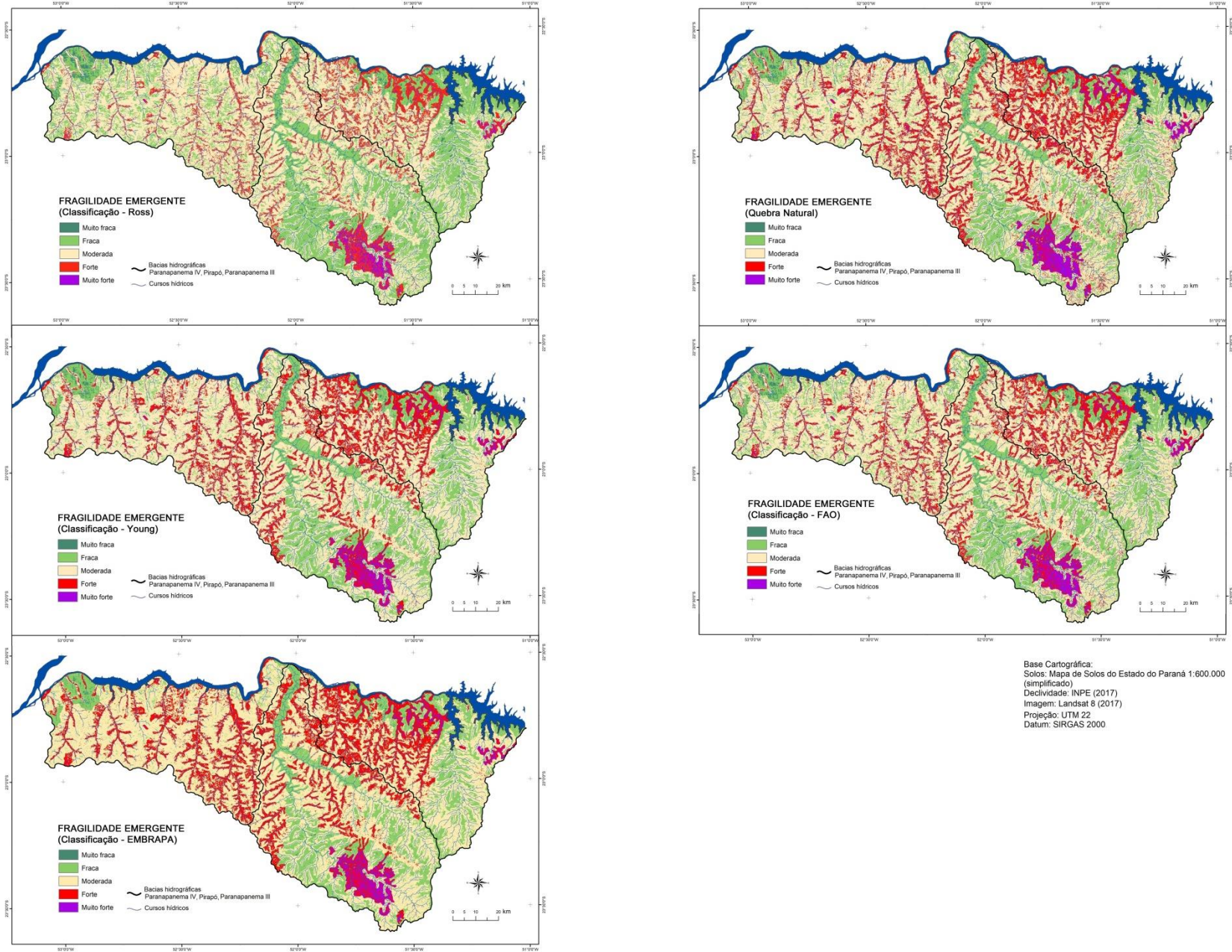


Figura 27 (II) – Fragilidade Ambiental Emergente (%) conforme propostas de declividades (%) de Quebra Natural, Young (1972), FAO (2006), EMBRAPA (2006), Ross (1994).

Figura 28 – Classificações de Fragilidade Emergente.



Base Cartográfica:
 Solos: Mapa de Solos do Estado do Paraná 1:600.000 (simplificado)
 Declividade: INPE (2017)
 Imagem: Landsat 8 (2017)
 Projeção: UTM 22
 Datum: SIRGAS 2000

Como ocorreu com a fragilidade ambiental potencial, a aplicação das classificações de declividade de Ross e da Embrapa apresentaram resultados extremos e opostos, enquanto que o emprego das classificações de Young, Quebra Natural e da FAO foram mais próximos. Após a comparação dos resultados obtidos, tanto na fragilidade potencial quanto na emergente, com a aplicação das classificações das declividades propostas por Young (1972), Ross (1994), FAO (2006), EMBRAPA (2006), foi adotada a classificação simplificada adaptada da FAO (Tabela 13):

Tabela 13 – Classes de Declividade.

Declividade (%)	Classes
< 5%	Muito Fraca
5 - 10%	Fraca
10 - 15%	Moderada
15 - 30%	Forte
> 30%	Muito Forte

Onde:

- ▶ 0 – 5% - Muito fraca, corresponde às classes de superfície planas a suavemente inclinadas da FAO (2006) e próxima dos valores indicados pela aplicação do método de Quebra Natural e daquele proposto por Young (1972) que também reúne as classes plana a muito suave;
- ▶ 5 – 10% - Fraca, superfícies inclinadas, com escoamento superficial médio ou rápido: poucos problemas de erosão hídrica, não prejudica o uso de máquinas agrícolas mecanizadas, também com valores próximos a proposta de Young (1972) e daquela obtida com a Quebra Natural;
- ▶ 10 – 15% - Moderada, pela capacidade de uso das Terras (15%) já é considerado muito inclinado, com escoamento superficial rápido, o uso de máquinas agrícolas ocorre com dificuldades, sendo áreas indicadas para cultivos perenes, pastagens ou reflorestamento (LEPSH, 1983). Já Young (1972) coloca como limite para essa classe moderada 10° (o que equivale a 17,6%). Foi assumido 15%, em virtude do seu significado para o uso e ocupação das terras (limitação de práticas), parâmetro que também é considerado na avaliação da fragilidade ambiental – fragilidade ambiental emergente. Por outro lado, a classificação com o emprego da Quebra Natural,

evidenciou uma quebra significativa para declividades até 13%, fornecendo, também, argumentos para a adoção desse limite a 15%;

- ▶ 15 – 30% - Forte, fortemente inclinada, a capacidade de Uso das Terras (15-45%) indica escoamento superficial muito rápido, com uso restrito de maquinário, e apenas algumas máquinas leves podem ser utilizadas, mas com dificuldade. Young (1972) classifica como “moderadamente íngreme”, de 10° a 18° (17,6 a 32,5% respectivamente). Optou-se por arbitrar o limite em 30% que é o limite original proposto por Ross (1994) e próximo da proposta de Young.
- ▶ >30% - Muito forte, íngreme, muito íngreme e escarpado.

Um dos fatores importantes que também contribuíram para essa escolha é a adoção do limite de 15% de declividade, vinculado às restrições do emprego de equipamento motorizado nas lavouras. Em áreas agrícolas esse fator significa mudanças nas formas de uso e manejo que, se não forem adequadamente empregadas, podem intensificar as perdas de solos por erosão linear e a instalação de processos erosivos lineares.

5.3. Análise e validação da metodologia proposta

Para verificar a eficiência das modificações introduzidas e dos parâmetros adotados para a metodologia de mapeamento da fragilidade ambiental, recorreu-se à comparação do resultado (gerado com a aplicação da classificação da declividade simplificada da FAO) com outras formas de avaliação de erosão: aplicação da EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) proposta por Wischmeier e Smith (1978); mapa de “limiar de erosão”; levantamento de feições erosivas em imagens do Google Earth e no campo.

5.3.1. Comparação com os mapas de perdas de solo e de “limiar de erosão”

O mapa de previsão de perda de solo por erosão laminar, elaborado com a aplicação da EUPS (Figura 29), mostra que em 82% da área da unidade hidrográfica, a estimativa de perda é inferior a 6 t.ha⁻¹.ano⁻¹, em 11,5% as taxas variam de 6 a 12 t.ha⁻¹.ano⁻¹, enquanto valores mais elevados são previstos para 6,5% da área. Os dados completos estão apresentados na Tabela 14.

Figura 29 – Mapa de perdas de solo por erosão laminar (EUPS).

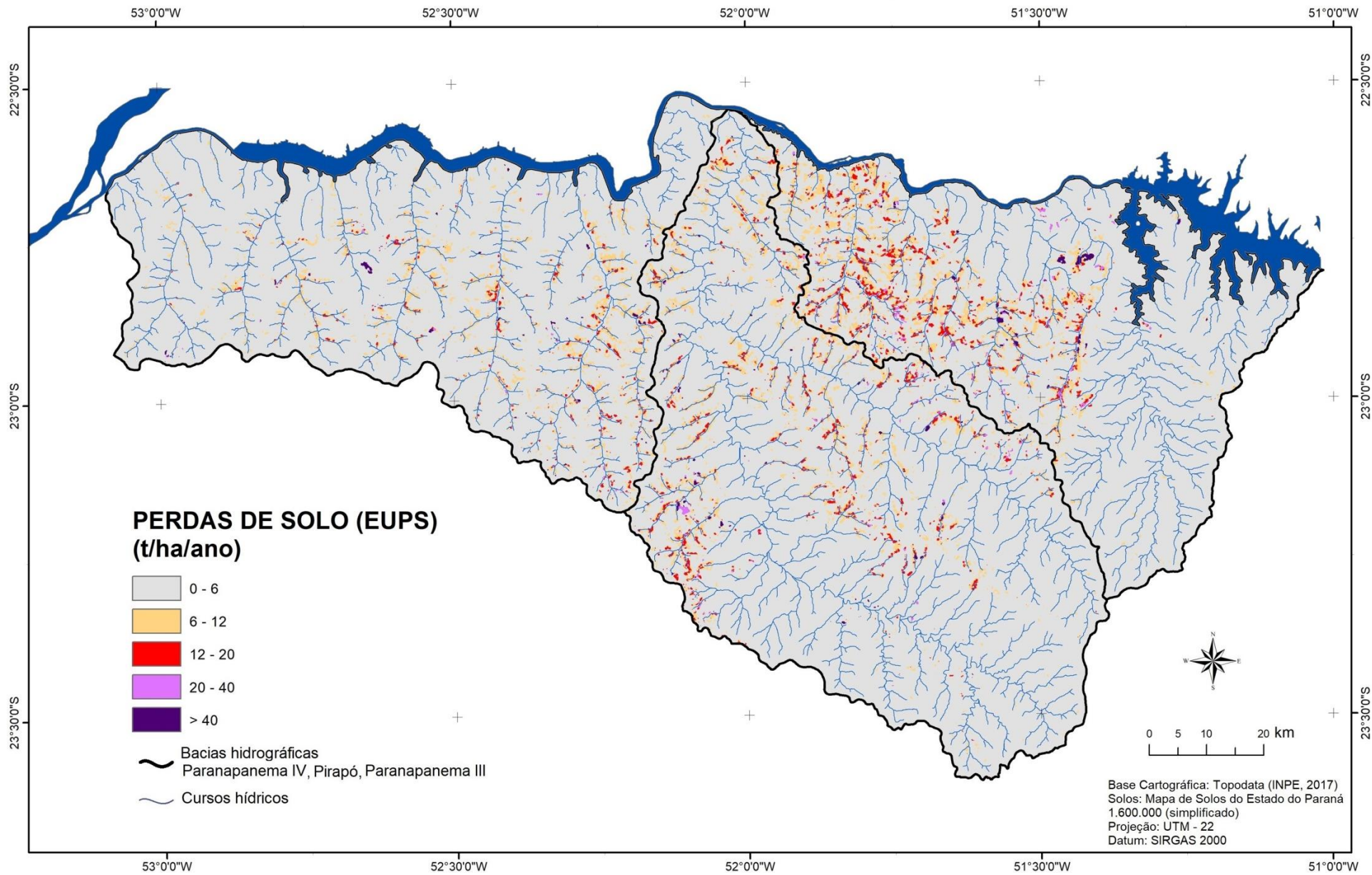


Tabela 14 – Estimativa de perdas de solo por erosão laminar na Unidade Hidrográfica do Paranapanema III, Pirapó e Paranapanema IV.

Perda de solo em t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Área atingida (%)
0 a 6	82
6 a 12	11,5
12 a 20	4
20 a 40	1,5
>40	1,0

O mapa (Figura 29) revela, ainda, que as perdas são potencialmente maiores nas áreas de solos de textura arenosa/média, derivados dos arenitos, e principalmente sobre os Argissolos. Na área onde o substrato geológico é o basalto, as maiores perdas aparecem associadas à ocorrência dos Neossolos Litólicos.

Assim, para a Unidade Hidrográfica do Piraponema, os maiores volumes de perda de solo concentram-se, principalmente, na bacia hidrográfica do Paranapanema III (compartimentos 1a e 1b) sobre a Formação Santo Anastácio e Formação Caiuá (arenitos), recobertas por Latossolos (textura arenosa/média), Argissolos e Gleissolos, abrangendo, desta forma, toda a vertente, enquanto que, sobre a área de ocorrência do basalto – Formação Serra Geral, as perdas são imperceptíveis na escala adotada.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema IV, as maiores perdas ocorrem, de forma mais concentrada no setor leste da bacia, caracterizado por Nóbrega et al. (2015) como compartimento 5b, com colinas pequenas a médias e declives suaves a moderados, e, sobre Latossolos (textura arenosa/média) e Argissolos, desenvolvidos sobre a Formação Caiuá (arenitos). Em contrapartida, no compartimento 5a, descrito pelos autores anteriores, o relevo apresenta colinas amplas e declives suaves, colaborando, desta forma, para que a intensidade do fluxo hídrico seja menor, em comparação com o outro setor.

Já na bacia hidrográfica do Pirapó as perdas de solo acontecem, principalmente, sobre a Formação Santo Anastácio e Formação Caiuá, no compartimento 3 - arenítico (NÓBREGA et al. 2015). Demonstra dessa forma, uma grande influência da textura do solo sobre a quantidade de perdas, uma vez que, mesmo em declividades acentuadas na alta bacia do rio Pirapó, sobre

solos argilosos derivados do basalto, essa perda não é visível, na escala adotada.

Além disso, com a sobreposição desse mapa (Figura 29) àquele da fragilidade ambiental emergente (EUPS x Fragilidade Emergente-FAO) (Figura 30) é possível observar, claramente, que as perdas de solo acima de $6 \text{ t.ha}^{-1} \text{.ano}^{-1}$ ocorrem preferencialmente nas zonas classificadas como forte ou muito forte fragilidade ambiental emergente e, menos frequentemente, na classe moderada.

Para detalhar a análise recorreu-se a um mapeamento complementar, aqui denominado de mapa de “limiar de erosão”, com o intuito de estabelecer as relações entre as perdas de solos previstas e a tolerância à erosão que as diferentes classes de solos apresentam (Figura 31). Sobre a tolerância dos solos à erosão, Bertoni e Lombardi Neto (1990, p. 86) afirmam:

“A tolerância de perda de solo é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície e por ano, mantendo ainda o solo elevado nível de produtividade por longo período de tempo. Essa tolerância reflete a perda máxima de solo que se pode admitir, com um grau de conservação tal que mantenha uma produção econômica em futuro previsível com os meios técnicos atuais”.

Desse modo, tomando como referência os valores de tolerância à erosão, obtidos por Lombardi Neto e Bertoni (1975), para as mesmas classes de solos no estado de São Paulo, e os dados de previsão de perdas de solo por erosão (Figura 31 X Figura 29 – Tolerância X EUPS), foi elaborado o mapa de “limiar de erosão” Figura 32 (procedimento descrito no item Materiais e Métodos).

O mapa de “limiar de erosão” (Figura 32) evidencia as áreas onde a previsão de perdas por erosão já é superior à tolerância da classe de solo local, destacando, novamente, as áreas de fragilidade ambiental emergente forte ou muito forte.

Figura 30 – Comparação da EUPS e Fragilidade Ambiental Emergente (classes de declividades FAO simplificadas).

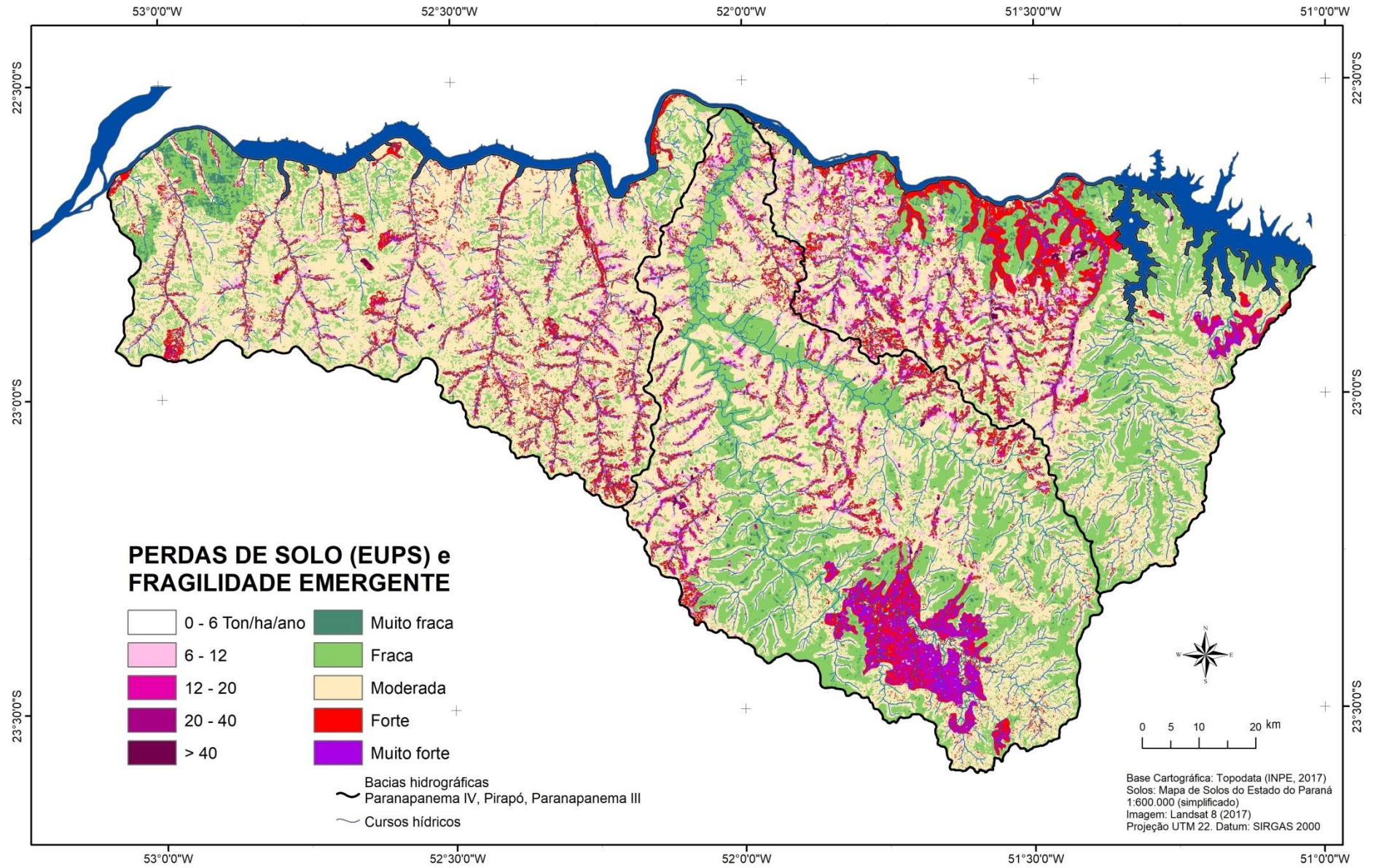


Figura 31 – Mapa de tolerância em perdas de solo.

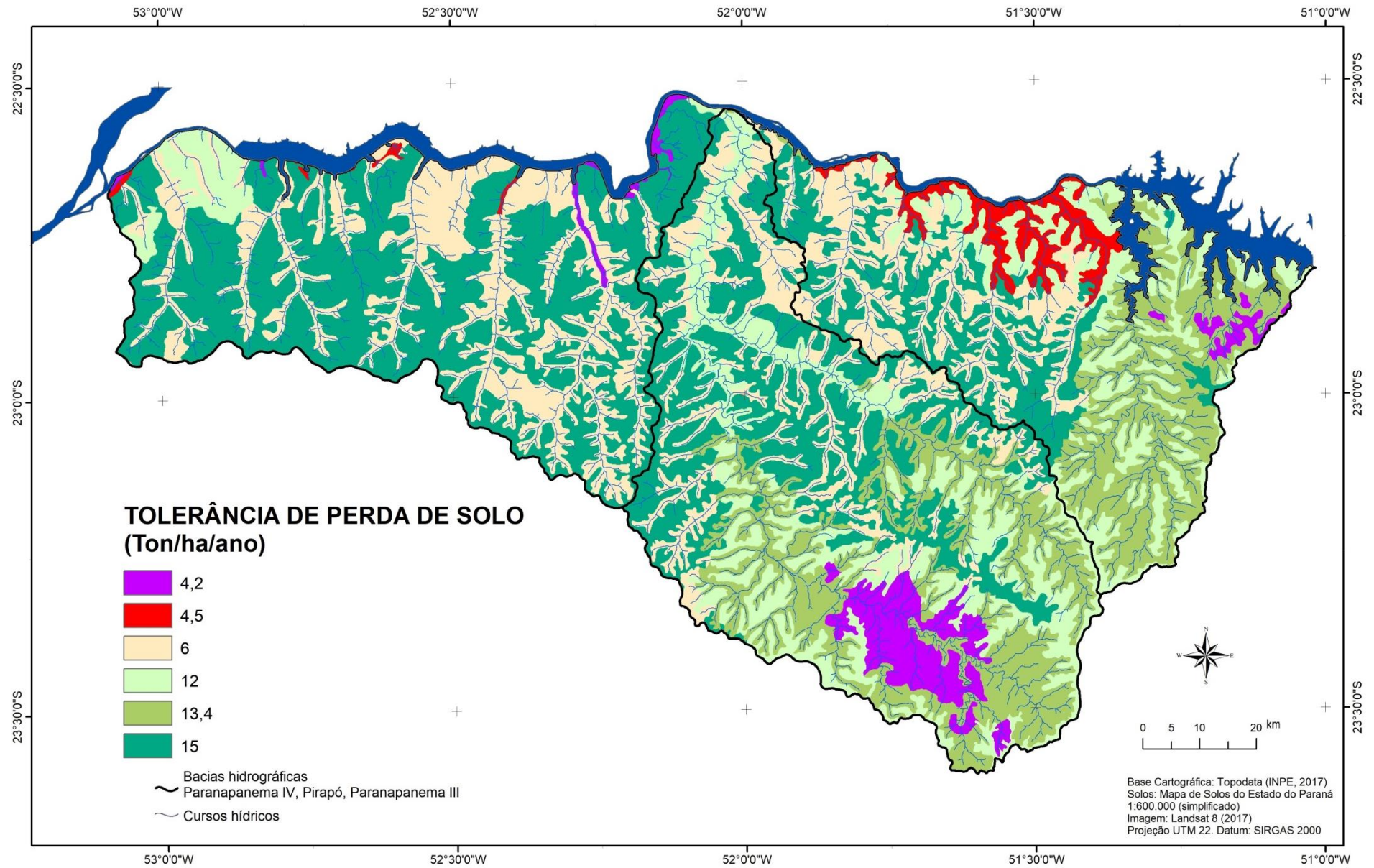
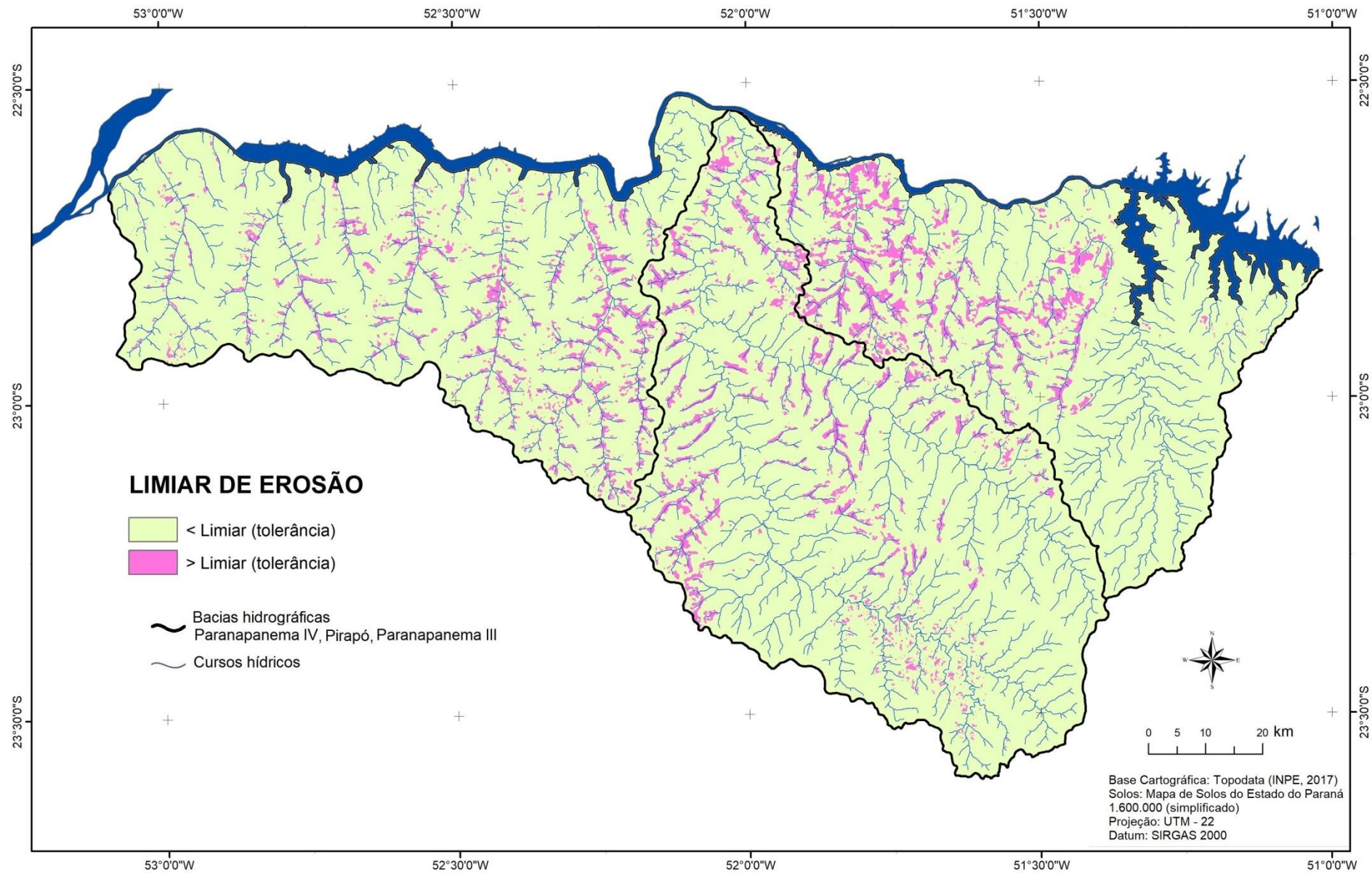


Figura 32 – Mapa de limiar de erosão.



Na Figura 33 é apresentada a sobreposição do mapa de “limiar de erosão” ao de fragilidade ambiental emergente (classes de declividades da FAO). Observa-se, novamente, que as áreas que estão classificadas como acima do limiar coincidem, preferencialmente, com as zonas de fragilidade emergente forte e muito forte. Os dois mapas acima apresentados demonstraram que a metodologia para a determinação da fragilidade ambiental emergente é consistente, principalmente porque ela se mostrou capaz de delimitar as zonas onde os processos erosivos são potencialmente mais frequentes e com maiores perdas.

A Figura 34 (Limiar x Fragilidade) retoma as diferentes classes de declividade na elaboração das cartas de fragilidade ambiental emergente e as compara, usando o recurso da sobreposição, com aquela do limiar de erosão. A sobreposição das cartas mostra que a fragilidade ambiental emergente, elaborada com as classes de declividades propostas por Ross, subestima em grande parte as áreas (categorias de fragilidade 4 e 5) onde o limiar de erosão já foi ultrapassado. O mapa (Figura 34) elaborado com a aplicação das classes de declividades da Embrapa, ao contrário, é o que mais superestima essa condição. Os mapas gerados com as classificações das declividades de Young e do método de Quebra Natural, também apresenta a categoria 4 de fragilidade relativamente mais alargada do que aquela prevista pelo “limiar de erosão”.

O mapa de fragilidade ambiental emergente realizado com a adoção das classes de declividades propostas pela FAO, simplificada, exibe uma correspondência maior em grande parte da Unidade Hidrográfica, tanto em termos de largura das faixas quanto na sua extensão e continuidade. Considerando-se apenas as áreas mapeadas na carta de “limiar de erosão”, verifica-se que, na carta de fragilidade emergente, há eventualmente, uma extrapolação da área da categoria 4, mas que é proporcionalmente pequena em relação às outras combinações. Ela fornece deste modo, uma segurança maior na previsão da categoria de fragilidade forte (categoria 4). Assim, as comparações realizadas com os mapas de perda de solos por erosão laminar (com aplicação da EUPS) e com o de “limiar de erosão”, mostram que a metodologia proposta revela a fragilidade da área à erosão laminar, justificando a adoção dos novos parâmetros estabelecidos (classes de declividades, fragilidade dos solos e grau de proteção pela cobertura vegetal).

Figura 33 – Comparação entre Limiar de Erosão e Fragilidade Ambiental Emergente (FAO simplificada).

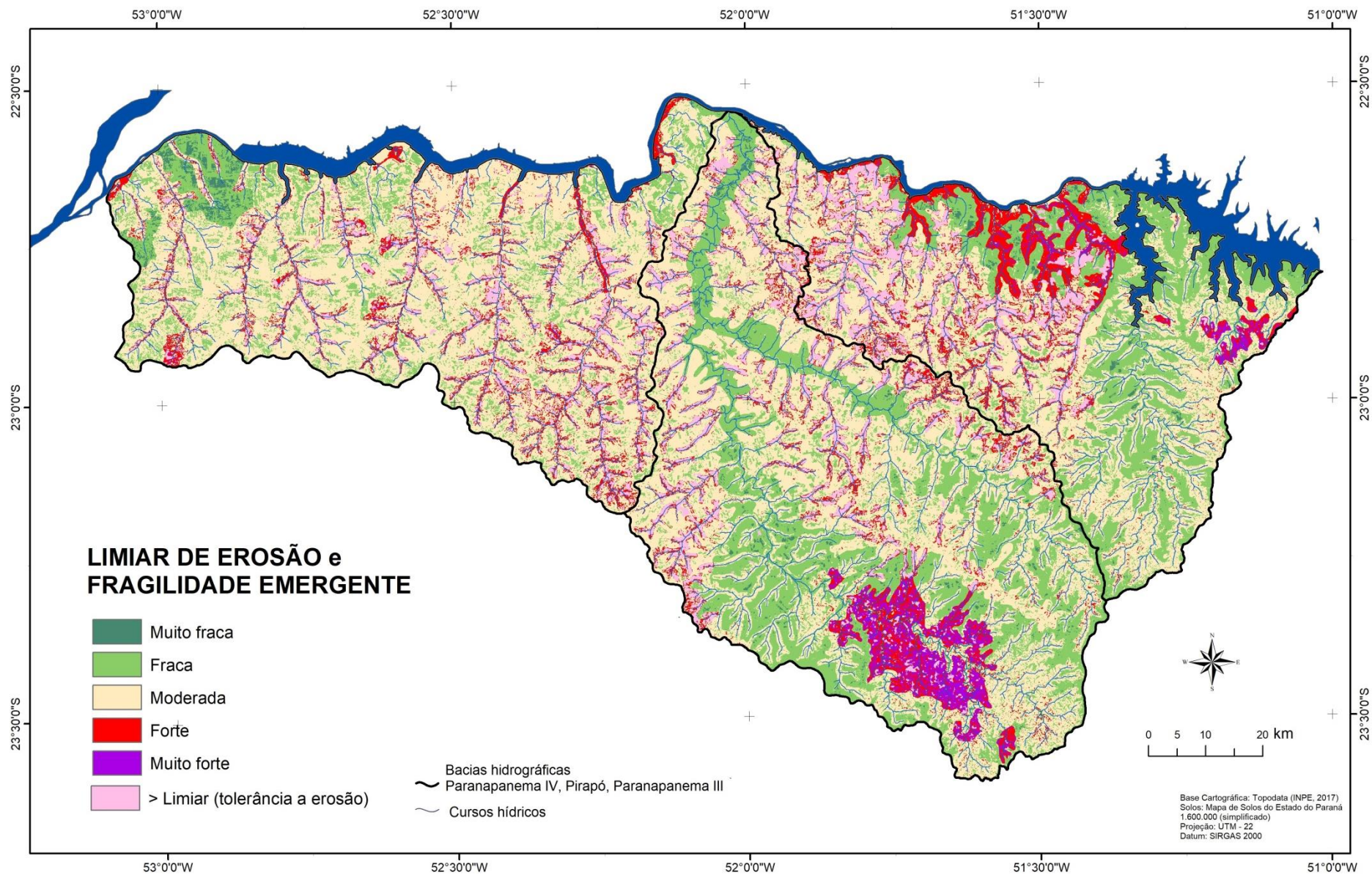
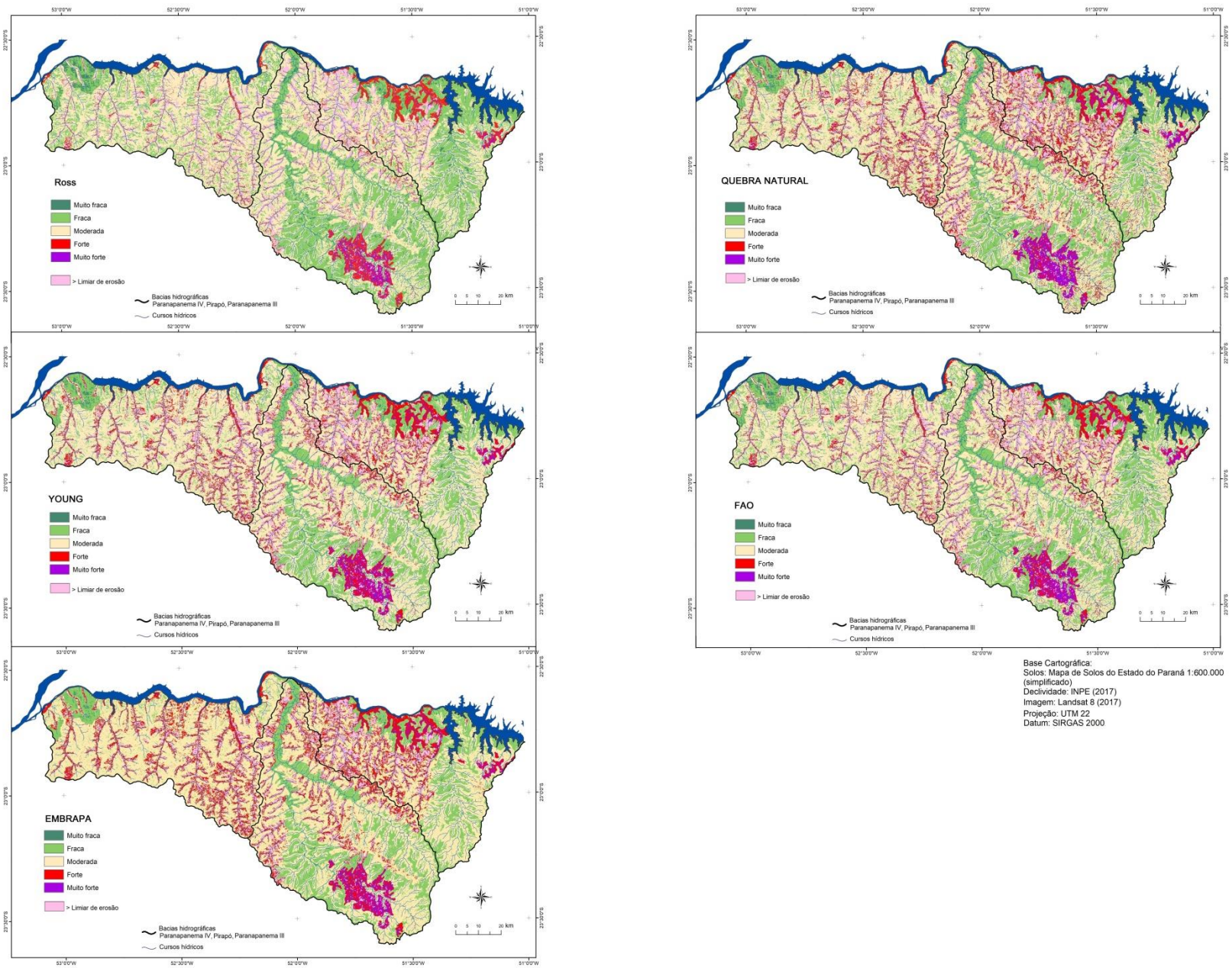


Figura 34 – Comparação entre o Limiar de Erosão e a Fragilidade Ambiental Emergente.



5.3.2. *Levantamento das formas erosivas em campo*

No Estado do Paraná, segundo Derpsch et al. (1991), a forma mais frequente de erosão hídrica é a laminar e a erosão em sulcos. Segundo o autor, a erosão laminar causa a perda de solo de uma maneira difusa, enquanto que a erosão em sulcos é visualmente observada em campo.

Aplicando esses princípios na Unidade Hidrográfica do Piraponema, foi possível identificar vários tipos de processos erosivos e seus fatores condicionantes, na área das bacias hidrográficas do Paranapanema IV, Pirapó e Paranapanema III, a seguir:

5.3.2.1. *Erosão Laminar*

A erosão laminar ocorre após o início da chuva, quando há o excesso de água e se inicia o escoamento nas vertentes. Segundo Horton (1945) esta erosão ocorre em forma de fluxo difuso e pouco concentrado, removendo as partículas mais leves do solo, a reserva de húmus e minerais – o solo biologicamente mais ativo – além disso, conforme Guerra (1998) esta erosão causa a remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo, que gera prejuízos à produtividade agrícola. O preparo do solo empregado na agricultura tradicional e sua consequente exposição, durante as entressafras e pousios, estão entre as principais causas do processo de erosão laminar (DERPSCH et al., 1991).

Na Figura 35, é possível observar o procedimento de preparo do solo e a ação da erosão laminar, em diversos locais na bacia hidrográfica do Paranapanema IV. A Figura 35-A em área sobre o basalto, no município de Inajá, demonstra uma extensa área de solo exposto, para posterior cultivo de cana-de-açúcar, onde nota-se também a presença de maquinário agrícola pesado, que, segundo Gamero (2008), colabora para a compactação e interfere na estrutura dos solos, facilitando desta forma o arraste das partículas pela erosão laminar.

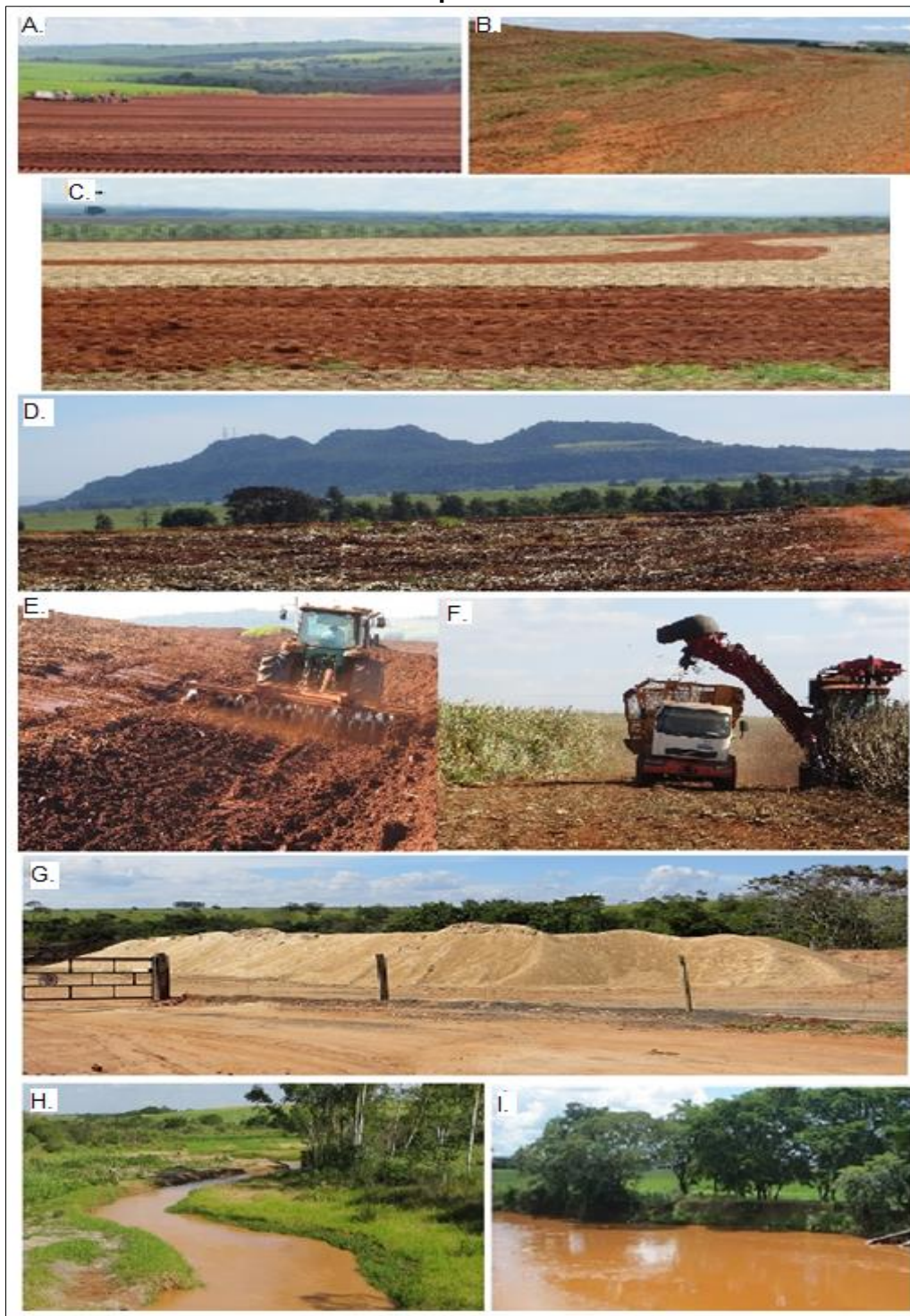
Nas áreas agrícolas de Paranaíba (Figura 35-B), sobre arenito, é possível observar a mudança na cor e no aspecto geral do material superficial do solo, decorrente do escoamento superficial difuso.

Em São João do Caiuá há um exemplo do início de preparo do solo, sobre a palha da colheita de cana-de-açúcar (Figura 35-C), onde também ocorre a exposição do solo. É possível observar ainda que há áreas com platio de soja e reflorestamento, cada qual pode se comportar de maneira distinta aos processos erosivos.

Na Figura 35-D, em Terra Rica, destacam-se os Três Morrinhos, com área preservada de vegetação, contudo, em seu entorno há agricultura intensiva, com o uso de maquinário pesado (Figuras 35-E e 35-F), em cultivo de cana-de-açúcar, causando o revolvimento constante e períodos de solo exposto.

Há ainda na região de Terra Rica a exploração da areia (35-G), retirada do leito do rio da Coroa do Frade (a jusante do ponto de monitoramento de água), isso se deve pela seleção do tamanho das partículas/sedimentos carreados no processo de erosão, ou seja, quanto maior, mais rapidamente se assenta/deposita, enquanto que as granulometrias mais finas são transportadas aos cursos d'água (FENDRICH, 1991). Assim, o curso d'água (35-H) se apresenta assoreado e com uma alta turbidez, mesmo para áreas de arenito. Assim também, no município de Jardim Olinda (Figura 35-I) é possível observar uma grande carga de sedimentos em suspensão no curso d'água, sendo reflexo do carreamento, causado em parte pela erosão laminar nas vertentes.

Figura 35 – Exemplos da ação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.



A erosão laminar é observada em várias situações na bacia hidrográfica do rio Pirapó (Figura 36). Oyama (2017), em seu estudo sobre o uso e manejo do solo na bacia do Pirapó, destaca que os solos de textura média, Latossolo Vermelho e Argissolo, presentes em algumas propriedades

rurais, são mais suscetíveis aos processos erosivos e necessitam de uma maior atenção em seu manejo.

Na Figura 36-A, no município de Maringá, sobre o basalto, o uso de maquinário agrícola é utilizado para o preparo do solo em culturas temporárias, mesmo em propriedades rurais menores. Derpsch et al. (1991) destacam que aproximadamente 80% das áreas, de cultura temporária, permanecem em pousio após a colheita, durante o inverno, seguindo o calendário agrícola, assim, em determinada estação do ano a área estará mais sujeita à erosão laminar, uma vez que terá o solo exposto.

A Figura 36-B em Astorga, na área de contato arenito/basalto, a erosão laminar se mostra presente no cultivo de soja. Na imagem é possível observar uma extensa área cultivada e o acúmulo de sedimentos nas áreas mais baixas da vertente – isso pode, além de soterrar o cultivo, dependendo da sua fase de crescimento, diminuir as áreas úteis para a plantação. No município de Colorado (Figura 36-C) essa mesma deposição dos sedimentos é vista entre o cultivo de cana-de-açúcar, em sua fase inicial de crescimento, demonstrando a forte ação da erosão laminar.

Na Figura 36-D, em Cambira, e na Figura 36-E, em Astorga, ambas sobre o basalto, é possível observar o aspecto da paisagem: presença de culturas temporárias, em áreas onde é possível realizar a mecanização, e reflorestamento/vegetação florestal, em vertentes mais acentuadas ou próximas aos cursos d'água. Nestas Figuras também se nota uma extensa área de preparação do solo para o próximo cultivo – nelas, mesmo com a cobertura da palha, da colheita anterior, o solo se mostra desagregado em superfície, assim, estará sujeito, após um evento de precipitação, a sofrer erosão pelo escoamento difuso.

No município de Marialva, sobre o basalto, a Figura 36-F destaca o cultivo de soja, onde se nota a presença de áreas abertas, com solo revolvido entre a plantação, em uma vertente um pouco mais acentuada, em relação à paisagem local. Enquanto que em Colorado (Figura 36-G) observa-se uma extensa área de solo exposto, com curvas de nível sendo preparadas por maquinário. Este sistema de curvas de nível é utilizado para conter a erosão, contudo, no caso em questão, a área ainda está suscetível a processos erosivos laminares pelo solo desnudo.

E, a Figura 36-H apresenta um curso d'água, da área agrícola de Atalaia, sobre o arenito, enquanto que a Figura 36-I um curso d'água sobre o basalto, no município de Sabáudia. Nestes é possível observar, de modo simples, a questão da turbidez da água – denunciando a ocorrência de sedimentos carregados, em parte, resultantes da erosão laminar.

Figura 36 – Exemplos da ação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Pirapó.



Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, no município de Cafeara, sobre o arenito, é possível observar ação da erosão laminar na área urbana (Figura 37-A), com a abertura de um loteamento e a necessidade da instalação hidráulico-sanitária, há de se fazer necessário à abertura e revolvimento de solo para o uso e ocupação da área. Contudo, até a finalização destas obras, o

solo permanece desnudo e suscetível a ser carregado pela ação do escoamento.

No município de Prado Ferreira, área de contato arenito/basalto, a erosão laminar se apresenta sobre o a pastagem (Figura37-B). Enquanto que sobre o basalto, na área rural do município de Cambé, sobre Nitossolo, se observa efeitos da erosão laminar, mesmo com a adoção do plantio direto em vertente com declividade variando entre 10 e 15%, em área de fragilidade ambiental emergente moderada (Figura 37-C), há de se mencionar ainda a exposição do solo – após a colheita de soja, e, onde se nota a direção preferencial dos fluxos de escoamento. A Figura 37-D, por sua vez, mostra o efeito do escoamento difuso na parte baixa da vertente (em área de Argissolos textura arenosa/média) em plantação de cana no início do ciclo.

Figura 37 – Exemplos da ação da erosão laminar na bacia hidrográfica do Paranapanema III.



5.3.2.2. Erosão Linear

A erosão Linear é decorrente da ação do escoamento hídrico superficial, onde a água tende a se concentrar em canais inicialmente bem pequenos, e, devido a essa concentração, ocorre um atrito entre as partículas e o fundo dos canais, que leva a um aumento da sua profundidade (GUERRA, 2005).

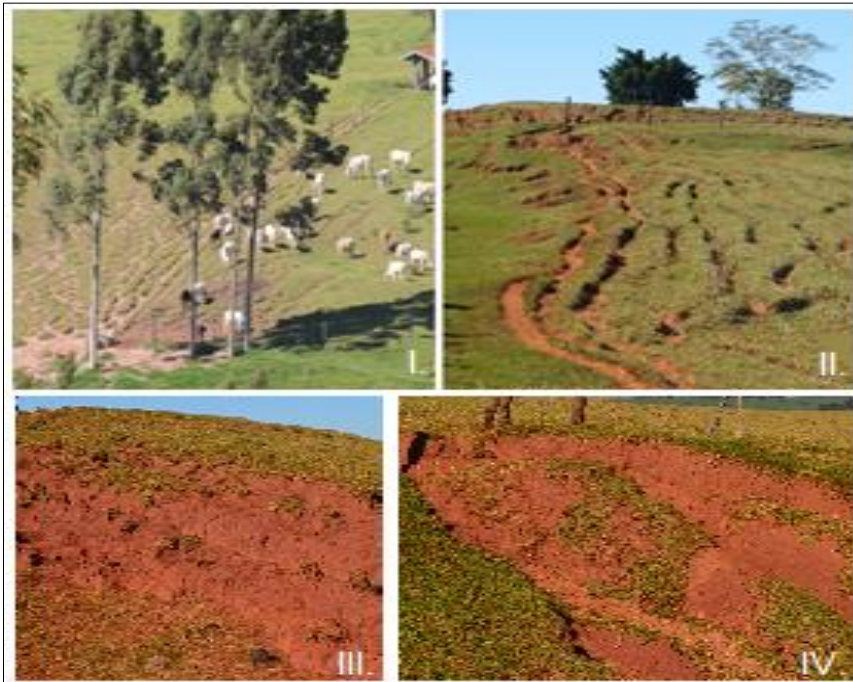
Segundo Bigarella et al. (2003) esta erosão hídrica ainda pode ser subdividida em sulcos, ravinas e boçorocas/voçorocas:

- Sulcos: são pequenas linhas/cortes perpendiculares às curvas de nível;
- Ravinas: é a erosão avançada, onde a água do escoamento superficial escava o solo e atinge seus horizontes inferiores, mas não atinge o nível freático;
- Boçorocas/voçorocas: é o estágio mais avançado da erosão linear, caracterizada pelo aumento da profundidade das ravinas e atingindo o lençol freático (PETIT, 1990; CASSETI, 1991; THOMAS, 1994).

A formação dos sulcos pode evoluir também das trilhas de gado geradas pelo caminhar contínuo do gado ao longo da vertente (IBGE, 1973; VELOSO, 2002; GIROLDO, 2013). Assim na área da Unidade Hidrográfica é possível observar várias situações da ocorrência deste processo erosivo (Figura 38).

Na área rural de Terra Rica (Paranapanema IV) se vê o caminho feito pelo animal repetido ao longo do dia, geralmente, ao longo do mesmo traçado em direção aos bebedouros e/ou comedouros, assim há uma compactação do solo, que gera um processo erosivo linear, como pode ser observada na Figura 38-I em Colorado (Pirapó), além disso, esse processo de sulco tende a evoluir (Figura 38-II), caso não seja contido, e, ao manter o rebanho com os mesmos hábitos, pode ocorrer uma aceleração do processo: as trilhas evoluem para sulcos e, em uma situação mais grave para ravinas chegando à formação de “bad lands” (área extensamente ravinada) – Figura 38-III e IV. Essas áreas se situam, geralmente, às margens dos cursos d’água onde o gado bebe água.

Figura 38 – Exemplos da evolução de processos erosivos em pastagens na Unidade Hidrográfica.



Além das erosões lineares visíveis e formadas sobre a área de pastagem, há uma série de processos erosivos que estão ocultos pelas plantações, o que torna mais difícil compreender a situação local.

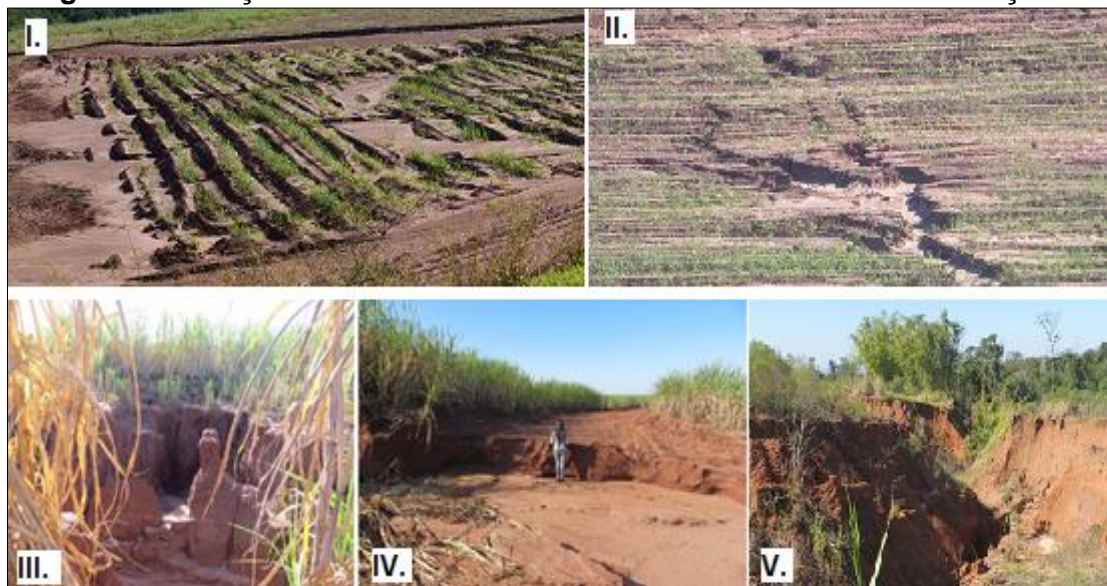
Assim, em áreas de cultivo, principalmente de cana-de-açúcar sobre os solos de textura arenosa/média (Argissolos principalmente), ocorre, ao mesmo tempo em que a erosão laminar, os primeiros estágios da erosão linear com a formação de pequenos sulcos entre as plantas, em sua fase inicial de desenvolvimento (Figura 39-I). Em alguns locais estes sulcos, se aprofundam mais do que em outros evoluindo para ravinas (Figura 39-II), e, conforme o estágio da plantação, essas feições erosivas podem evoluir atingindo profundidades e extensões maiores e, ainda assim, permanecer camuflada pela cana (Figura 39-III).

Esta situação de ravinamento na plantação alcança as demais áreas, muitas vezes atingindo os carregadores e impedindo a circulação local de equipamentos e veículos (Figura 39-IV).

Quando as áreas de plantio estão instaladas em cabeceiras de drenagem, a evolução de ravinas para voçorocas tende a ocorrer, como se observa (Figura 39-V) em Colorado (bacia hidrográfica do Pirapó), e, a partir

disso, a situação se encontra avançada, consumindo as áreas úteis da plantação, podendo ser vista, em alguns casos por imagens de satélite.

Figura 39 – Feições erosivas lineares em área de cultivo de cana-de-açúcar.



O inadequado uso da terra é considerado fator principal e decisivo no surgimento das voçorocas, conforme destacado por Casseti (1991).

De acordo com Fendrich (1991), os fenômenos erosivos são mais expressivos nas regiões com solos de textura média - sobre o arenito. Na área da Unidade Hidrográfica do Piraponema, o autor ainda destaca as voçorocas dos municípios de Loanda, Guairaçá, Nova Esperança, Paranaíba, Santo Antônio do Caiuá e Terra Rica, todas percentences à bacia hidrográfica do Paranapanema IV. Outros autores também evidenciaram os fenômenos erosivos em solos de textura média, nesta região (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999; GASPARETTO, 1999; NAKASHIMA, 1999; TERASSI, SILVEIRA, BONIFÁCIO, 2014).

A voçoroca apresentada na Figura 40, na área rural de Terra Rica, sobre o arenito Caiuá, que origina solos de textura média, que são mais suscetíveis à evolução de processos erosivos acelerados, naturalmente.

Toy, Foster e Renard (2002) ressaltam que a propriedade mais importante para o estudo da erosão é a textura do solo – solos com maior quantidade de argila são mais resistentes à erosividade, por sua capacidade de agregação, enquanto que as texturas médias, areias, possuem baixa

agregação, que facilita o destacamento das partículas. Assim, na Figura 40-I a voçoroca se instalou e evoluiu sobre o Latossolo Vermelho (textura média), onde é possível observar a espessura do solo até o nível de água do terreno. Esta voçoroca, em particular, foi gerada pela descarga da drenagem urbana de Terra Rica. Voçorocas também foram identificadas, instaladas em áreas de cabeceira em anfiteatro bem marcado (Figura 40-II), a montante da área de preservação ambiental permanente.

Outra questão que pode ser observada na Figura 40-I é a divisão das áreas, ou seja, este processo erosivo não respeita limites de cercas e propriedades, e, desse modo, se um proprietário não fizer o manejo adequado de suas terras, a propriedade ao lado pode sofrer com o avanço dessa voçoroca.

Figura 40 – Exemplo de ocorrência de voçoroca na bacia do Paranapanema IV.



Todavia é importante ressaltar que os processos de voçorocamento, independente da posição topográfica e tipo de solo, podem surgir pela descarga concentrada de fluxos hídricos locais, em estradas e periferias urbanas. Assim, destaca-se a influência da urbanização no desencadeamento de processos erosivos que atingem de modo grave (como foi visto no exemplo anterior) o espaço rural.

Nos exemplos da Figura 41-I e II, em Nova Esperança (bacia hidrográfica do Paranapanema IV), observa-se a evolução de uma voçoroca,

produzida pela descarga de galerias pluviais, onde se nota o avanço lateral com o solapamento das margens e arraste das árvores e vegetação local.

No município de Maringá (bacia hidrográfica do Pirapó), em área sobre o basalto e com solos de textura argilosa, são encontradas também inúmeras ravinas e voçorocas no interior dos parques e reservas florestais, resultantes do despejo desregrado da drenagem pluvial urbana nestes locais (MARÓSTICA et al., 2003; SOUSA e HAYASHI, 2013).

Figura 41 – Exemplos de voçorocas em área urbana.



O manejo inadequado dos solos pode acarretar em diversos processos erosivos em um mesmo local, como se observa no exemplo da Figura 42, em uma área rural da bacia do Paranapanema III. No caso em questão, sob a plantação de cana-de-açúcar em estágio inicial, se instalaram diferentes formas erosivas: (a) o desenvolvimento de sulcos em toda a extensão da propriedade, surgimento de ravinas (b) em várias posições da vertente e de diversos tamanhos, assim como a erosão laminar (c) com o carreamento de material do solo de forma difusa ao longo do cultivo, e a formação de um leque de deposição (d) a jusante da ravina e, principalmente o assoreamento (e) do leito do curso d'água, onde é possível observar o alargamento da área de várzea e um estreitamento do canal, com a adição de grande quantidade de sedimentos no curso d'água, o que prejudica diretamente a quantidade e qualidade da água.

Figura 42 – Processos erosivos em área rural: a. sulcos; b. ravinas; c. erosão laminar; d. leque de deposição; e. assoreamento.



O assoreamento dos rios é, também, recorrente na Unidade Hidrográfica, causada pelo manejo inadequado dos solos e pelos processos erosivos instalados. Segundo Guerra (1995) os processos erosivos geram os materiais que darão origem ao assoreamento, dessa maneira, quando não há energia suficiente para o transporte do material erodido, este acaba sendo depositado, alterando a morfologia dos rios.

Na Figura 43, é possível observar a evolução do processo de assoreamento de um curso d'água. Onde:

a. Imagem do ano de 2013, quando o curso d'água tem seu percurso definido, há uma área de várzea e a vegetação acompanhando o canal. Área de pastagem e cultura temporária, com alguns processos erosivos evidentes. A imagem reflete uma condição de estabilidade;

b. Imagem do mês de abril de 2016, onde se já se percebe alteração da morfologia do curso d'água em relação à condição anterior – mudança no percurso, surgência de meandros, alargamento do canal e uma deposição central de sedimentos, que já é ocupada por vegetação, assim como uma concentração aparente de sedimentos finos na água e arenosos na várzea, representada pela cor marrom e branca/cinza, respectivamente. Neste período, o canal teve a sua forma e traçado alterados.

c. Imagem do mês de agosto de 2016, o curso d'água encontra-se completamente assoreado com a deposição de novos sedimentos, o que caracteriza um contraste com a situação inicial. A área de várzea foi completamente recoberta por sedimentos atuais, assim como parte da vegetação marginal. No interior do canal, há vários depósitos e bancos de

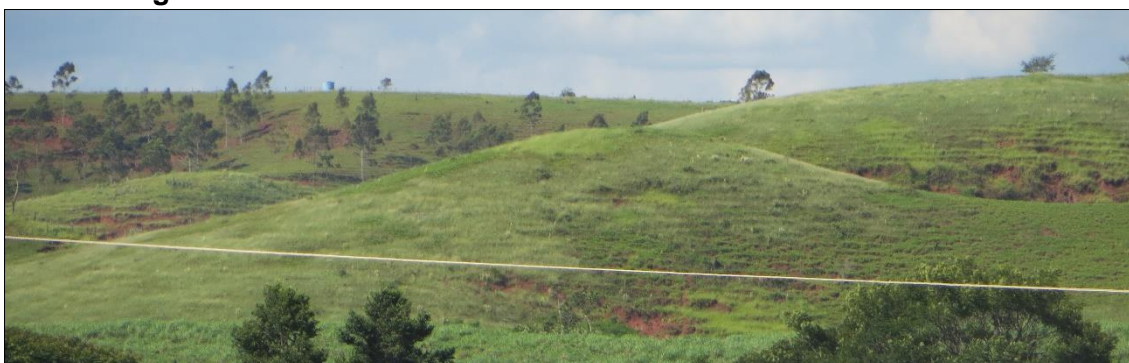
areia, consolidados e com vegetação estabelecida e, o traçado do canal já não é facilmente identificado, apresentando agora um padrão mais complexo (entrelaçado).

**Figura 43 – Evolução de um processo de assoreamento:
a.2013, b. 04/2016, c. 08/2016.**



Outras formas erosivas foram também observadas, sobretudo em áreas de declividades mais acentuadas (fragilidade forte e muito forte), são os terracetes e movimentos em massa superficiais de solo. Essas feições aparecem tanto na área de ocorrência dos arenitos quanto dos basaltos. A Figura 44, no município de São João do Caiuá (Paranapanema IV), exemplifica essas ocorrências.

Figura 44 – Formas erosivas em declividades mais acentuadas.



5.3.3. Levantamento de formas erosivas em imagens do Google Earth

Além dos levantamentos de dados em campo, como já indicado, procedeu-se a um levantamento de formas erosivas aproveitando as imagens e o programa Google Earth. Dada a extensão da área, essas observações foram realizadas apenas em um dos subcompartimentos (1a) delimitados por

Nóbrega et al. (2015) na bacia do Paranapanema III. Esse subcompartimento foi selecionado por apresentar uma extensão expressiva de área classificada nas categorias de fragilidade ambiental emergente forte e moderada. O subcompartimento 1b, apresenta também uma grande área dessa categoria, mas as causas que geram essa classificação estão relacionadas exclusivamente à vasta ocorrência mapeada dos Gleissolos (solos hidromórficos).

Segundo Nóbrega et al. (2015) a bacia do Paranapanema III, apresenta um compartimento basáltico e um arenítico. O compartimento arenítico, designado como 1, é entalhado por três bacias hidrográficas maiores e outras menores de tributários diretos do Paranapanema, o relevo é caracterizado por colinas médias a pequenas. Esse compartimento foi subdividido em 1a – subcompartimento essencialmente arenítico, onde ocorrem os Latossolos Vermelhos, mais restritos aos topos, e os Argissolos Vermelhos que aqui, segundo os autores, recobrem parte mais significativa das vertentes. São solos de textura arenosa/média, geralmente ocupados por pastagens e culturas de cana-de-açúcar. O subcompartimento 1b se caracteriza por ser uma zona de contato arenito/basalto, onde ocorrem solos gradualmente mais argilosos.

Nas observações realizadas procurou-se manter uma altitude de visão em uma faixa relativamente constante (em torno dos 600 metros), ampliando-se apenas para a identificação dos tipos das feições erosivas. Durante esta análise fez-se a distinção das formas erosivas de modo genérico, dadas às condições da observação, em formas de erosão rasas, formas de erosão profundas, movimentos em massa do solo e assoreamento expressivo.

Como formas de erosão rasas, foram indicados os pontos que apresentavam:

- evidências claras de erosão areolar, com movimentação superficial do material do solo;
- trilhas bem desenvolvidas em áreas de pastagem produzidas pelo pisoteio dos animais. Registraram-se apenas aquelas que eram evidentemente mais acentuadas e/ou se apresentassem multiplicadas (dispostas paralelamente), evidenciando o abandono do traçado pelos animais;
- sulcos rasos em áreas de cultivos ou pastagens (evolução das trilhas).

As formas de erosão rasas são facilmente corrigidas pelo manejo do solo e, por isso, nem sempre são detectadas na mesma área, quando se observa imagens anteriores.

Como formas de erosão profunda, movimentos em massa do solo e assoreamento expressivo foram indicados os pontos onde se observava claramente:

- ravinas, geralmente isoladas na vertente e com áreas de depósito de material a jusante; ou formando “bad lands” junto às margens dos cursos d’água, nos pontos onde o gado vai beber água;

- voçorocas, geralmente conectadas a áreas de nascentes ou cursos d’água;

- terracetes e micro deslizamentos em áreas de pastagem associados às vertentes com maior declividade;

- assoreamento expressivo com modificação evidente do leito do curso d’água.

Na Figura 45 observa-se que os pontos de erosão profunda, movimentos em massa e assoreamento estão na sua maior parte distribuídos ao longo das faixas mapeadas com a categoria de fragilidade ambiental emergente forte. Acompanham os fundos de vales e se multiplicam nos anfiteatros marcados das cabeceiras de drenagem. Eventualmente ocorrem nas áreas de fragilidade ambiental emergente moderada, mas nestes casos, podem estar associados à existência de carregadores, limites entre propriedades ou despejo de drenagem urbana e/ou de rodovias.

As feições erosivas rasas ocorrem tanto nas áreas de forte fragilidade ambiental quanto nas mapeadas como de fragilidade emergente moderada.

Nas Figuras 46 e 47 apresentam-se exemplos das formas e processos identificados e os seus modos de ocorrência na paisagem.

Figura 45 – Mapa de pontos de erosão profunda, movimentos em massa e assoreamento.

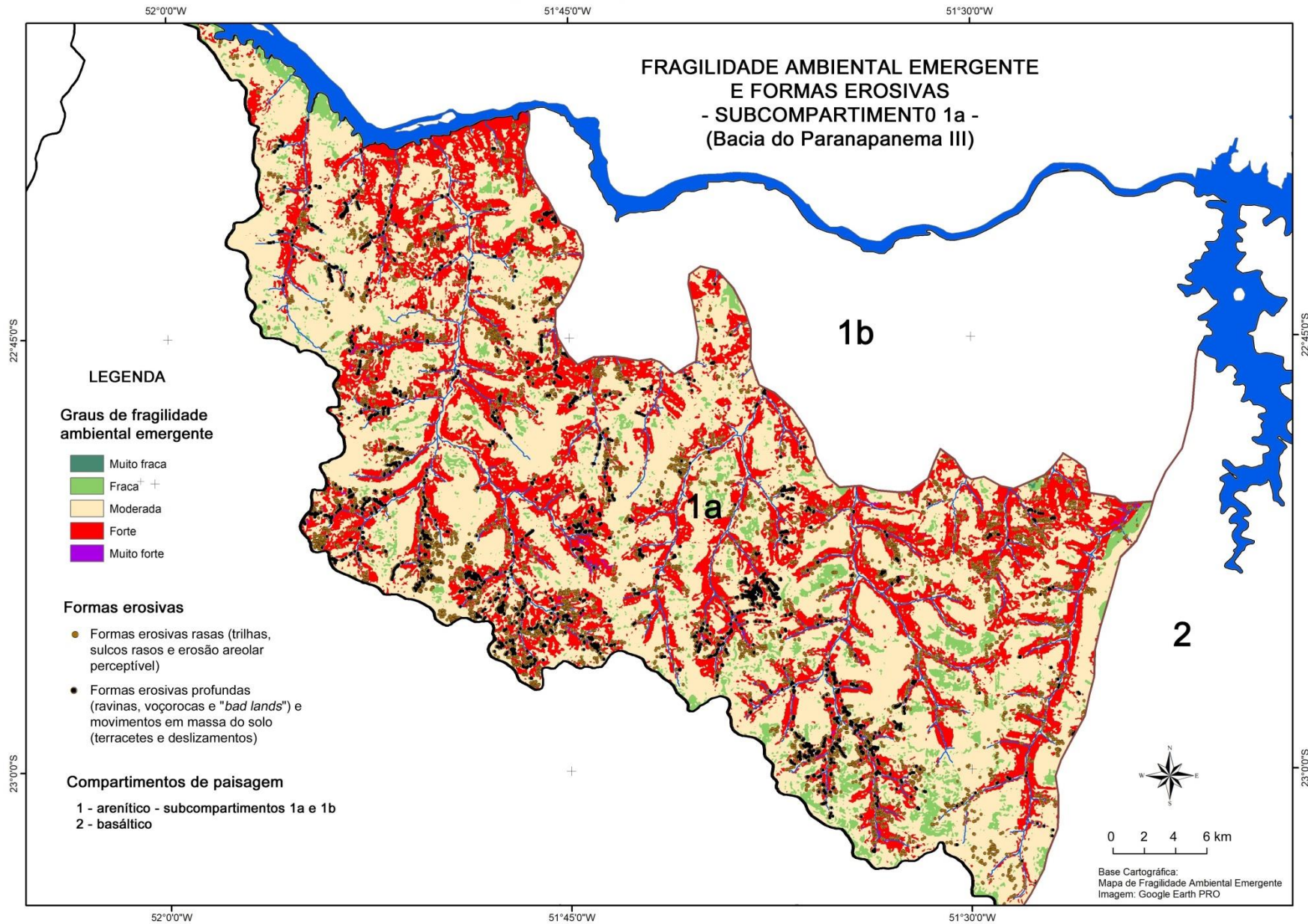


Figura 46 – Feições erosivas profundas (ravinas e voçoroca) e movimentos em massa do solo em cabeceira de drenagem no município de Centenário do Sul, bacia do Paranapanema III.

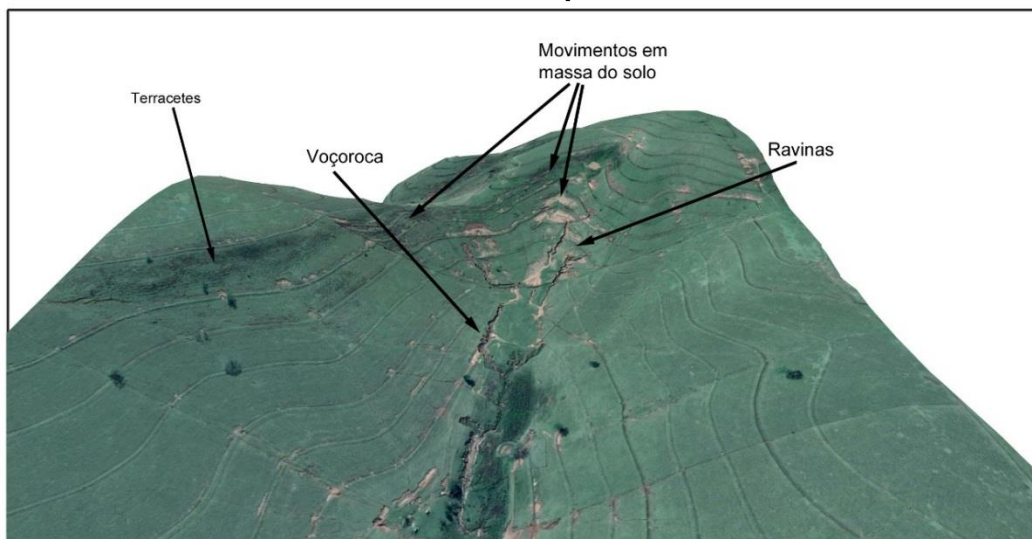
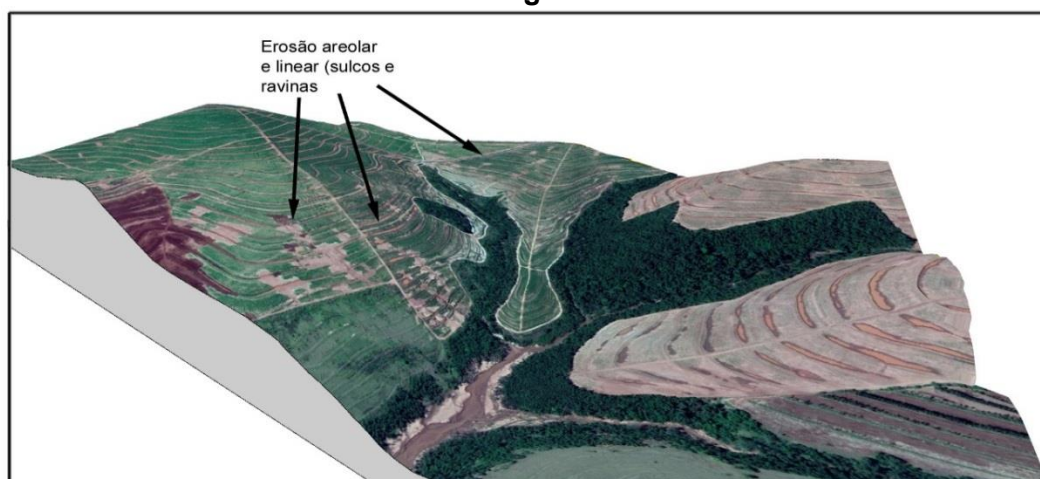
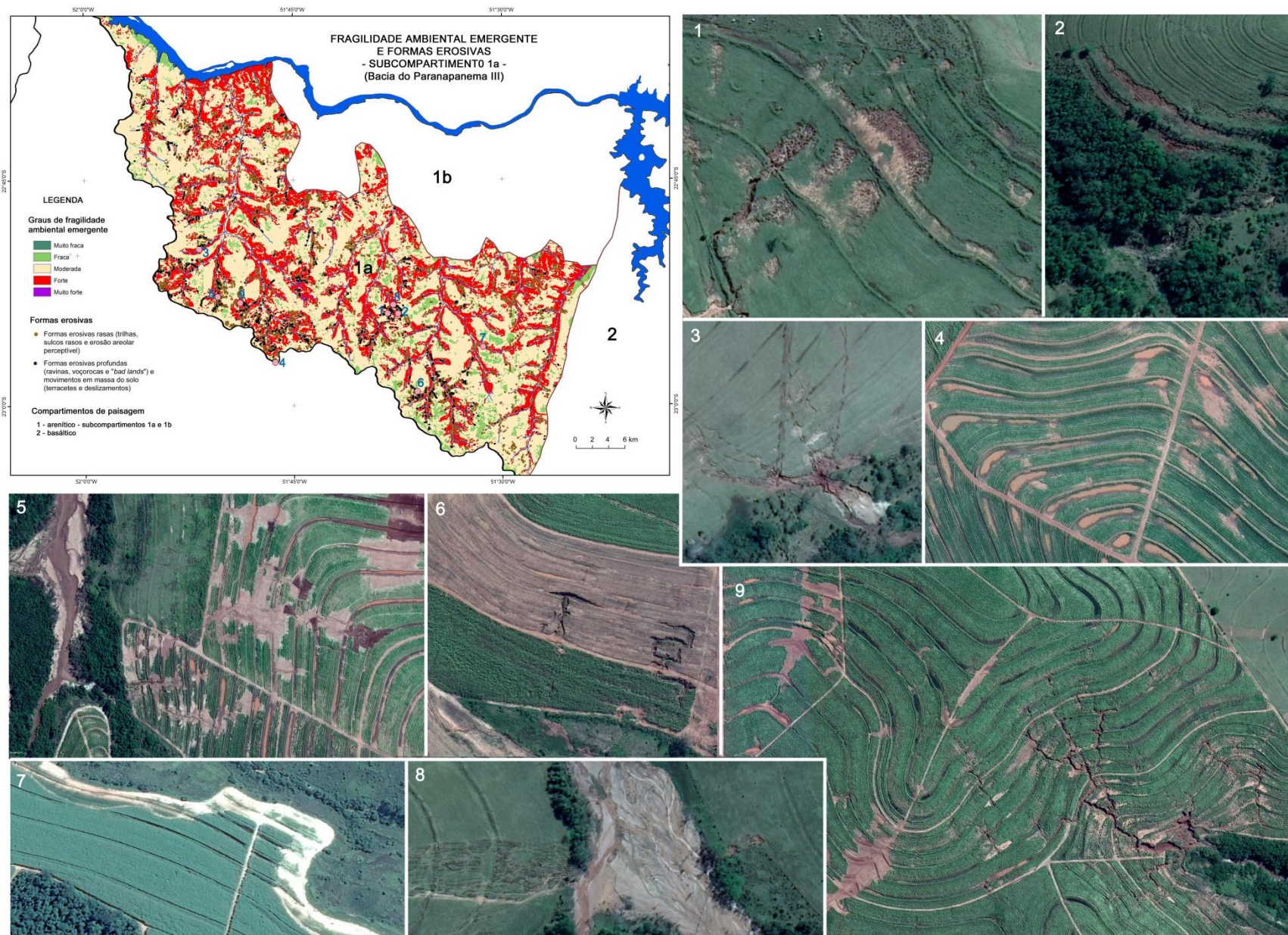


Figura 47 – Feições erosivas rasas e profundas – área de cultivo de cana com erosão laminar, formação de sulcos, ravinas e assoreamento intenso do curso d'água.



Na Figura 48 são apresentadas algumas imagens de detalhe do Google Earth como exemplo do que foi observado. As observações das formas erosivas tanto em campo quanto nas imagens do Google Earth mostraram que a metodologia adotada para a fragilidade ambiental emergente foi capaz de prever as áreas onde os processos erosivos mais graves tendem a se instalar – fragilidade emergente forte e muito forte – e onde os processos erosivos superficiais (areolares ou lineares) ainda podem ocorrer – fragilidade emergente moderada – indicando a necessidade de cuidados, práticas e manejos adequados na sua utilização, conforme apresentado por Rocha, Nóbrega e Cunha (2018).

Figura 48 – Mapeamento de feições erosivas por imagens Google Earth.



5.4. Monitoramento da qualidade das águas na Unidade Hidrográfica do Piraponema

5.4.1. Descrição dos pontos de coleta da água

O monitoramento dos parâmetros de qualidade da água foi realizado em 11 pontos de coleta, na Unidade Hidrográfica do Piraponema, distribuídos entre as bacias hidrográficas do Paranapanema III, Paranapanema IV e Pirapó, conforme apresentado anteriormente na Figura 12.

Para a melhor representação do entorno dos pontos de coleta, fez-se necessário à elaboração de perfis geocológicos, que sintetizam as informações de um modo mais visual. Os perfis geocológicos estão apresentados conforme a ordem de coleta da água, nas bacias hidrográficas: Paranapanema III, Paranapanema IV e Pirapó.

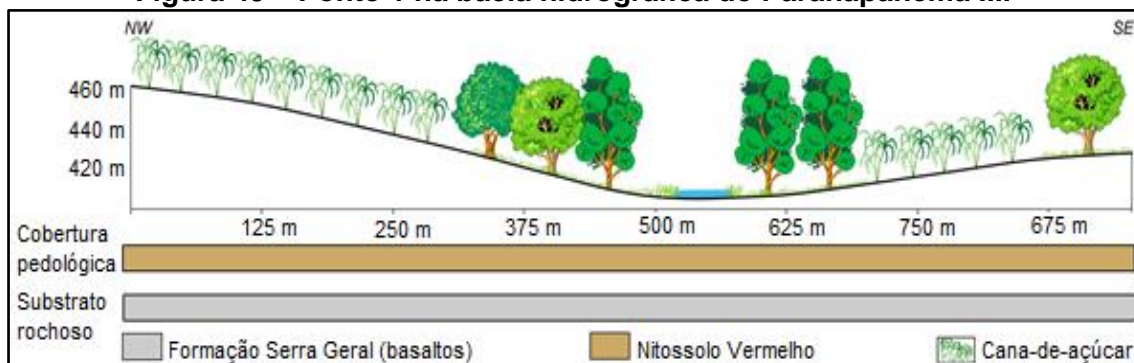
5.4.1.1. Bacia Hidrográfica do Paranapanema III

Ponto 1

Este ponto está localizado no ribeirão Vermelho, sobre as coordenadas geográficas 23°5'8.21"N e 51°17'32.06"W (Figura 49), com o curso d'água próximo de uma altitude de 407 m. O substrato rochoso da área é a Formação Serra Geral, composta por derrames de basaltos e, dentre os solos associados estão o Nitossolo Vermelho, nas proximidades do ponto, e Latossolo Vermelho, nas vertentes mais distantes.

Além disso, também está integralmente alocado no compartimento 2, da Unidade Hidrográfica do Piraponema, descrito por Nóbrega et al (2015) como zona de contato arenito/basalto, com uma condição topográfica mais baixa. Sobre o uso e ocupação do solo, apresenta o entorno de agricultura intensiva, com cultura temporária de cana-de-açúcar e com áreas de solo exposto, pertencendo à área rural do município de Cambé - PR.

Figura 49 – Ponto 1 na bacia hidrográfica do Paranapanema III.

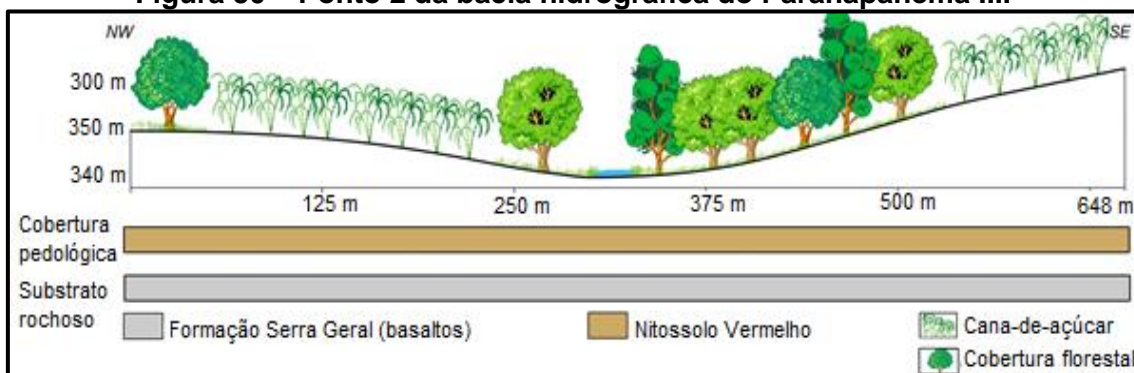


Ponto 2

Este ponto está à jusante ao Ponto 1, também no ribeirão Vermelho, entre as coordenadas 22°54'0.45"N e 51°19'41.34"W, e com uma altitude mais baixa, representada por 340 m de altitude, no curso d'água (Figura 50).

O substrato rochoso é caracterizado por basaltos, e os solos são definidos por apresentar uma textura argilosa, com maior representatividade do Nitossolo Vermelho. O uso da terra é de agricultura intensiva, de cana-de-açúcar, apresenta ainda solo exposto em determinados períodos do ano, também possui áreas de cobertura florestal nas proximidades do curso d'água. Está na área rural, entre Florestópolis e Alvorada do Sul - PR, e recebe afluentes com cabeceiras urbanas dos dois municípios.

Figura 50 – Ponto 2 da bacia hidrográfica do Paranapanema III.

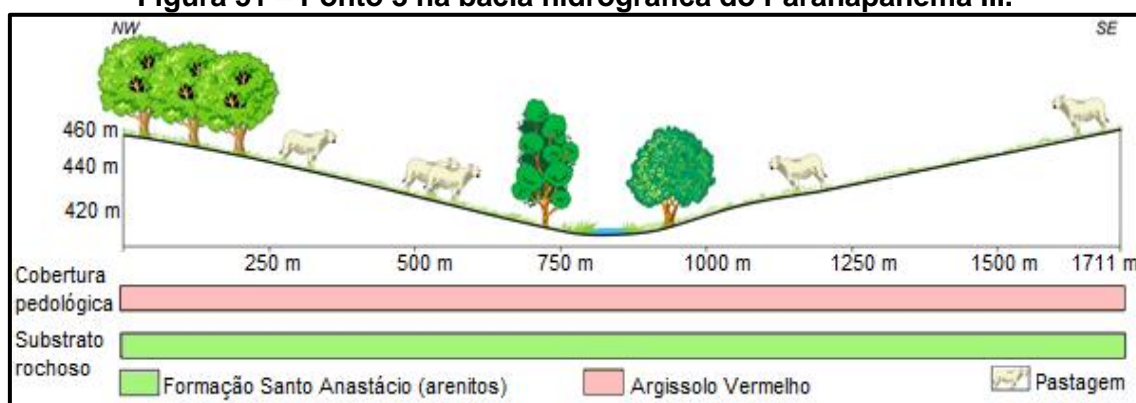


Ponto 3

O ponto 3 está no ribeirão Caneleiro, entre a latitude 22°52'25.56"N e longitude 51°34'21.48"W, com uma altitude de 409 m (Figura 51). Pertence a um compartimento distinto dos pontos 1 e 2, fazendo parte do Compartimento Arenítico 1a, com colinas de tamanho médio a pequeno, conforme Nóbrega et al (2015). Neste sentido, a Formação Santo Anastácio, de arenitos, é o substrato rochoso desse local, e apresenta uma cobertura pedológica representativa da geologia, com solos de textura média/arenosa, do tipo Argissolos Vermelhos, entre as seções mais significativas das vertentes.

O uso da terra é demarcado por pastagens, apresentando áreas de APPs, nas áreas mais elevadas e nas próximas ao curso d'água. Além disso, este ponto pertence à área rural do município de Centenário de Sul - PR.

Figura 51 – Ponto 3 na bacia hidrográfica do Paranapanema III.



5.4.1.2. Bacia hidrográfica do Paranapanema IV

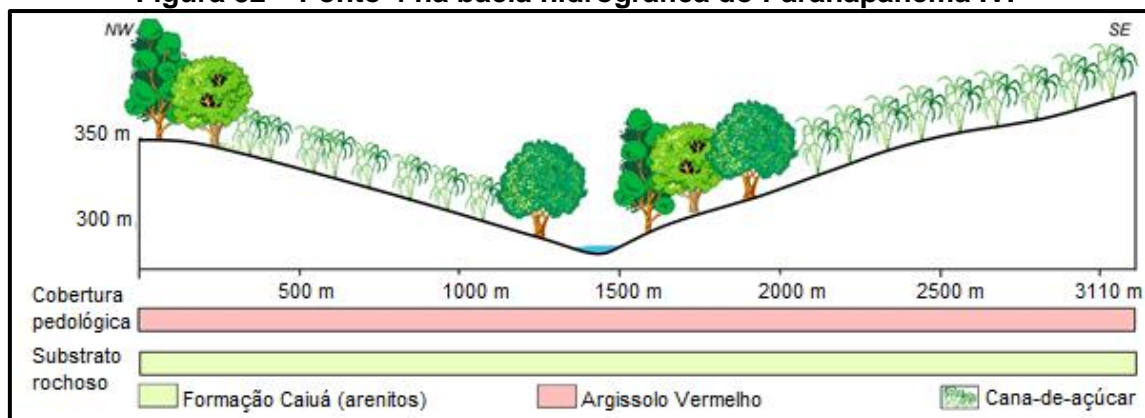
Ponto 4

Este ponto de coleta de água pertence ao ribeirão Francisco, e está entre as coordenadas 22°57'48.70"N e 52°17'10.88"W, com uma altitude de 343 m, nas proximidades do curso d'água (Figura 52).

É representativo no Compartimento 5b da Unidade Hidrográfica do Piraponema, caracterizado por colinas pequenas a médias (NÓBREGA et al, 2015). O substrato geológico é denominado Formação Caiuá, composto por arenitos, que originam solos de textura média/arenosa, como os Argissolos

Vermelhos, encontrados em maior quantidade na área. O cultivo de cana-de-açúcar é característico do uso da terra, no entorno deste ponto, todavia, as atividades de piscicultura também são intensas. Além disso, este ponto está na área rural de Cruzeiro do Sul e Alto Paraná - PR, e recebe aporte de afluentes das áreas urbanas desses municípios.

Figura 52 – Ponto 4 na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.



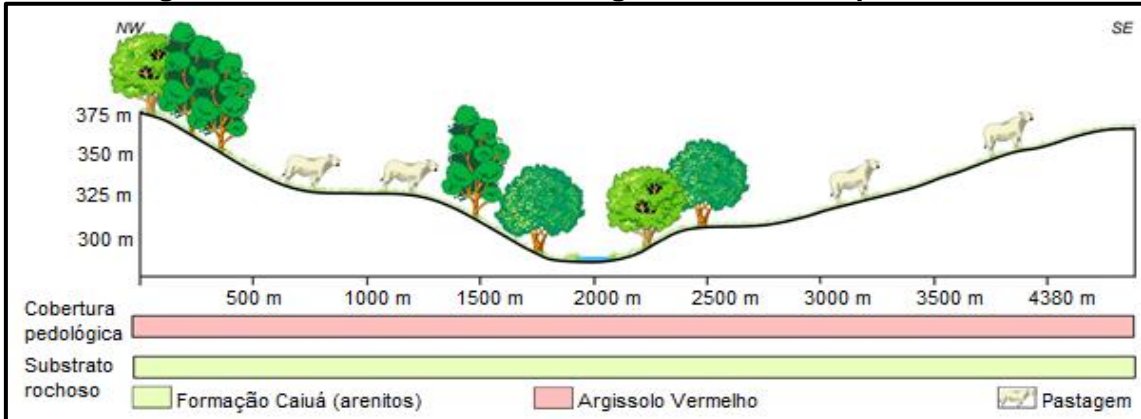
Ponto 5

O ponto 5 está a jusante do ponto 4, no ribeirão Francisco, entre 22°50'35.82"N e 52°13'51.75"W, a 294 m de altitude (Figura 53).

Da mesma forma que o ponto anterior, também pertence ao Compartimento 5b, da Unidade Hidrográfica. Apesar de apresentar o mesmo substrato rochoso e solos associados, neste local as vertentes são mais convexas, refletindo suas formas no uso de solo da área rural, utilizado para pastagens, com um mosaico, onde é possível observar áreas com vegetação nos topos e nas proximidades do curso d'água.

Este ponto recebe ainda a influência do ponto anterior (Ponto 4) e de afluentes das áreas urbanas de São João do Caiuá e Paranacity - PR.

Figura 53 – Ponto 5 na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.

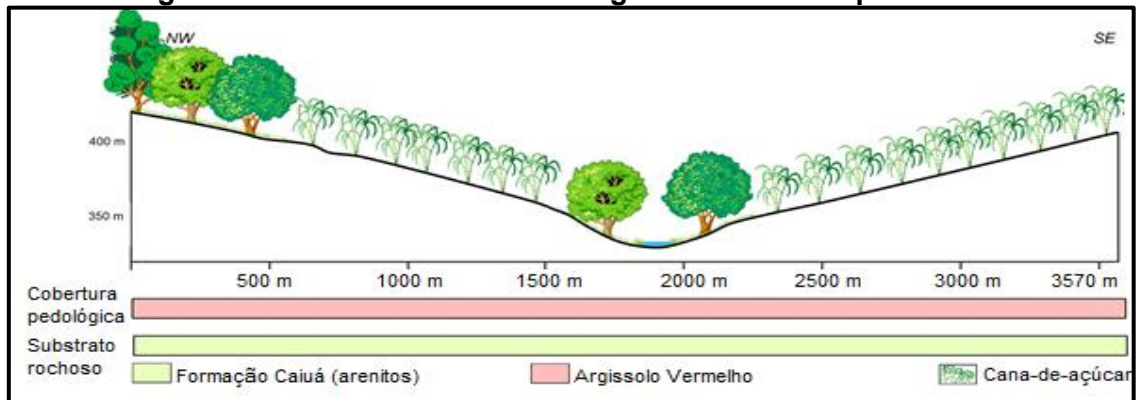


Ponto 6

O ponto 6 está integralmente no Compartimento 5a, caracterizado por colinas amplas e declividades suaves. Está no rio da Coroa do Frade, maior em extensão da bacia hidrográfica do Paranapanema IV, entre a latitude 22°44' 11.29" 52°N e longitude 52°33'40.99"W, com 282 m de altitude (Figura 54).

Apresenta o substrato rochoso formado por arenitos e a cobertura pedológica de solos de textura média/arenosa, que determina o uso e ocupação, fazendo a atividade de extração de areia como um destaque, perdendo somente para o cultivo de cana-de-açúcar. Este ponto recebe também muitos afluentes das áreas urbanas, incluindo as do maior município da bacia, Paranaíba, além de estar no limite com Terra Rica - PR.

Figura 54 – Ponto 6 na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.



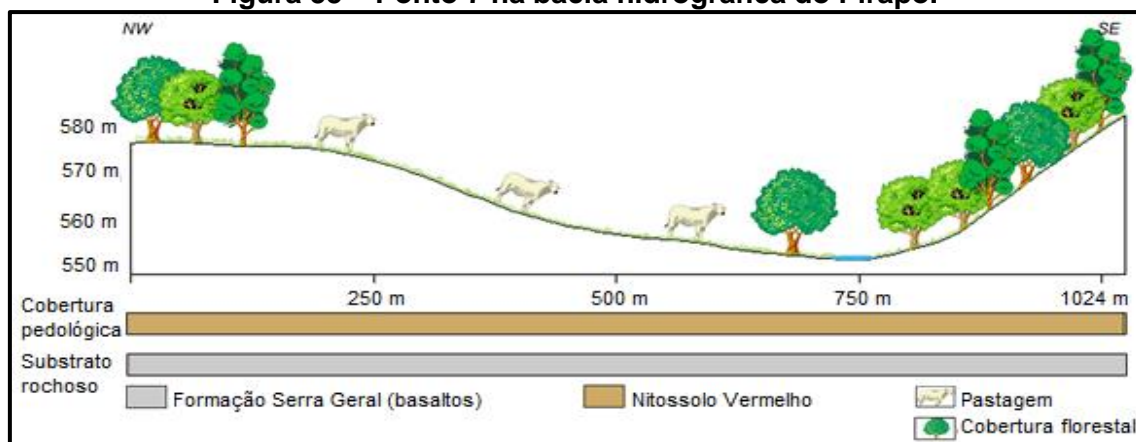
5.4.1.3. Bacia hidrográfica do Pirapó

Ponto 7

Este ponto representa a alta bacia, está à jusante do córrego Água do Abutre, nas proximidades da nascente do rio Pirapó, entre as coordenadas 23°26'35.58"N e 51°33'10.39"W, com 558 m de altitude (Figura 55). Faz parte do Compartimento 4a, caracterizado por vertentes mais acentuadas, conforme apresentado por Nóbrega et al (2015).

O substrato geológico é a Formação Serra Geral, composta por basaltos, e a cobertura pedológica, no entorno do ponto, tem predominância de Nitossolo Vermelho, solo de textura argilosa. Contudo, na área em questão, apresentam-se também solos do tipo Neossolo Litólico, nos topos mais íngremes. A paisagem é apresentada em mosaico, com o uso da terra composto por pastagem e cobertura florestal, e pertence à área rural, no limite entre os municípios de Apucarana e Arapongas - PR.

Figura 55 – Ponto 7 na bacia hidrográfica do Pirapó.

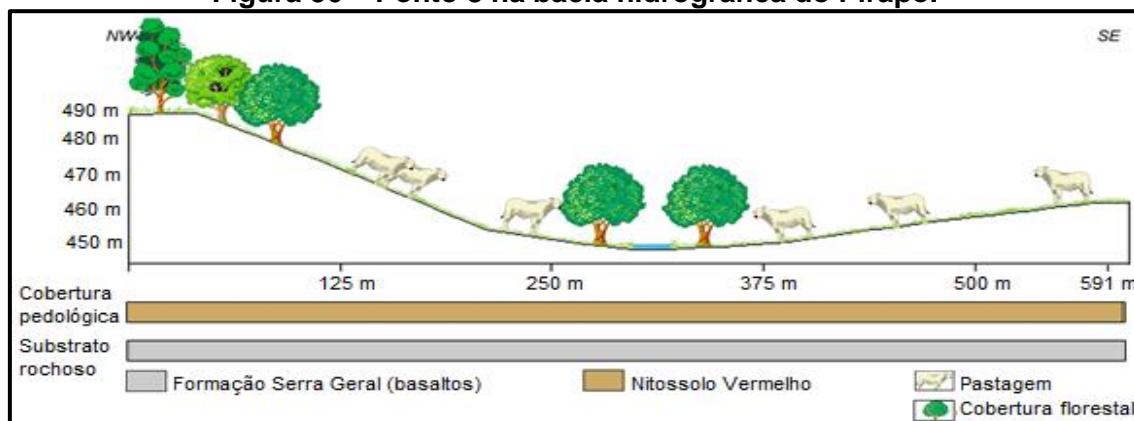


Ponto 8

O ponto 8 encontra-se entre as coordenadas 23°24'1.55"S e 51°38'26.29"W, à jusante do Ribeirão Vitória, com 453 m de altitude (Figura 56). Apresenta também solos argilosos, derivados da Formação Serra Geral, e uma paisagem semelhante à observada no ponto 7, composta por pastagens e áreas de APP. Apresenta-se entre o limite dos municípios de Mandaguari e

Sabáudia - PR, onde recebe influência de cursos d'água que percorrem essas áreas urbanas.

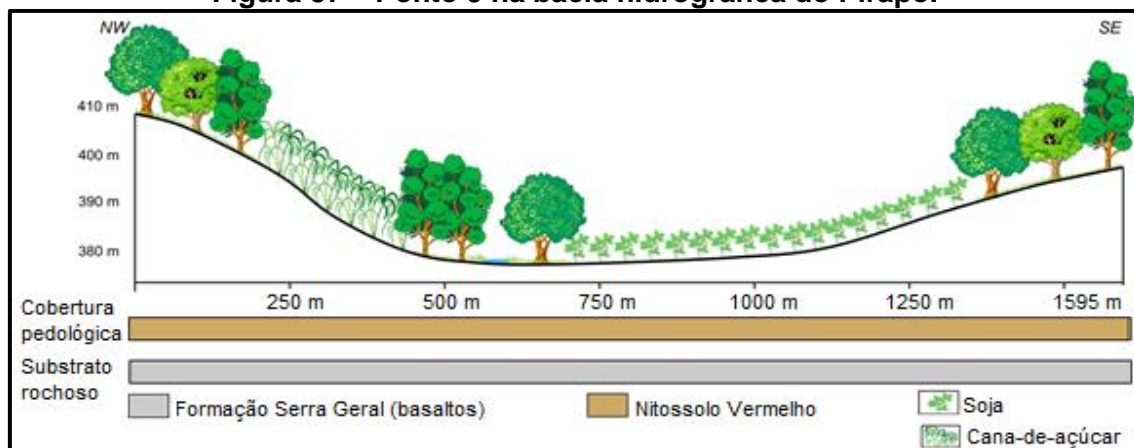
Figura 56 – Ponto 8 na bacia hidrográfica do Pirapó.



Ponto 9

Este ponto é representativo do Compartimento 4b, da Unidade Hidrográfica do Piraponema, marcado por colinas médias. Está à jusante do ribeirão Guarujá, a $23^{\circ}18'17.44''S$ e $51^{\circ}53'36.08''W$, apresentando 379 m de altitude (Figura 57). Mesmo sobre a mesma Formação geológica e solos associados, iguais aos pontos 7 e 8, o uso da terra é distinto, nesse setor a mecanização agrícola se torna mais fácil, refletindo no uso agrícola de culturas temporárias, de cana-de-açúcar e soja. Além disso, no entorno desse ponto há também atividades industriais, e a influência dos afluentes urbanos dos municípios de Maringá e Iguaraçu - PR.

Figura 57 – Ponto 9 na bacia hidrográfica do Pirapó.



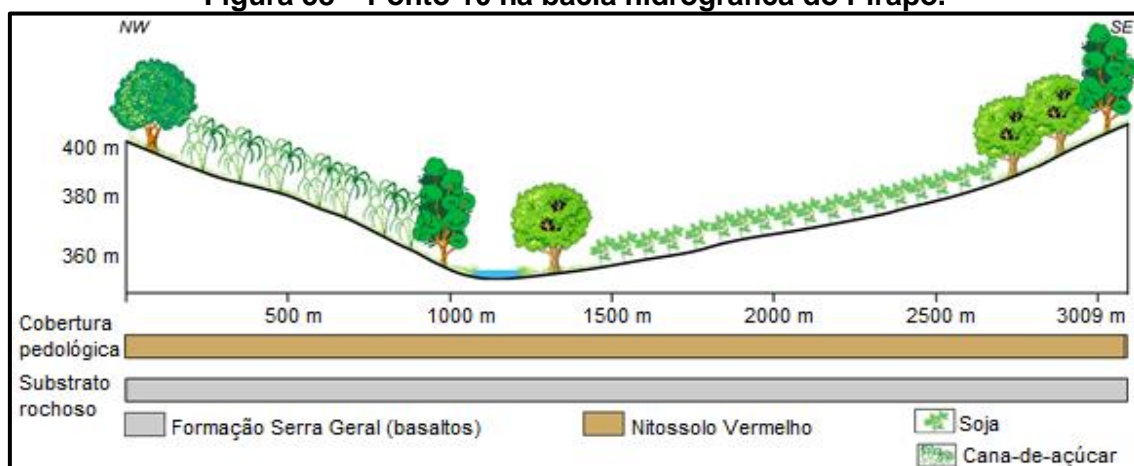
Ponto 10

O ponto 10 está à jusante do ribeirão Flórida, entre a latitude 23° 7'52.37"S e a longitude 52° 0'21.02"W, em uma altitude de 354 m (Figura 58). Pertence ao Compartimento 3, da Unidade Hidrográfica.

Este compartimento, conforme Nóbrega et al. (2015) é caracterizado por colinas médias e solos de textura média/arenosa, devido a sobreposição da Formação Caiuá (arenito) sobre a Formação Serra Geral (basalto). Contudo, no entorno do ponto de coleta, ainda há presença dos basaltos nos vales, nas proximidades dos cursos d'água, que origina solos de textura argilosa.

Em relação ao uso da terra, é caracterizada por agricultura intensiva, com rotatividade entre cana-de-açúcar e soja, e, dentre os municípios encontrados nas proximidades, que exercem influência sobre o ponto 10, estão Atalaia e Flórida - PR.

Figura 58 – Ponto 10 na bacia hidrográfica do Pirapó.



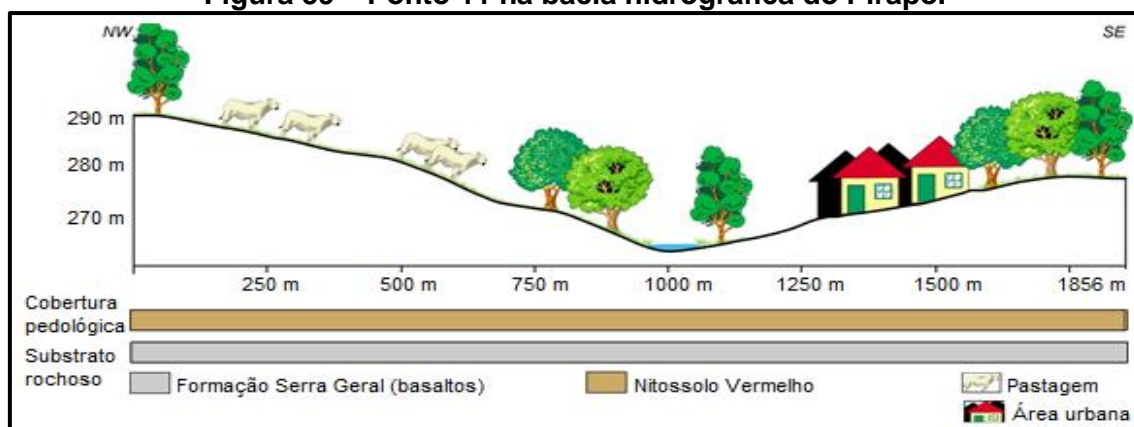
Ponto 11

Este ponto está à jusante do ribeirão Água do Pau d'alho, localizado a 22°32'53.61"N e 52° 1'41.06"W, com altitude de 265 m (Figura 59). Além disso, é o ponto jusante da bacia hidrográfica do Pirapó, já nas proximidades com o rio Paranapanema, na divisa entre os Estados do Paraná e São Paulo. A Formação geológica é composta de forma predominante por arenitos, ocorrendo a Formação Serra Geral somente nos vales, conforme destacado na

escala da Figura 59. Este ponto localiza-se entre o limite da área rural de Itaguajé e da área urbana de Jardim Olinda, ambos os municípios do Paraná.

Nas proximidades do ponto de coleta, é possível observar o destaque para o setor agropecuário, com extensas áreas de pastagens, assim como a influência urbana, do município de Jardim Olinda.

Figura 59 – Ponto 11 na bacia hidrográfica do Pirapó.



5.4.2. A influência da precipitação no entorno dos pontos de monitoramento

De acordo com Bertoni e Tucci (2000) a precipitação é o fator de suma importância para predições de problemáticas ambientais, como os processos erosivos, assoreamentos, entre outros. Além disso, pode agir diretamente nos resultados dos parâmetros de qualidade de água, uma vez que influencia no escoamento superficial e na vazão dos cursos d'água.

Assim, para efeito de comparação, buscou-se identificar a precipitação quantificada pelos postos pluviométricos, visando acompanhar a influência desse dado climático com os obtidos nos parâmetros de qualidade.

Para a obtenção dos dados de precipitação foram utilizados os postos pluviométricos nas proximidades dos pontos de coleta de água, dentre os quais:

- Bacia hidrográfica do Paranapanema III, para os pontos 1 e 2, foram utilizados os postos pluviométricos dos municípios de Cambé, Bela Vista do Paraíso e Alvorada do Sul. Enquanto que o ponto 3 foi representado pelo posto pluviométrico de Porecatu.

- Bacia hidrográfica do Paranapanema IV, os dados de precipitação para os pontos 4 e 5 foram selecionados dos postos de Paranapoema e Santo Antônio do Caiuá. Já para o ponto 6, os dados foram fornecidos pelos postos pluviométricos de Terra Rica e Paranaíba

- Bacia hidrográfica do Pirapó, para os pontos 7 e 8, os postos de Arapongas, Astorga, Rolândia, enquanto que para o ponto 9, foram considerados os postos de Maringá, Iguaçu e Nova Esperança, já para os pontos 10 e 11, os valores de precipitação foram dos postos de Colorado, Paranacity e Jardim Olinda.

Nesse contexto, os dados obtidos pelos postos pluviométricos, referente à precipitação, foram somente elencados os valores na data da coleta de água e os de até às 48 horas antecedentes. A escolha desse período de precipitação ocorreu pelo solo estar saturado, no momento da coleta ou nas últimas 48 horas, ocorrendo ainda o processo de escoamento superficial na bacia hidrográfica. Esses valores de precipitação, para todo o período de monitoramento, podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de precipitação nos dias de coleta e 48 horas antecedentes.

Bacia hidrográfica do Paranapanema III				
Data	Dia da coleta	24 horas anteriores (mm)	48 horas anteriores (mm)	Total (mm)
21/01/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
27/02/2014	8,2	0,0	29,9	38,1
12/03/2014	85,6	77,2	0,0	162,8
24/04/2014	0,0	27,3	66,0	93,3
14/05/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
03/06/2014	0,0	3,3	4,2	7,5
15/07/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
29/08/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
16/09/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
23/10/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
21/11/2014	156,9	28,3	0,2	185,4
11/12/2014	67,1	109,8	0,5	177,4
Bacia Hidrográfica do Paranapanema IV				
21/01/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
27/02/2014	0,0	0,0	47,4	47,4
12/03/2014	2,2	0,0	0,0	2,2
24/04/2014	0,0	0,0	52,8	52,8
14/05/2014	0,0	0,0	0,0	0,0

03/06/2014	0,0	0,0	18,3	18,3
15/07/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
29/08/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
16/09/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
23/10/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
21/11/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
11/12/2014	0,0	5,8	38,5	44,3
Bacia hidrográfica do Pirapó				
24/01/2014	0,0	40,5	4,1	44,6
12/02/2014	22,1	10,0	0,0	32,1
15/03/2014	0,0	0,0	49,1	49,1
16/04/2014	44,2	2,0	8,7	54,9
15/05/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
15/06/2014	8,1	26,9	0,0	35,0
14/07/2014	16,4	0,0	0,6	17,0
09/08/2014	0,0	0,0	0,0	0,0
18/09/2014	0,0	0,0	10,0	10,0
28/10/2014	0,0	0,0	5,0	5,0
26/11/2014	108,8	99,5	16,3	224,6
15/12/2014	22,4	0,0	150,2	172,6

No período de monitoramento da qualidade da água, os valores mais elevados de precipitação, que coincidiram com as datas das coletas, foram referentes aos meses de primavera e verão, entre novembro a março, respectivamente. Na data da coleta, a maior quantidade precipitação, registrada, foi no mês de novembro/2014 (156,9 mm) e referente à bacia hidrográfica do Paranapanema III, nota-se que na mesma data de coleta, não houve precipitação registrada na bacia hidrográfica do Paranapanema IV. Já, para a precipitação acumulada 24 horas anteriores à coleta, o valor em destaque está no mês de dezembro, 109,8 mm, novamente na bacia do Paranapanema III. Enquanto que o maior valor, nas 48 horas antecedentes às coletas, foi observado em dezembro, com 150,2 mm, referente aos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Pirapó.

Ao comparar a quantidade de precipitação coincidente com as proximidades das datas de coletas, é possível observar que a bacia hidrográfica do Paranapanema III apresentou a maior concentração pluviométrica, com 657 mm, seguida pela bacia do Pirapó e Paranapanema IV, 644,9 e 164,6, respectivamente. Assim, se torna importante destacar que, os

maiores valores de precipitação estão intimamente ligados ao aumento do escoamento superficial, que por sua vez pode estar relacionado com a elevação da variação dos diversos parâmetros de qualidade da água, conforme já mencionado por Gorjon Neto (2014).

5.4.3. Parâmetros e análise da qualidade da água

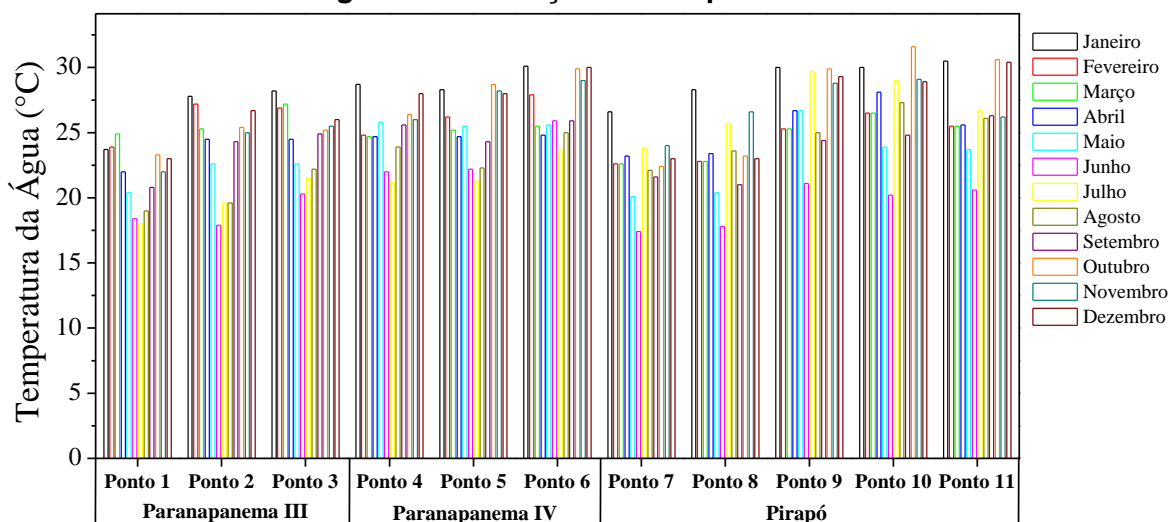
A qualidade da água dos cursos d'água é reflexo da inter-relação entre os processos que ocorrem na bacia hidrográfica, pela ação dos fatores naturais – precipitação e a ação do escoamento nas vertentes, substrato geológico, influência da estrutura e textura do solo, cobertura vegetal, e, por fatores antrópicos – uso da terra, agricultura intensiva, impermeabilização das áreas urbanas, lançamento de efluentes, entre outros. Assim, esses fatores vão modificar os aspectos físico-químico-biológicos das águas superficiais, conforme sua intensidade de ação (TUCCI, 1997; VON SPERLING, 2005).

Neste contexto, para avaliação e comparação dos parâmetros de qualidade da água, no monitoramento das águas superficiais da Unidade Hidrográfica do Piraponema, foram utilizados os valores estabelecidos na Resolução CONAMA nº357, de março de 2005, para rios de classe II e, como descrito anteriormente, os procedimentos de análise seguiram conforme APHA (1995). Além disso, a fim de facilitar a compreensão e visualização do conjunto de dados, fez-se a análise em bacias hidrográficas, separadamente: bacias hidrográficas do Paranapanema III e do Paranapanema IV, e bacia hidrográfica do Pirapó, no período de monitoramento, e, todos os resultados obtidos foram apresentados em forma gráfica, de figuras e tabelas.

5.4.3.1. Temperatura da água

O parâmetro de Temperatura apresenta um limite estabelecido pela Resolução nº 357/2005 inferior a 40°C. E, para o período de monitoramento, na Unidade Hidrográfica do Piraponema, a variação deste parâmetro é apresentada na Figura 60.

Figura 60 – Variação da Temperatura.



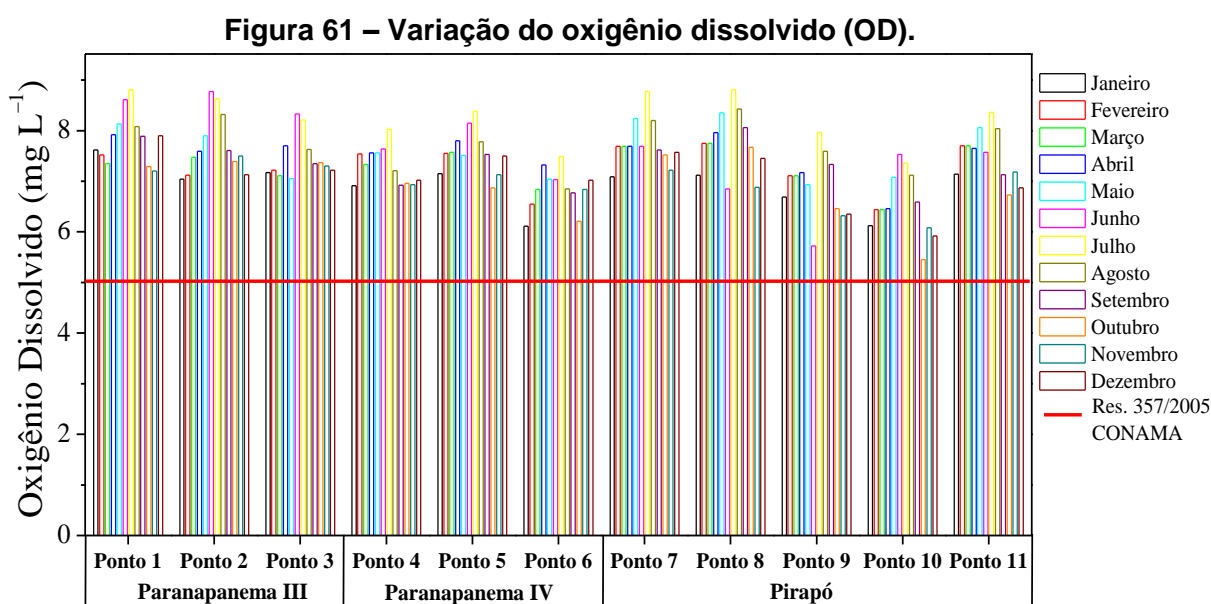
Nas bacias hidrográficas analisadas, o parâmetro de Temperatura da água não demonstrou alteração que pudesse indicar relação com a influência antrópica, com exceção de um ponto na bacia hidrográfica do rio Pirapó, ponto 10 no mês de outubro, com pouco mais de 30°C. A variação da temperatura, de forma geral, ocorreu devido aos horários das coletas (ao longo do dia) e à sazonalidade.

A temperatura máxima registrada na bacia hidrográfica do Paranapanema III foi de 28,2 °C no mês de janeiro, enquanto que a mais baixa foi de 18°C, no ponto 1, em julho. Já na bacia hidrográfica do Paranapanema IV, o maior valor registrado foi de 30,1 C no ponto 6, em janeiro, enquanto que o menor foi de 2,2°C para o ponto 4, em julho. Dados similares foram encontrados por Tarelho Júnior (2014).

Já na bacia hidrográfica do Pirapó, temperatura mínima registrada foi de 17,4°C em junho, no ponto 7, enquanto que o maior valor encontrado foi de 31,6°C em outubro, para o ponto 10, que esteve em discordância com os demais pontos desta bacia. Este ponto está na divisa entre os municípios de Atalaia e Flórida, conforme destacado por Gorjon Neto (2014), em área de agricultura intensiva, contudo, pode sofrer influência das cabeceiras urbanas, que ocasionaria essa alteração fora do período.

5.4.3.2. Oxigênio Dissolvido (OD)

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA estabelece o limite mínimo de 5 mg.L⁻¹ para cursos d'água Classe II. Para a Unidade Hidrográfica do Piraponema, é possível observar na Figura 61 os valores encontrados para oxigênio dissolvido.



Conforme os resultados obtidos pela Figura 61, durante o período de monitoramento, em nenhum momento este parâmetro esteve em inconformidade com a Resolução.

Ao analisar as bacias hidrográficas de forma comparativa, é possível perceber que a bacia hidrográfica do Pirapó apresentou os valores mais baixos, no ponto 10, de outubro a dezembro de 2014, conforme apresentado por Gorjon Neto (2014) entre os anos de 2012 e 2013. Este ponto de monitoramento, como já apresentado anteriormente, está na área rural, no limite entre dois municípios, Atalaia e Flórida.

Contudo, conforme Farias (2006) e Von Sperling (2007), a redução de oxigênio dissolvido está associada à presença de efluentes, e, pode-se influir que, com a entrada das águas de um afluente com cabeceira em área urbana, houve uma contribuição para a redução deste parâmetro. Além disso, a redução de OD pode estar relacionada com a Temperatura da água, uma vez

que temperaturas mais elevadas faz com que os gases dissolvidos na água fluam para a atmosfera.

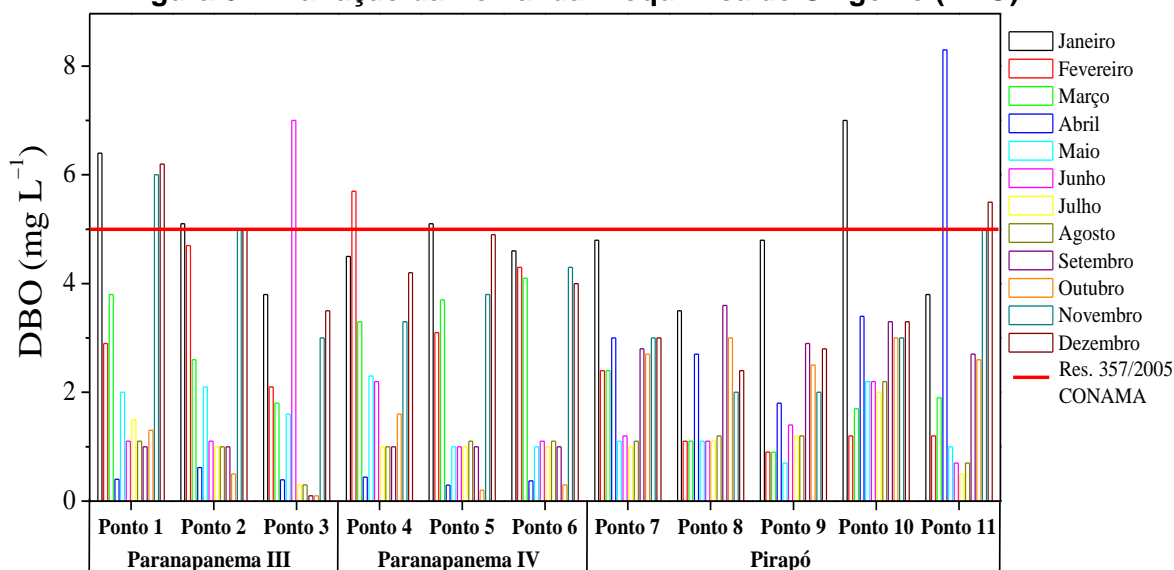
Já a bacia hidrográfica do Paranapanema III foi a que apresentou os maiores valores de OD, e, comparativamente, é a bacia que apresenta a maior altimetria nos pontos de coleta (409 m), o que influencia diretamente na rede de drenagem e na oxigenação dos cursos d'água, pois com águas naturalmente movimentadas há uma elevação da saturação de oxigênio dissolvido. Esses valores mais elevados, também foram observados por Tarelho Júnior (2014), principalmente, entre os meses de maio a julho, no período de inverno, onde o escoamento superficial é menor, devido à menor quantidade de precipitação, assim, a atividade orgânica na água também decresce, e ocorre um menor consumo do oxigênio da água, elevando assim o nível de saturação.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema IV, o ponto 5, na área rural e com pastagem apresentou os valores mais elevados em todos os meses, em relação aos demais pontos de monitoramento nesta bacia, sobre agricultura intensiva com cana-de-açúcar. Pode-se influir que, conforme já apresentado no (Item 5.3.3 - Levantamento das feições erosivas em imagens e campo), que o manejo agrícola tradicional expõe o solo, que é carregado aos cursos d'água, em períodos chuvosos, e aumenta a quantidade de sólidos nas águas superficiais, e, que de acordo com Wef (2006) influência de forma negativa a oxigenação das águas.

5.4.3.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Para a análise deste parâmetro, a Resolução 357/2005 estipula a concentração máxima de 5 mg.L^{-1} para cursos d'água de Classe II. Na Unidade Hidrográfica do Piraponema os valores de DBO podem ser observados na Figura 62.

Figura 62– Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).



A demanda bioquímica de oxigênio apresentou valores acima do estipulado em vários momentos, nas três bacias hidrográficas analisadas. Nas bacias hidrográficas do Paranapanema III e Paranapanema IV altas concentrações de DBO podem refletir na maior intensidade da atividade agrícola, principalmente em relação ao calendário agrícola, que descreve os meses de novembro e dezembro como período de colheita da cana-de-açúcar, que de certa forma deixa o solo exposto ao carreamento de partículas, justamente nesse período de maior intensidade pluviométrica, 185,4 e 177,4 mm. Além disso, Mello (2006), esses sedimentos interferem na qualidade da água, e o local em que este sedimento foi gerado permite avaliar quais são os riscos de contaminação presentes.

É importante destacar também que nesse período a vinhaça é utilizada sobre a plantação e, Silva, Griebeler e Borges (2007) destacam que há elevadas concentrações de potássio, nitrito e de matéria orgânica na vinhaça, e que esta também promove a dispersão de partículas do solo, contribuindo para o aumento do escoamento superficial e conseqüente poluição das águas superficiais. No mesmo sentido, Tarelho Júnior (2014) observou a elevação deste parâmetro, nos meses em questão, para os mesmos pontos de monitoramento. Contudo, o ponto 3, da bacia hidrográfica do Paranapanema III, também apresentou elevadas concentrações de DBO no mês de junho,

coincidindo também com os dados de pluviosidade registrados para este dia de coleta, contudo, por apresentar discordância dos demais pontos da bacia, é possível indicar alguma influência antrópica, como despejos da área rural ou até mesmo contribuição de matéria orgânica das cabeceiras urbanas.

Já na bacia hidrográfica do Pirapó os pontos em desacordo com a Resolução nº 357/2005 foram o 10 e 11, sendo caracterizados por cultivo de cana-de-açúcar e área urbana, respectivamente. O ponto 10 só apresentou um valor elevado de DBO para o mês de janeiro, com 7 mg.L^{-1} , podendo ser caracterizado como algo pontual, pois no decorrer no monitoramento não apresentou nenhum valor próximo do limite.

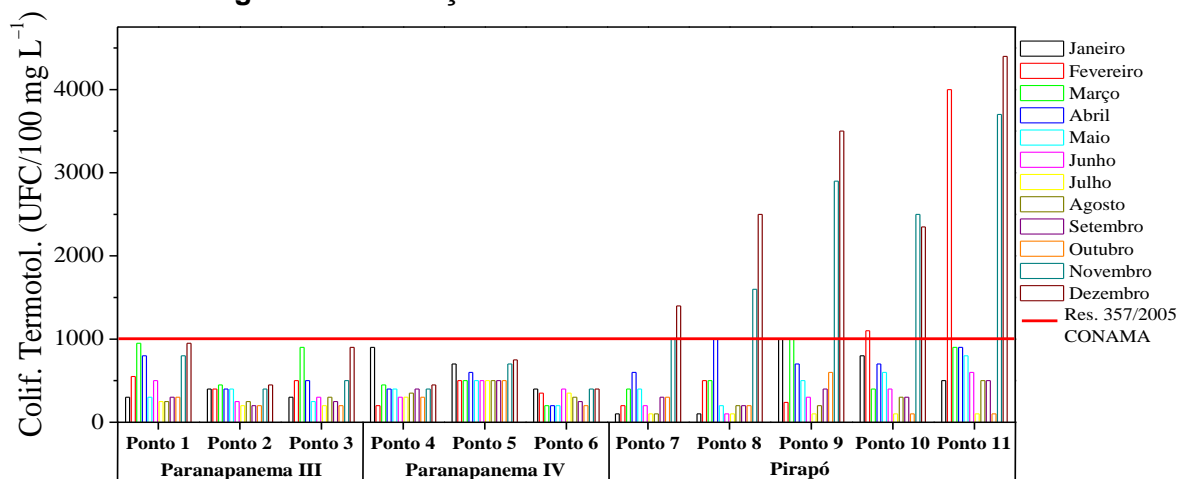
Enquanto que o ponto 11 está na área urbana do município de Jardim Olinda, e teve o maior valor entre todos os pontos e todas as bacias, de $8,9 \text{ mg.L}^{-1}$ (em abril) o que pode indicar a influência antrópica, todavia vale ressaltar que no mês de abril houve evento de precipitação em até 48 horas anteriores às coletas, que pode ter colaborado para a maior concentração de materiais nesse ponto, vindo dos demais à montante.

Em contrapartida, nos meses em questão, o parâmetro de OD, mesmo em concordância com a Legislação, apresentou os menores valores, comparativamente. Demonstrando assim a relação entre a DBO e o OD, já abordada por diversos autores.

5.4.3.4. Coliformes Termotolerantes

De acordo com a Resolução 357/2005, o limite máximo permitido para cursos d'água Classe II, para Coliformes Termotolerantes é de 1000 UFC/100 mg.L^{-1} , e, na Unidade Hidrográfica do Piraponema este parâmetro pode ser observado na Figura 63.

Figura 63 – Variação de Coliformes Termotolerantes.



Para a Unidade Hidrográfica do Piraponema, o parâmetro Coliformes Termotolerantes se apresentou em desacordo com a Legislação em todos os pontos da bacia hidrográfica do Pirapó.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, foram encontradas variações próximas ao limite máximo nos pontos 1 e 3, de agricultura intensiva e pastagem, respectivamente. Sobre o uso da terra de cultivo de cana-de-açúcar, os maiores valores se apresentaram nos meses de março, abril e dezembro, caracterizando um possível efluente das propriedades agrícolas, uma vez que a plantação e/ou os insumos agrícolas não alterariam este parâmetro. Já no ponto 3, os picos ocorreram no mês de março e dezembro, caracterizados por maior ocorrência de precipitação, todavia por ser uma atividade agropecuária se justifica o incremento dos valores nesses meses, já que os excrementos animais podem ser levados aos cursos d'água pelo escoamento.

O mesmo acontece na bacia hidrográfica do Paranapanema IV, onde o ponto 4, também apresentou um pico em dezembro, que, segundo apontado por Tarelho Júnior (2014) pode ser devido a propriedades que desenvolvem piscicultura, nesta bacia, o que acentua a possibilidade de lançamentos de efluentes no leito do rio. Já o ponto 5, sobre pastagem, apresentou um padrão de concentração de coliformes termotolerantes, com exceção dos meses de novembro, dezembro, janeiro e abril, provavelmente associados com datas de ocorrência de precipitação, e consequente aumento do escoamento superficial.

Na bacia hidrográfica do Pirapó, os meses de novembro e dezembro apresentaram um pico extremo acima do permitido pela Legislação, para todos os pontos. No ponto 7, sobre atividade agropecuária, esta elevação ocorre pela incidência de chuvas, neste período, que mobilizam os excrementos animais, com maior facilidade, para o curso d'água. O ponto 8 atingiu o limite de 1000 UFC/100 mg.L⁻¹ para o mês de abril também, e, além de estar sobre uso agropecuário, também pode ter influência de cabeceiras urbanas de Mandaguari e Sabáudia. Enquanto que o ponto 9, sobre cultivo agrícola, não justifica por si só esses valores exacerbados, e por vez este ponto pode sofrer um incremento devido ao efluente industrial nas proximidades, assim como demais efluentes lançados nas cabeceiras urbanas em Maringá.

Nos pontos 10 e 11, há uma inconformidade com a Resolução, além dos meses já descritos, no mês fevereiro também, podendo estar associado à influência das cabeceiras urbanas, de Atalaia (ponto 10) e Jardim Olinda (ponto 11), com alteração por lançamento de efluente, uma vez que houve um pico somente nesses dois pontos ao longo da bacia hidrográfica. Além disso, o ponto 11 apresenta os maiores valores em desacordo, por estar diretamente sobre a área urbana e por receber aporte de sedimentos dos demais afluentes da bacia.

Pesquisas desenvolvidas por Freire (2010), Sgorlon (2011), Gorjon Neto (2014), Freire, Bonifácio, Schneider, Tavares (2016), para a bacia em questão, demonstram inconformidades com a Resolução 357/2005 do CONAMA, para os meses de monitoramento, além disso, esses autores destacam também que a influência de valores elevados está associada ao uso antrópico inadequado.

5.4.3.5. Nitrogênio Amoniacal

Na Unidade Hidrográfica do Piraponema, a variação do Nitrogênio Amoniacal pode ser observada na Tabela 16, onde, os valores em *itálico* representam as amostras com pH <7,5 e em **negrito** 7,5<pH>8,0.

Tabela 16 – Variação do Nitrogênio Amoniacal.

	Paranapanema III			Paranapanema IV			Pirapó				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Janeiro	0,34	0,41	0,20	0,30	0,24	0,31	0,20	0,20	0,56	0,95	0,32
Fevereiro	0,24	0,67	0,17	0,19	0,22	0,67	0,35	0,11	0,80	0,90	0,30
Março	0,40	0,55	0,25	0,52	0,29	0,35	0,14	0,15	0,23	0,38	0,66
Abril	0,37	0,63	0,20	0,22	0,23	0,41	0,15	0,14	0,23	0,37	0,33
Maio	0,33	0,42	0,23	0,20	0,23	0,40	0,17	0,16	0,20	0,31	0,30
Junho	0,30	0,42	0,22	0,23	0,24	0,44	0,15	0,17	0,19	0,32	0,27
Julho	0,33	0,41	0,24	0,24	0,25	0,42	0,16	0,20	0,18	0,44	0,23
Agosto	0,30	0,40	0,20	0,20	0,22	0,40	0,20	0,21	0,18	0,40	0,22
Setembro	0,32	0,26	0,17	0,19	0,23	0,41	0,19	0,19	0,22	0,59	0,20
Outubro	0,20	0,26	0,18	0,54	0,26	0,17	0,16	0,17	0,54	0,87	0,20
Novembro	0,30	0,55	0,20	0,50	0,23	0,42	0,22	0,19	0,31	0,52	0,34
Dezembro	0,40	0,63	0,25	0,30	0,26	0,40	0,30	0,24	0,28	0,33	0,55

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estipula como limite superior para o Nitrogênio Amoniacal, em cursos d'água Classe II, a concentração de 3,7 mg.L⁻¹ para pH inferior a 7,5, de 2,0 mg.L⁻¹ para pH entre 7,5 e 8,0 e de 1,0 mg.L⁻¹ para pH acima de 8,0.

Desse modo, para as bacias hidrográficas em questão, é possível notar que todos os resultados estão abaixo do limite estabelecido pela Legislação. Entretanto, há de se mencionar a possibilidade de pela forma amoniacal ser a menos oxidada, pode ter se transformado em nitrito ou nitrato, no percurso de montante à jusante, conforme destacado por Tarelho Júnior (2014) e Gorjon Neto (2014).

Entretanto, comparativamente, nas bacias hidrográficas do Paranapanema III e IV, os valores mais elevados de nitrogênio amoniacal aparecem nos pontos sobre agricultura intensiva (pontos 2, 4 e 6), com plantio de cana-de-açúcar, principalmente no período entressafra e do uso de fertilizantes. Além disso, esses valores podem estar associados também a atividades de aquicultura, presentes na bacia hidrográfica do Paranapanema IV.

Na bacia hidrográfica do Pirapó, os valores mais elevados aparecem entre os meses de verão, principalmente entre os pontos 9 e 10. Como já mencionado, o Ponto 9 está na divisa entre os municípios de Maringá e Iguaraçu, e, neste trecho apresenta ainda a presença de uma indústria, que deve apresentar nitrogênio amoniacal na composição do seu efluente,

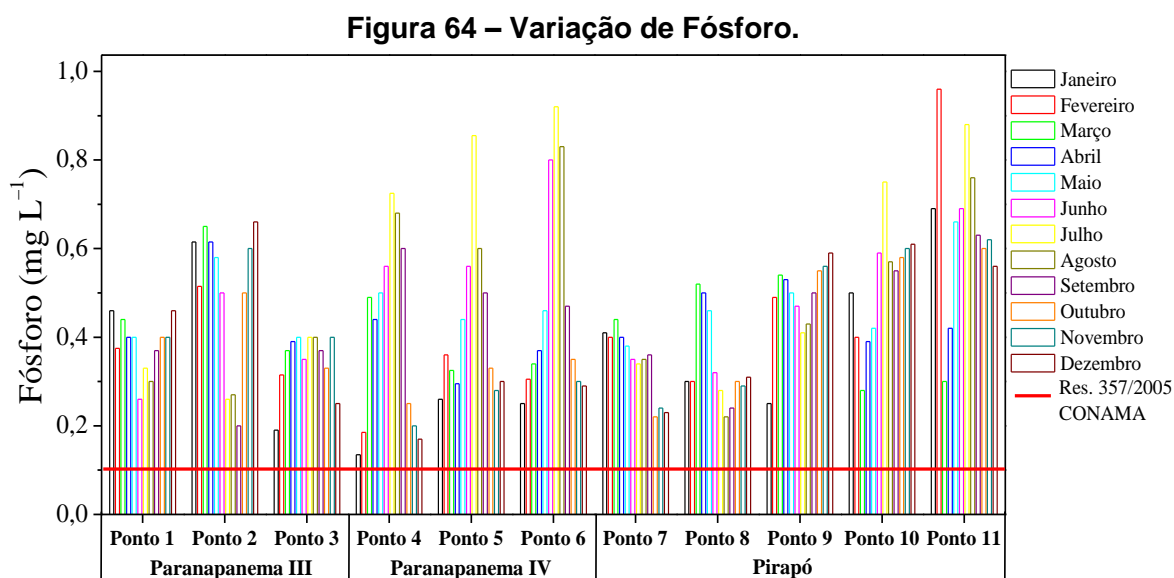
conforme já destacado por Gorjon Neto (2014). Já o Ponto 10 tem seu entorno de agricultura intensiva, e, por ser um período chuvoso, os compostos agrícolas, presentes no solo, podem ter sido lixiviados ao curso d'água, caracterizando um aumento de nitrogênio amoniacal em comparação aos demais meses.

5.4.3.6. Fósforo Total e IET (P)

A Resolução Conama nº 357/2005 estabelece o limite máximo de concentração de Fósforo de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para cursos d'água Classe I e II.

Para o parâmetro Fósforo Total verificou-se que todas as amostras, na Unidade Hidrográfica, apresentaram não conformidade com a Resolução, mesmo ao se considerar o limite para a Classe III ($0,15 \text{ mg.L}^{-1}$).

Assim, para o período de monitoramento, a variação de fósforo está apresentada na Figura 64.



Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, as maiores concentrações foram entre os meses de dezembro a março, principalmente para os pontos 1 e 2, de agricultura intensiva. E, podem estar associadas à aplicação de insumos agrícolas na fase inicial do cultivo, que são carregados aos cursos d'água durante a precipitação, considerando também que é uma época mais chuvosa e o plantio ainda não propicia uma cobertura ao solo.

No ponto 3, com pastagem, os valores não apresentaram picos extremos, entretanto estão bem acima do limite estabelecido. Valores similares foram encontrados por Tarelho Júnior (2014) para o ano de 2013, desse modo, necessário destacar também que além da influência antrópica, a bacia hidrográfica do Paranapanema III possui Formações geológicas distintas entre os pontos de monitoramento, justificando assim a diferença entre os pontos – os pontos 1 e 2 estão sobre a Formação Serra Geral, com solos derivados dos basaltos, que já apresentam naturalmente concentração de fósforo, aliado aos teores de argila, em sua composição (ROLIM NETO et al., 2004; FELIX et al., 2016) e Barbieri et al (2013) destacam ainda que a argila apresenta adsorção do fósforo em cultivos de cana-de-açúcar, independente da forma de plantio/colheita – enquanto que o ponto 3 está sobre a Formação Santo Anastácio, composta por arenitos e solos de textura média, com baixa concentração de fósforo, comparativamente.

Para a bacia hidrográfica do Paranapanema IV, as amostras apresentaram picos de concentração, entre os meses de inverno, caracterizado como mês de pousio entre os cultivos, além disso, essas altas concentrações tem aspecto totalmente antrópico, uma vez que os solos da bacia não propiciam elevados teores de fósforo, pela Formação Caiuá, que deriva solos de textura média, e este período em pico (julho) não está associado a eventos de precipitação. Desse modo, esses valores justificam pela aplicação de fertilizantes em cultivos de áreas próximas aos cursos d'água, assim como os impactos das atividades agropecuárias, como já abordados por Tarelho Júnior (2014).

Já na bacia hidrográfica do Pirapó, a tendência de aumento de fósforo se deu da montante para jusante. Nesta bacia hidrográfica, todos os pontos estão sobre solos de textura argilosa, o que caracteriza naturalmente a presença de fósforo nas águas, além disso, há também a interferência antrópica – nos pontos 7 e 8, de influência agropecuária, os valores foram mais baixos, comparativamente com os demais, enquanto que o ponto 9, teve valores próximos em todos os meses, está na divisa entre dois municípios e condicionado ao efluente de uma indústria nas proximidades.

Já o ponto 10, de cultura temporária, teve picos entre os meses de inverno, novamente pode estar associada ao período de pousio e, o ponto 11

no município de Jardim Olinda, por ser a jusante e receber toda a água dos demais afluentes da bacia, ainda pode ter valores acrescidos pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos da sua área urbana.

Desse modo, é importante destacar que o fato de todas as amostras excederem o limite condicionado pela Resolução é indicativo de que os cursos d'água da Unidade Hidrográfica estão suscetíveis, em diferentes níveis, do processo de eutrofização, como se observa pela Tabela 17.

Tabela 17 – Índice de Estado Trófico (IET).

	Paranapanema III			Paranapanema IV			Pirapó				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Janeiro	67,6	69,2	63,1	61,3	64,7	64,5	67,0	65,4	64,5	68,1	69,7
Fevereiro	66,6	68,2	65,7	62,9	66,4	65,5	66,9	65,4	68,0	66,9	71,5
Março	67,4	69,4	66,5	68,0	65,8	66,1	67,4	68,3	68,5	65,1	65,4
Abril	66,9	69,2	66,8	67,4	65,3	66,5	66,9	68,1	68,4	66,8	67,2
Maió	66,9	68,8	66,9	68,1	67,4	67,6	66,7	67,6	68,1	67,2	69,5
Junho	64,7	68,1	66,2	68,7	68,7	70,5	66,2	65,8	67,8	68,9	69,7
Julho	65,9	64,7	66,9	70,0	70,9	71,2	66,1	65,1	67,0	70,2	71,0
Agosto	65,4	64,9	66,9	69,7	69,0	70,7	66,2	63,8	67,3	68,8	70,3
Setembro	66,5	63,3	66,5	69,0	68,1	67,8	66,4	64,3	68,1	68,6	69,3
Outubro	66,9	68,1	65,9	64,5	65,9	66,2	63,8	65,4	68,6	68,8	69,0
Novembro	66,9	69,0	66,9	63,3	65,1	65,4	64,3	65,2	68,7	69,0	69,2
Dezembro	67,6	69,5	64,5	62,5	65,4	65,2	64,0	65,6	68,9	69,1	68,7

*marrom: eutrófico; vermelho: supereutrófico; roxo: hipereutrófico.

Conforme apresentado na Tabela 17, o IET indica o potencial de eutrofização dos cursos d'água da Unidade Hidrográfica do Pirapanema. Assim, é possível observar que 69 amostras, em vermelho, se definem como um nível Supereutrófico ($63 < IET \leq 67$), em roxo, 60 amostras como Hipereutrófico ($IET > 67$), e apenas 3 amostras, referentes ao ponto 4 do Paranapanema IV com grau Eutrófico ($IET \leq 63$).

Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, a ponto 3 é o que apresenta o menor grau de trofia, em relação aos demais pontos na bacia. Está sobre solos de textura média e possui a maior altitude (409 m). Enquanto que o ponto 2, com o pior grau, em todos os meses, tem a seu desfavor a menor altitude (340 m), solos argilosos e cultivo de cana-de-açúcar, que como já abordado por Barbieri et al (2013) condiciona a um acúmulo de fósforo.

Na bacia do Paranapanema IV, somente o ponto 4 teve amostras (fevereiro, outubro e dezembro) com grau Eutrófico, sendo um ponto de coleta

de água alocado sobre solos de textura média (menor concentração de fósforo), além de apresentar a maior altitude 343 m, o que já caracteriza sua drenagem com águas mais turbulentas e, conseqüentemente, menor chances da fixação de algas, comparativamente com os demais.

E, na bacia hidrográfica do Pirapó o grau de trofia aumentou de montante a jusante, com influência da altitude e do uso antrópico, visto que todos os pontos estão sobre a mesma formação geológica e solos associados. Sendo assim, os pontos 7 e 8, sobre pastagem e com maior altitude, 556 m e 454 m, respectivamente, se apresentaram com um grau de Supertrófico, na maioria dos meses. Enquanto que os pontos 9, 10 e 11 apresentaram amostras com grau Hipereutrófico, cada vez mais constantes, respectivamente, e, estão associados a culturas temporárias, proximidade de indústrias e áreas urbanas, além da baixa altitude do ponto 11 (264 m) como jusante e receptor da carga de fósforo de todos os cursos.

É importante ressaltar que, apesar desses graus de trofia elevados para a Unidade Hidrográfica, as características inerentes ao sistema lótico, como a turbulência, gerada pelos desníveis altimétrico, e o contínuo transporte da comunidade fitoplânctônica, conforme Cunha et al (2008), levam a crer que dificilmente essa comunidade de algas seria capaz de se desenvolver de forma efetiva e que o estado de eutrofização seria incomum, a não ser em áreas de remanso.

No período de monitoramento das bacias hidrográficas, não foram raras as vezes que se presenciou uma atividade biológica significativa, conforme exemplo da fotografia de um curso d'água em Prado Ferreira - bacia do Paranapanema III (Figura 65), demonstrando que o incremento de fósforo e nitrogênio, pode conduzir à eutrofização, mesmo em sistemas lóticos.

Figura 65 – Presença de algas em um curso d'água.

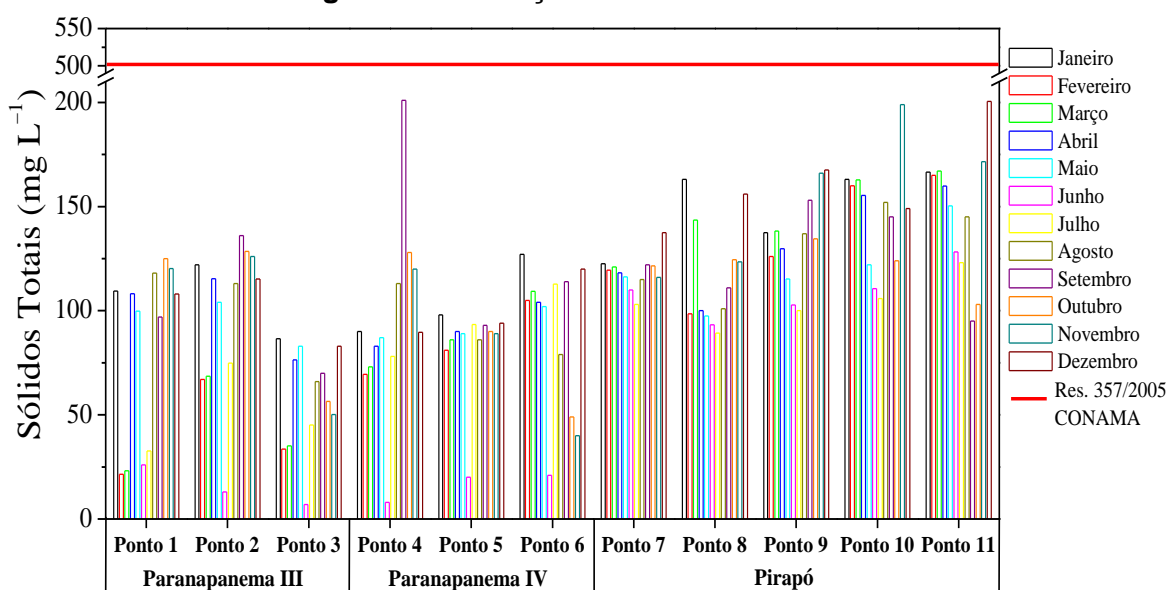


5.4.3.7. Sólidos

Os valores de concentração obtidos no monitoramento dos parâmetros de sólidos totais e sólidos dissolvidos encontram-se nas Figuras 66 e 67, respectivamente. Todavia a Resolução CONAMA n°357/2005 estabelece somente o limite para Sólidos Totais, na concentração máxima de 500 mg.L^{-1} , para cursos d'água Classe II.

Sobre os Sólidos Totais nas bacias hidrográficas é possível observar que em nenhum momento houve o desacordo com a Legislação, ou seja, em todo o período de monitoramento este parâmetro esteve em conformidade, apresentando variações conforme determinados meses e entre as bacias.

Figura 66 – Variação de Sólidos Totais.



A bacia hidrográfica do Paranapanema III foi a que apresentou os menores valores para sólidos totais, ainda é possível observar a diferença entre os pontos de monitoramento – onde o ponto 3, com o uso de pastagem teve as menores concentrações, mesmo sobre o arenito. Isso condiz que de certa forma a pastagem oferece um grau de proteção maior, até em solos de textura média, comparado ao uso de cultura temporária, sobre o basalto (pontos 1 e 2), para a mesma bacia. Além disso, as altas concentrações estão relacionadas aos meses de verão, caracterizado por um período chuvoso na Unidade Hidrográfica.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema IV as maiores concentrações de sólidos foram encontradas nos usos agrícolas intensivos, com plantação de cana-de-açúcar (pontos 4 e 6), com destaque para um pico em setembro, provavelmente devido a proximidade da coleta a um evento de precipitação anterior. Nos meses de inverno, durante o pousio, houve um decréscimo da quantidade de sólidos na água, também relacionado por um período de estiagem na região, ou seja, mesmo com o solo exposto houve pouca ocorrência de chuvas.

Já a bacia hidrográfica do Pirapó foi a que apresentou os maiores valores para sólidos totais, mesmo apresentando valores de pluviosidade, nas datas de coletas, menores em relação à bacia do Paranapanema III. Dessa forma, nos pontos monitorados, é possível observar que o ponto 7 foi o que se mostrou com a menor variação de sólidos entre os meses, sobre o uso de pastagem, que pode ter colaborado para essa estabilidade entre o período, ou seja, não teve grandes picos, enquanto que o ponto 8, mesmo sobre pastagem, também possui a interferência da área urbana de Mandaguari e Sabáudia, que contribuem com afluentes com cabeceiras urbanas e consequente adição de sólidos de efluentes, destacando assim determinados picos, principalmente em períodos chuvosos. Além disso, Bonifácio, Uema, Tavares (2015) destacam a influência das cabeceiras urbanas no aporte de sólidos totais na bacia do Pirapó.

No o ponto 9, divisa de Maringá com Iguaraçu, é caracterizado por cultivos temporários, pela presença de indústrias, e por afluentes com cabeceiras urbanas (FREIRE, 2010) teve incrementos da concentração de

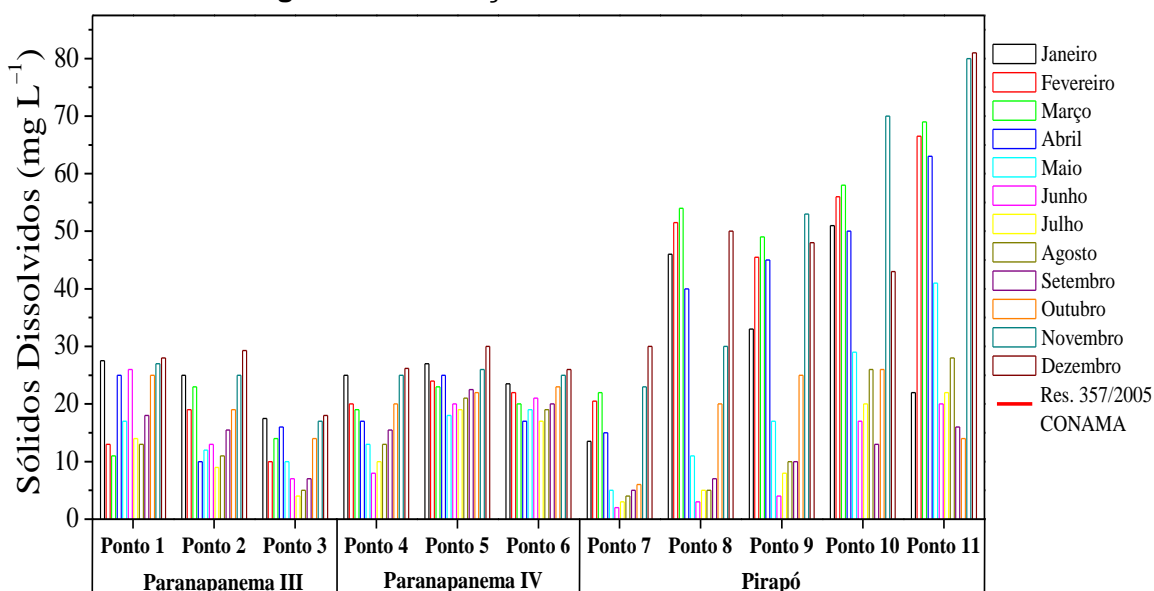
sólidos totais com picos em diversos meses (novembro e dezembro; março e abril).

E os pontos 10 e 11, foram os pontos com maior concentração de sólidos totais das bacias analisadas, com grandes picos entre novembro/dezembro e janeiro a março, contudo, mesmo no período de estiagem (inverno), coincidiu das datas das coletas de água estar próximas a eventos de precipitação nos meses de junho e julho, assim, estes pontos apresentaram valores acima dos demais, ou seja, houve um incremento de sólidos, pela concentração no sentido da jusante e pela área urbana relacionado com um período de chuvas, que pode ter causado um maior escoamento de materiais aos cursos d'água.

E em relação aos Sólidos Dissolvidos é possível visualizar que houve um comportamento distinto entre as bacias hidrográficas dentro da Unidade Hidrográfica do Piraponema, conforme Figura 67.

Para o parâmetro Sólidos Dissolvidos é importante destacar que somente as menores partículas são analisadas, ou seja, as partículas mais finas, que ficam em suspensão na água.

Figura 67 – Variação dos Sólidos Dissolvidos.



Neste sentido a FAO (1990) caracteriza a fração menor que 0,002mm como argila e entre 0,002 a 2 mm como silte e areia, respectivamente. Assim, essas partículas além do tamanho, também possuem densidade diferente, sendo transportadas e sedimentadas conforme seu tamanho.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, o ponto que apresenta a menor concentração de sólidos dissolvido é o ponto 3, justamente sobre o arenito, isso se justifica pelo fato de que no local há solos com textura média, onde os sedimentos transportados ao curso d'água são rapidamente decantados, devido a baixa quantidade de argila, além do uso de pastagem propiciar um menor escoamento do solo, comparativamente. Enquanto que os pontos 1 e 2, sobre o basalto, estão em solos associados a uma maior quantidade de argila que, juntamente com seu uso agrícola, promove o carregamento dessas partículas que ficam suspensas nos cursos d'água.

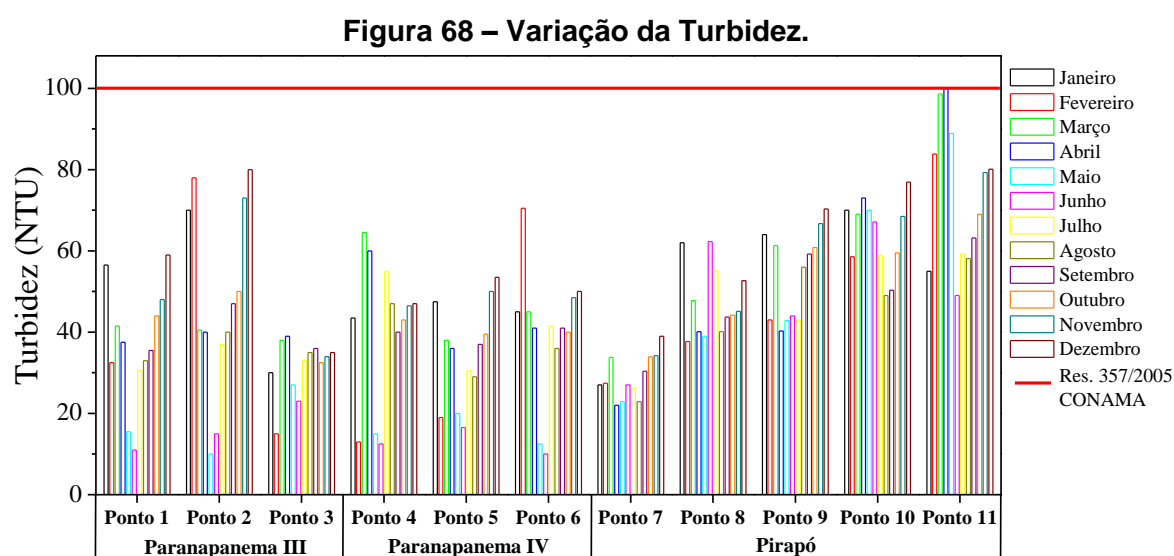
Já a concentração de sólidos dissolvidos na bacia hidrográfica do Paranapanema IV também se apresenta de forma diferente entre os pontos de monitoramento. No ponto 4, há uma tendência de maiores resultados nos meses de verão e redução no inverno, o que caracteriza um maior carregamento das partículas em períodos de precipitação. Enquanto que no ponto 5, apesar de também ocorrer maiores valores entre os meses de novembro a fevereiro, não houve picos tão extremos e um período característico, ou seja, sobre a pastagem, o carregamento de sedimentos finos não ocorreu de forma tão desigual, mesmo recebendo a carga de sedimentos do ponto 4 e dos demais afluentes. Enquanto que o ponto 6, de forma diferente, apresenta concentração também de abril a junho, superior aos demais pontos, contudo, esses valores ocultam a situação in loco, onde, existem áreas de extração de areia, ou seja, apesar de baixas concentrações medidas na água, pela geologia desta bacia, o material tende a ser depositado, gerando bancos de areia nos leitos dos rios.

Na bacia hidrográfica do Pirapó, houve grandes picos, que caracterizaram os meses de maior pluviosidade. Destacam-se altas concentrações de sólidos dissolvidos devido a grande quantidade de argila associada aos solos desta bacia, no entorno dos pontos de monitoramento. Comparativamente, o ponto 7, com pastagem, foi o que apresentou os menores valores, seguido do ponto 8, também com pastagem, mas que já apresenta uma influência das cabeceiras urbanas de Mandaguari e Sabáudia, e recebe a carga de sólidos do ponto 7, além disso, é importante destacar que esses pontos pertencem a alta bacia do rio Pirapó, unidade definida por Nóbrega et al. (2015) de áreas mais dissecadas e solos mais rasos, o que ocasiona um escoamento maior e que justifica um incremento nos sólidos.

O ponto 9, mesmo mais distante dos anteriores, também apresentou picos nos meses de verão, e, além disso, essa carga suspensa pode ser originada pelas cabeceiras urbanas, de Maringá, como também pelo escoamento difuso das culturas temporárias no local. Já o ponto 10, na divisa entre dois municípios, pode receber efluentes urbanos, como também o carreamento de solo na área agrícola, justificando o incremento nesse ponto. Enquanto que o 11, por estar na jusante, recebe toda a carga de sólidos do percurso do rio Pirapó e demais afluentes.

5.4.3.8. Turbidez

Para o parâmetro Turbidez, a Resolução CONAMA n°357/2005 estabelece o limite máximo de 100 NTU para cursos d'água Classe II. Assim, a variação da turbidez na Unidade Hidrográfica do Piraponema está na Figura 68, onde se observa que não houve inconformidades com o estipulado pela Resolução.



Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, o ponto 1 apresentou picos de concentração de turbidez entre os meses de verão, como observado anteriormente para o parâmetro Sólidos, principalmente na comparação entre os Sólidos Dissolvidos, onde o ponto 2 recebe um incremento do ponto 1. Assim, comparativamente, os pontos 1 e 2 apresentaram maiores valores, em relação ao ponto 3, e, como já descrito, o uso da terra dos primeiros pontos,

agricultura intensiva, colabora para o arraste de partículas aos cursos d'água com maior intensidade de acordo com o período do ano/precipitação. Além disso, o ponto 3 apresenta, de forma geral, as menores medidas, devido ao uso de pastagem e ao substrato geológico, que origina solos com menores teores de ferro e manganês em relação aos solos sobre o basalto, e, dessa forma, há pouco incremento na turbidez naturalmente associado a Formação local.

A bacia hidrográfica do Paranapanema IV, inteiramente sobre o arenito Caiuá, tem uma maior suscetibilidade à erosão de seus solos, como já apontado por diversos autores, contudo, as partículas carregadas são de fração maior (silte e areia) o que colabora para uma deposição rápida no fundo dos cursos d'água, causando assoreamento e, ao contrário das argilas, não fica em suspensão e não incrementa de forma realmente efetiva a turbidez das águas, comparativamente. Assim, para a bacia em questão, os maiores picos foram observados entre os pontos 4 e 6, enquanto que o ponto 5, mesmo recebendo um aporte do ponto 4, ainda se mantém pouco mais uniforme enquanto que os demais apresentam mudanças drásticas entre verão/inverno, assim como observado também para os demais parâmetros. E, segundo Tarelho Júnior (2014) essa tendência de aumento entre os pontos se deve que ao longo de seu percurso, o curso d'água recebe aportes do carreamento superficial, precipitação e fragilidade do solo nas encostas.

A bacia hidrográfica do Pirapó apresenta uma grande tendência de aumento da turbidez de montante a jusante. Isso se deve pela diferença altimétrica, onde as partículas por ação da gravidade são transportadas, pelos usos da terra, de pastagem, agricultura intensiva e área urbana, respectivamente, pela Formação geológica e solos associados, com maior quantidade de argilas e minerais de ferro e manganês, pela presença de aportes vindos de cabeceiras urbanas, com incidência de efluentes e esgotos e, pelo acúmulo de sedimentos de todos os afluentes contribuintes da bacia (durante principalmente os eventos de precipitação). Assim, é possível observar na Figura 69-a, a turbidez da água do rio Pirapó no ponto 11, pelas causas já mencionadas. E a diferenciação entre turbidez das águas, no encontro do rio Pirapó com o rio Paranapanema (Figura 69-b).

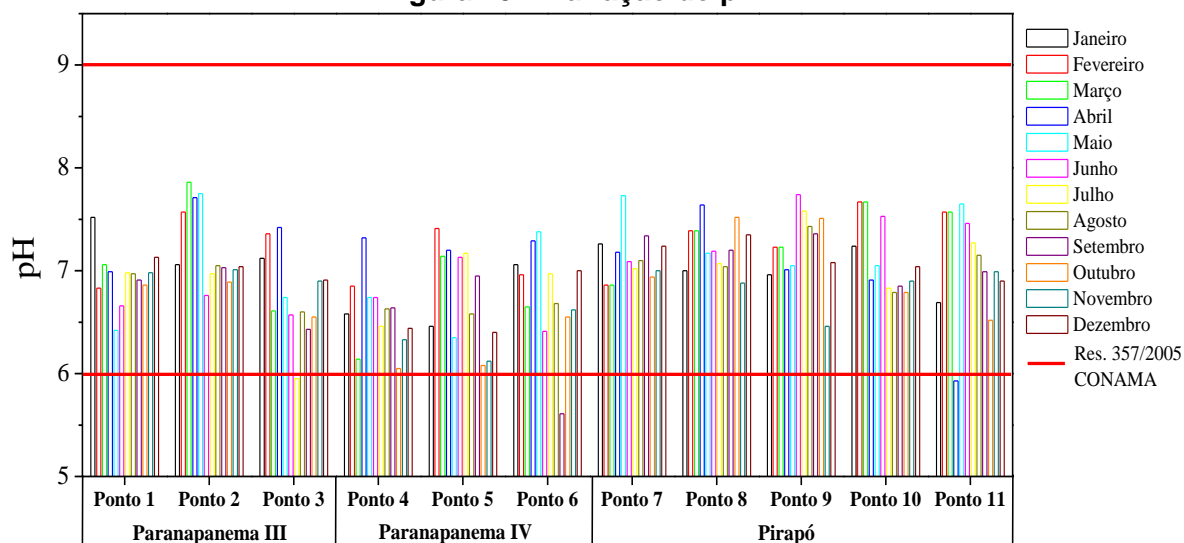
Figura 69 – Águas turvas do ponto 11, jusante do rio Pirapó.



5.4.3.9. Potencial hidrogeniônico (pH)

Para o parâmetro pH, a Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece os limites entre 6 a 9. Assim, na Figura 70 está apresentada a variação do pH para a Unidade Hidrográfica do Piraponema.

Figura 70 – Variação do pH.



O parâmetro pH apresentou inconformidades com o estabelecido pela Legislação, nas bacias hidrográficas e, em mais de um momento, durante o período de monitoramento.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema III, os maiores picos de concentração de pH foram nos meses do primeiro semestre, entre fevereiro a maio. As faixas mais elevadas foram registradas no ponto 2, de agricultura

intensiva, e que recebe um aporte do ponto 1, também sobre a mesma condição de uso. Enquanto que o ponto 3, apesar de apresentar melhor conformidade em relação aos demais parâmetros e aos demais pontos, apresentou uma inconformidade em julho (5,95), o que caracteriza algum despejo ou alteração pontual neste mês, já que não foi observada alteração nos demais parâmetros para este ponto/mês.

Na bacia hidrográfica do Paranapanema IV, nos pontos 4 e 5, para os meses de outubro e novembro, os valores de pH chegaram próximo do limite mínimo, 6,05 e 6,08, respectivamente, contudo é possível observar que houve um pequeno incremento sentido jusante, que colaborou para o aumento entre os pontos. Esse incremento sentido jusante foi observado também por Tarelho Júnior (2014). Enquanto que o ponto 6, sobre agricultura intensiva, apresentou uma inconformidade com a Legislação, para o mês de setembro, com 5,61.

Todavia, pode-se fazer uma comparação entre os pontos 3, da bacia do Paranapanema III, e o 6, da bacia do Paranapanema IV, onde ambos apresentaram valores abaixo do limite mínimo estabelecido. Neste sentido, apesar de Formações geológicas distintas, Formação Santo Anastácio e Formação Caiuá, ambas derivam solos de textura média, os Argissolos que, conforme a Embrapa (2006) são solos forte a moderadamente ácidos, e por estarem sobre o uso de agricultura intensiva (cana-de-açúcar) são mais suscetíveis ao escoamento e, esses sedimentos ao chegarem aos cursos d'água podem contribuir para o decréscimo dos valores de pH.

Já na bacia hidrográfica do rio Pirapó, por todos os pontos estarem sobre solos derivados do basalto, não justificaria baixos valores de pH associados a eles. Assim, no caso do ponto 11, que está em desacordo com o limite mínimo, com um valor de 5,93 pode representar a coincidência de um lançamento de efluente em data próxima ao período de coleta da água.

5.4.4. A qualidade da água e a Fragilidade Ambiental

Os resultados do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água demonstraram que há diferenças significativas entre as bacias hidrográficas analisadas, mesmo pertencentes à mesma Unidade Hidrográfica, que refletem suas características físicas e seus usos antrópicos particulares.

Neste sentido, dentre os parâmetros das bacias analisadas (Tabela 18), a do Pirapó apresentou a maior quantidade de parâmetros (9 de 10) com média mais alta, alocados entre os pontos 10 e 11, conforme já discutidos anteriormente. Enquanto que os valores intermediários (6 de 10) se concentraram na bacia do Paranapanema III, entre os pontos 1 e 2. Já a bacia hidrográfica do Paranapanema IV se caracteriza pelos valores mais baixos, encontrados nas três bacias.

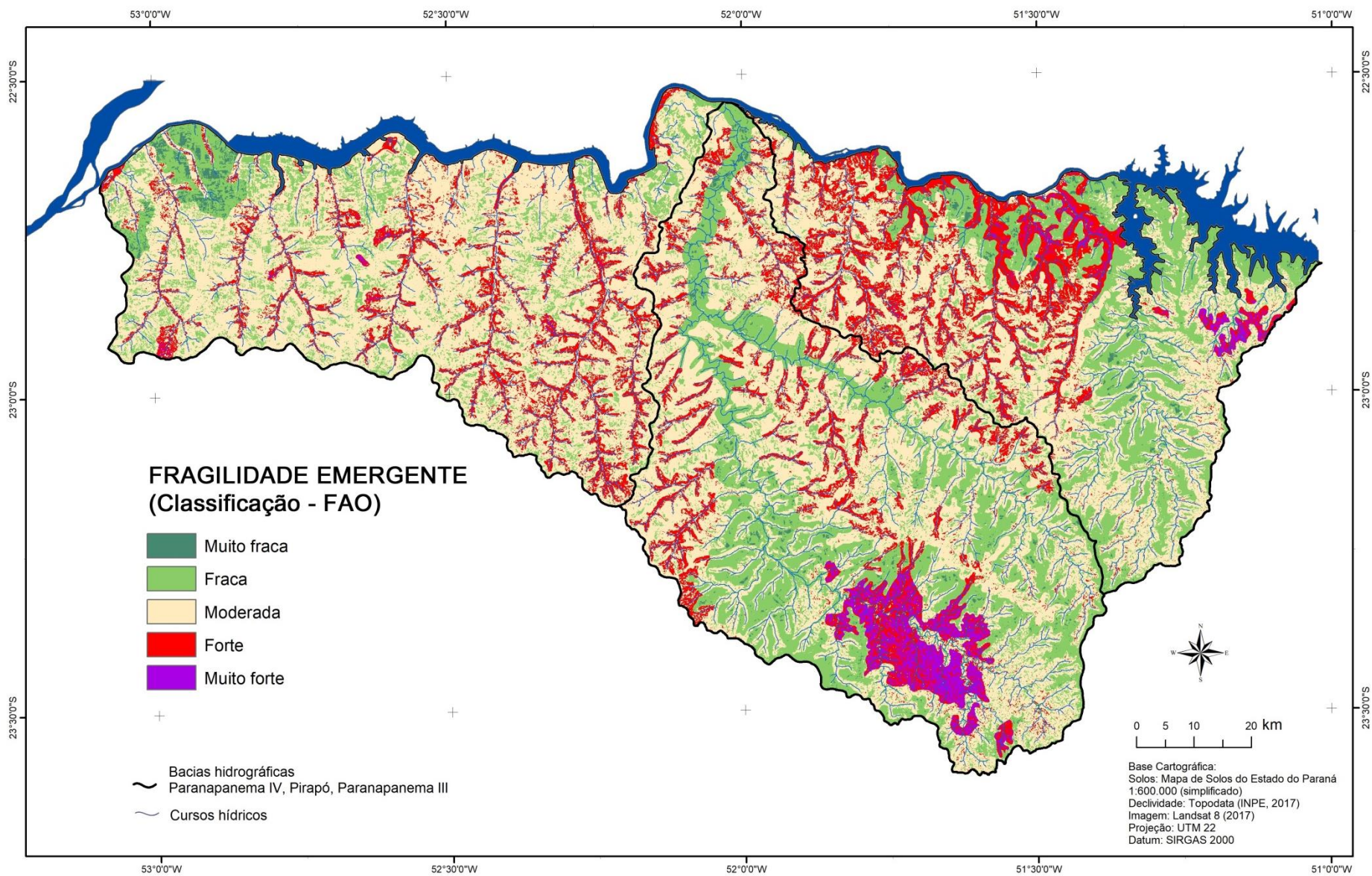
Ao observar o mapa de Fragilidade Emergente (Figura 71), elaborado para a Unidade Hidrográfica do Piraponema, que leva em consideração além dos aspectos físicos naturais, o uso da terra, é possível notar que a fragilidade se reflete também na qualidade da água: no caso da bacia hidrográfica do Pirapó, a maior porcentagem do grau de fragilidade Muito Forte, está na alta bacia, contribuindo para o conjunto de valores mais elevados no percurso do rio Pirapó, em relação às demais bacias. Seguida pelo Paranapanema III, que apresenta a maior porcentagem do grau Forte, enquanto que a bacia do Paranapanema IV é caracterizada por apresentar a maior extensão de grau Moderado, comparativamente.

Tabela 18 – Média dos parâmetros de qualidade da água.

Parâmetros	Paranapanema III			Paranapanema IV			Pirapó				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temp. água (°C)	21,6	23,8	24,6	25,2	25,4	26,9	22,5	23,2	26,9	27,2	26,5
OD (mg/L)	7,86	7,71	7,47	7,30	7,58	6,84	7,75	7,76	6,90	6,55	7,51
DBO (mg/L)	2,81	2,48	2,00	2,55	2,18	2,26	2,38	1,99	1,93	2,88	2,83
Coliformes (UFC)	521	333	425	404	563	304	425	600	953	804	1417
Nitrog. Amon. (mg/L)	0,32	0,47	0,21	0,30	0,24	0,40	0,20	0,18	0,33	0,53	0,33
Fósforo (mg/L)	0,38	0,50	0,35	0,41	0,43	0,47	0,34	0,34	0,49	0,52	0,65
Sólidos Totais (mg/L)	82,42	98,61	57,69	95,01	84,12	90,26	118,54	116,75	133,96	145,72	147,93
Sólidos Dissol. (mg/L)	20,38	17,57	11,63	17,64	23,13	21,04	12,42	26,88	28,96	38,25	43,54
Turbidez (NTU)	37,04	48,38	31,46	40,58	34,71	40,08	28,89	47,48	54,29	64,23	73,69
pH	6,94	7,23	6,76	6,58	6,75	6,77	7,14	7,24	7,22	7,11	7,06

*Vermelho: maior valor; Amarelo: valor intermediário; Verde: menor valor.

Figura 71 - Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente Unidade Hidrográfica do Piraponema.



5.5. A fragilidade ambiental potencial e emergente na Unidade Hidrográfica do Piraponema: significado ambiental

Após a validação da metodologia para a obtenção da fragilidade ambiental potencial e emergente na Unidade Hidrográfica do Piraponema passa-se à discussão do seu significado ambiental.

A proposta original da metodologia de Ross (1994) tem por base a análise integrada dos elementos maiores que compõem o meio físico. Nos mapas gerados por essa metodologia verificou-se que os conjuntos de cores representam unidades ecodinâmicas estáveis ou instáveis e que a variação dos tons dentro de cada conjunto está atrelada à declividade. A integração, nesse caso, está expressa apenas no código numérico gerado.

Na nova proposta, abandonou-se a classificação em unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis. Para tanto se considerou dois fatos: a Unidade Hidrográfica do Piraponema está inteiramente ocupada, apresentando pequenas áreas de vegetação florestal original preservada e matas ciliares, estas geralmente plantadas; a escala do trabalho não possibilita o destaque dessas áreas. Entretanto, adotou-se a apresentação de dois mapas: um de fragilidade ambiental potencial, considerando os atributos relacionados aos solos e ao relevo (declividade) e outro de fragilidade ambiental emergente (Figura 72). Como já foi referida anteriormente, a comparação dos dois mapas possibilita avaliar o nível de degradação produzido pela ocupação humana.

Na Tabela 19 são apresentados os resultados em porcentagem de área compreendida pelas categorias de fragilidade (muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte) por parâmetro (solo e declividade). Verifica-se, na análise individual dos parâmetros, que em termos de relevo as declividades fracas e muito fracas dominam em 82,4% da Unidade Hidrográfica, e apenas 13,1% se enquadram como moderadas e 4,5% como fortes e muito fortes. Com relação aos graus de fragilidade dos atributos relativos aos solos, a situação é muito distinta: 35,1% dos solos se enquadram nas categorias fraca e muito fraca e praticamente o mesmo percentual se insere moderada, enquanto que 29,8% correspondem às categorias forte e muito forte.

Figura 72 – Síntese Ambiental.

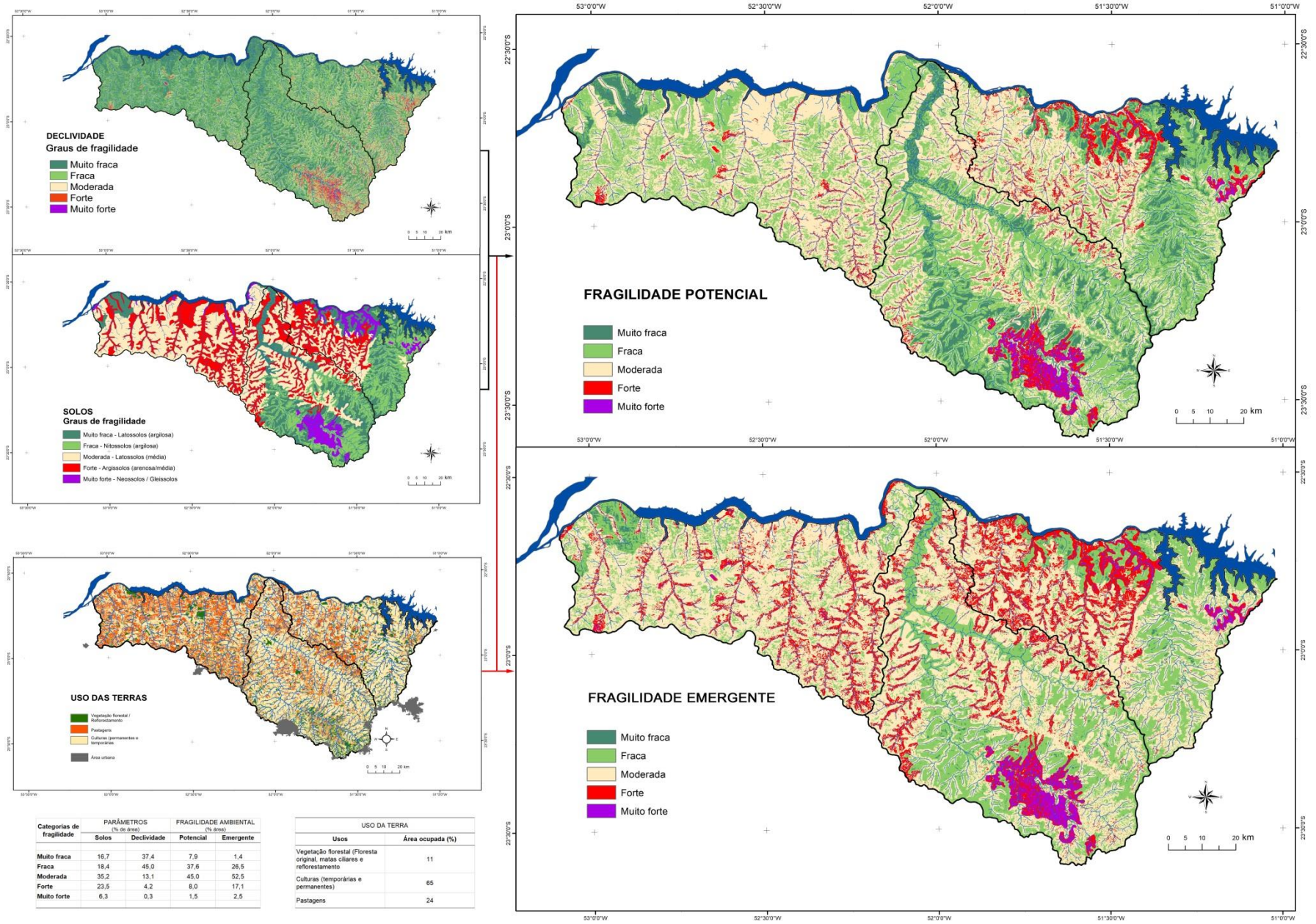


Tabela 19 – Comparação entre os graus de fragilidade dos parâmetros solo e relevo (declividade) e os graus de fragilidade ambiental detectados na Unidade Hidrográfica (em % de área).

Categorias de fragilidade	PARÂMETROS (% de área)		FRAGILIDADE AMBIENTAL (% área)	
	Solos	Declividade	Potencial	Emergente
Muito fraca	16,7	37,4	7,9	1,4
Fraca	18,4	45,0	37,6	26,5
Moderada	35,2	13,1	45,0	52,5
Forte	23,5	4,2	8,0	17,1
Muito forte	6,3	0,3	1,5	2,5

Os resultados obtidos para a fragilidade ambiental potencial na Unidade Hidrográfica revelam que 45,5% da área se enquadram nas categorias muito fraca e fraca enquanto que 45% estão incluídas na moderada, e 9,5% nas categorias forte e muito forte. Esses resultados são distintos daqueles verificados para os parâmetros, revelando que a metodologia está expressando, de fato, uma integração entre eles. Verifica-se, por exemplo, que parte dos solos com atributos mais vulneráveis (grau forte e muito forte), ocorre em áreas de fragilidade potencial mais baixa (moderada), situação que resulta das condições oferecidas pelo relevo (declividades mais fracas nas vertentes). Situação inversa é observada para os Latossolos de textura argilosa, que se enquadram como parâmetro na categoria muito fraca, mas passam a integrar áreas com fragilidades potencialmente fracas, em decorrência, agora, do aumento das declividades.

A mesma situação é observada para a fragilidade ambiental emergente. Nessa análise, devem-se considerar também os dados apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Uso da terra na Unidade Hidrográfica do Piraponema.

Usos	Área ocupada (%)
Vegetação florestal (Floresta original, matas ciliares e reflorestamento)	11
Culturas (temporárias e permanentes)	65
Pastagens	24

A fragilidade ambiental emergente fraca e muito fraca representa 27,9%, que se traduz em uma redução de 39% da área estimada na condição de fragilidade potencial. Essas áreas correspondem àquelas onde a mecanização agrícola não encontra problemas para a sua utilização podendo ser ocupadas por cultivos temporários. Observa-se que a porcentagem da área (35,1%) ocupada por solos com características de menor fragilidade é superior a ela, evidenciando que parte deles está agora em condições de maior vulnerabilidade.

A fragilidade ambiental emergente moderada ocupa uma área relativamente maior que aquela potencialmente estimada, tendo aumentado em 15% em relação a esta. Aumento expressivo é verificado nas áreas que se classificam como de fragilidade ambiental emergente forte e muito forte em relação à condição potencial: de 9,5 % passou a representar 19,6%, mais do que o dobro.

Esse aumento nas áreas de fragilidade ambiental forte e muito forte em relação à condição potencial ocorre, como pode ser observado na comparação dos mapas, no alargamento dessas faixas em situação de baixa vertente e nas cabeceiras de drenagem, quando já existiam na condição potencial, e no surgimento de novas, em posições semelhantes (baixa vertente e cabeceiras) onde ocorrem preferencialmente os Argissolos de textura arenosa/média, agravadas pela ocupação com culturas, principalmente a de cana de açúcar.

Em síntese pode-se concluir que na Unidade Hidrográfica do Piraponema, as áreas de fragilidade ambiental emergente fraca e muito fraca são compostas principalmente pelos solos de textura argilosa (Latosolos

Vermelhos e Nitossolos Vermelhos), derivados do basalto, e associados a um relevo, de fracas e muito fracas declividades (0 a 10%), ocupados principalmente por culturas temporárias de grãos (soja/milho/trigo). É, portanto, na área de ocorrência dos basaltos que essa categoria ocorre de forma mais expressiva, se estendendo pelos topos e vertentes, chegando a muitos locais até próximo ao terço inferior das vertentes. Na área de ocorrência dos arenitos, principalmente na bacia do Paranapanema IV, a fragilidade ambiental emergente fraca também ocorre, mas como áreas descontínuas, principalmente vinculadas aos topos e à presença dos Latossolos, aqui de textura média. Neste caso, são as declividades muito fracas e o uso com pastagem que favorecem essa condição.

As áreas classificadas como de fragilidade ambiental emergente moderada, aparecem preferencialmente associadas às zonas de ocorrência dos arenitos e aos solos de textura média, os Latossolos principalmente, ocupando de modo mais extensivo os topos e as vertentes. Os usos da terra associados são principalmente as pastagens e culturas de cana e mandioca. Parte das áreas de ocorrência dos Argissolos, associadas às fracas fragilidades, também aparecem como de fragilidade emergente moderada, principalmente quando recobertas com pastagem.

Sobre o basalto, as áreas de fragilidade emergente moderada aparecem preferencialmente no terço inferior das vertentes e/ou a partir da média vertente, onde ocorrem os Nitossolos, chegando a posições mais altas e ao topo, contudo, quando o relevo se apresenta mais dissecado, como na parte da alta bacia do Pirapó e no topo do divisor da bacia do ribeirão Vermelho (bacia do Paranapanema III).

As categorias de fragilidade emergente forte e muito forte ocorrem como faixas mais estreitas ou relativamente alargadas ao longo dos cursos d'água, e de modo mais frequente e contínuo na área de ocorrência dos arenitos e solos de textura média (BONIFÁCIO, 2013). Aparecem também associados às cabeceiras de drenagem que apresentam anfiteatros bem marcados e com declividades relativamente mais acentuadas. Nessas duas condições os Argissolos são dominantes. A situação se agrava pela associação com as condições de uso sejam elas pastagem ou culturas.

Na bacia do Paranapanema III uma área às margens do rio Paranapanema, extensa e contínua, se apresenta como de fragilidade emergente forte. Aqui as declividades são muito fracas, mas os Gleissolos (solos hidromórficos) são os responsáveis por essa condição, já prevista na condição de fragilidade potencial. O mesmo acontece com um setor mais dissecado na alta bacia do Pirapó. É a condição geomorfológica (vertentes muito dissecadas) associada aos solos rasos (Neossolos Litólicos e/ou Regossólicos) que lhes confere, já na condição potencial, uma forte e muito forte fragilidade.

Conclui-se, portanto, que a metodologia proposta revela a integração existente entre os parâmetros selecionados e que, de fato, se constituem em elementos significativos na estruturação desse ambiente.

Ressalva-se, entretanto a importância do clima, que nessa aplicação, não pode ser adequadamente avaliada e incluída na equação proposta para a determinação da fragilidade. Contudo, os levantamentos de campo mostraram que na Unidade Hidrográfica do Pirapanema, os solos e o relevo foram determinantes na ocorrência e distribuição dos fenômenos erosivos: as evidências de erosão laminar e linear são mais frequentes e os fenômenos aparentemente mais intensos na área de ocorrência dos arenitos, recobertos pelos solos de textura média (Argissolos, principalmente) do que na área do basalto, recoberto pelos solos de textura argilosa, apesar da pluviosidade relativamente maior sobre essa área (TERASSI, 2015). Pode-se concluir, portanto, que a variação da pluviosidade na área de pesquisa não é suficiente para suplantar as influências do conjunto solo-relevo. Outro fato que colabora com essa interpretação é o mapa de perda de solo por erosão, realizado com a aplicação da equação universal (EUPS). Nesse mapa a erosividade da chuva foi considerada na previsão das perdas. Apesar dos maiores valores de erosividade ocorrerem sobre a área do basalto eles não geraram perdas, a não ser no setor de forte dissecção, onde a declividade e a erodibilidade dos solos são também mais expressivas.

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

O conhecimento das características e condições ambientais deve ser utilizado de modo integrado e transmitido de modo simplificado e direto.

Neste contexto, após a elaboração e validação da metodologia para a obtenção da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente na Unidade Hidrográfica do Piraponema, é possível concluir que:

A análise dos mapas de fragilidade ambiental potencial demonstrou que há diferenças resultantes das variações entre as classificações de declividades: as classificações da Embrapa (2006) e de Ross (1994), fogem ao padrão daquelas reveladas com a adoção das classificações de Quebra Natural (JENKES, 1965), Young (1972), FAO (2006), que se mostram relativamente mais próximas. Após a comparação dos resultados obtidos, na fragilidade potencial quanto na emergente, com a aplicação das classificações das declividades propostas por Young (1972), Ross (1994), FAO (2006), EMBRAPA (2006), FAO (2006), Lepsch et al. (2015), foi adotada a classificação simplificada adaptada da FAO (2006), por se mostrar mais representativa da área, diante às demais.

Os levantamentos de campo realizados na área da Unidade Hidrográfica do Piraponema evidenciaram maior ocorrência de formas e processos erosivos produzidos pelo escoamento concentrado na área onde a cobertura pedológica é derivada da alteração dos arenitos (Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina). Sobre os solos de textura mais argilosa, derivados da alteração dos basaltos (Formação Serra Geral), tanto sobre os Latossolos quanto sobre os Nitossolos, a ocorrência desses processos é comparativamente bem menos evidente. Efeitos do escoamento concentrado foram, neste caso, observados em condições específicas – trilhas e sulcos em áreas de pastagem, ou produzidos pela concentração do escoamento ao longo de carregadores ou estradas. Essas observações de campo demonstraram, principalmente, que os Nitossolos Vermelhos se apresentam, na Unidade Hidrográfica estudada, mais estáveis e menos suscetíveis aos processos erosivos do que os Latossolos Vermelhos textura média.

Notou-se, também, que os solos com atributos mais vulneráveis (grau forte e muito forte) ocorrem em áreas de fragilidade potencial mais baixa

(moderada), situação que resulta das condições oferecidas pelo relevo (declividades mais fracas nas vertentes), considerando-se ainda a existência de uma cobertura florestal original. Situação oposta foi observada para os Latossolos, de textura argilosa, que se enquadram (como parâmetro) na categoria muito fraca, mas passam a integrar áreas com fragilidades potencialmente maiores, em decorrência, agora, do aumento das declividades. Isso demonstra que a metodologia está expressando, de fato, uma integração entre os elementos.

Ao comparar os resultados apresentados, com a aplicação da EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) e com o mapa de “limiar de erosão”, foi possível perceber que a determinação da fragilidade ambiental emergente é consistente, pois se mostrou capaz de delimitar as zonas onde os processos erosivos são potencialmente mais frequentes e com maiores perdas.

Já o monitoramento de alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água, permitiu a obtenção de dados para a verificação da qualidade da água na Unidade Hidrográfica do Piraponema.

A análise da qualidade da água, considerando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 357/2005 demonstrou que, nas bacias hidrográficas da Unidade do Piraponema, por muitas vezes, os parâmetros se apresentaram acima do permitido pela Resolução, e, conforme apresentado pelo Índice do Estado Trófico - (P), as bacias estão suscetíveis, em diferentes níveis, ao processo de eutrofização.

Além disso, percebe-se que às fontes de poluição hídrica, são principalmente por origem difusa. Decorrem de um lado, do gradiente textural dos solos (argilosos ou de textura arenosa/média) e, de outro, do manejo agrícola, alterando com maior intensidade a qualidade da água nos períodos de colheita/pousio entre os plantios, onde há exposição do solo e, nos períodos de precipitação, onde o escoamento superficial carrega os sedimentos até aos cursos d'água.

Dentre as bacias hidrográficas analisadas, a bacia do Pirapó apresentou qualidade da água inferior às demais, seguida pela Paranapanema III e Paranapanema IV, no período de monitoramento.

Foi possível observar também que a qualidade da água é resultante dos processos que ocorrem nas bacias, sendo influenciada pela fragilidade

ambiental emergente, uma vez que, conforme demonstrado anteriormente, altos graus de fragilidade influem sobre valores mais elevados, de alguns dos parâmetros de qualidade, no percurso dos cursos d'água, como no caso do rio Pirapó.

Em relação aos graus de Fragilidade Ambiental Emergente, determinados pelo mapeamento, conclui-se que:

- as porções definidas como fraca e muito fraca, estão associadas às áreas compostas principalmente pelos solos de textura argilosa, sobre o basalto, (Latosolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos), com declividades baixas (0 a 10%) e com uso de cultura temporária de grãos (soja/milho/trigo).

Na bacia do Paranapanema IV ocorrem em áreas descontínuas, vinculadas aos topos e à presença dos Latossolos (textura média), associadas às declividades muito fracas, com uso de pastagem.

- as áreas classificadas como de fragilidade emergente moderada, aparecem preferencialmente associadas às zonas de ocorrência de solos de textura média (zona de ocorrência dos arenitos), os Latossolos, ocupando de modo mais extensivo os topos e as vertentes, e aos Argissolos, quando situados em declividades mais baixas e ocupados com pastagem.

Na região constituída por rochas básicas, ocorrem onde aparecem preferencialmente os Nitossolos, na média vertente, chegando a posições mais altas e ao topo, somente quando o relevo se apresenta relativamente mais dissecado;

- as áreas de categorias de fragilidade emergente forte e muito forte ocorrem como faixas mais estreitas ou relativamente alargadas ao longo dos cursos d'água, e de modo mais frequente e contínuo na área de ocorrência dos arenitos e solos de textura média.

Na bacia hidrográfica do Pirapó, entretanto, sobre o basalto, na região da alta bacia, ocorrem devido às condições geomorfopedológica - vertentes dissecadas associadas aos solos rasos (Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos). Na bacia do Paranapanema III, em áreas às margens do rio Paranapanema, caracterizada por declividades muito fracas, é a cobertura pedológica a responsável por essa condição - presença extensiva de solos hidromórficos (Gleissolos).

Para ambas as bacias, essa condição de fragilidade emergente forte e muito forte já aparecia nessas categorias (forte e muito forte) na Fragilidade Ambiental Potencial.

Em relação aos levantamentos de campo, estes mostraram que na Unidade Hidrográfica do Piraponema, os solos e o relevo foram determinantes na ocorrência e distribuição dos fenômenos erosivos: as evidências de erosão laminar e linear são mais frequentes e os fenômenos aparentemente mais intensos na área de ocorrência dos arenitos, recobertos pelos solos de textura média (Argissolos, principalmente) do que na área do basalto, recoberto pelos solos de textura argilosa, apesar da pluviosidade relativamente maior sobre essa área.

Conclui-se, portanto, que a metodologia proposta:

- foi capaz de representar a condição do conjunto integrado dos parâmetros analisados;
- refletiu os aspectos naturais (características físicas) e antrópicas (uso da terra), como foi constatado pelos levantamentos em campo;
- demonstrou ser uma metodologia simples, tanto em termos de execução quanto de interpretação;
- mostrou, também, que o mapa de Fragilidade Ambiental é um instrumento capaz de auxiliar a gestão de bacias hidrográficas, quando realizados de forma integrada, pois contribuem para o diagnóstico e prognóstico ambiental, fornecendo subsídios para a tomada de decisão.

Conclui-se ainda a importância da continuidade de pesquisas nesta temática abordada, e, como sugestão para trabalhos futuros propõe-se:

- aplicação da metodologia proposta em outras áreas e bacias hidrográficas;
- comparação da metodologia proposta com outras de demais autores;
- inserção do clima, na proposta analisada, para áreas onde haja uma variação climática mais significativa (pluviosidade e temperatura), e de variação da vegetação, nos demais biomas do Brasil;
- continuidade do monitoramento da qualidade da água, nas bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema III e Paranapanema IV, de forma mensal, conforme desenvolvido por esta pesquisa, em associação com medidas de vazão das bacias hidrográficas analisadas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil, potencialidades paisagísticas**. 1º ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003,
- ALMEIDA FILHO, G. S. Prevenção de erosões em áreas urbanas. In: VI Simpósio Nacional de controle de erosão, **Anais...** Presidente Prudente, 1998.
- ALVES, E. C. **Monitoramento da Qualidade da Água da Bacia do Rio Pirapó**. 2006. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2006.
- ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu - DF, usando técnicas de geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2000. p.33 (Relatório Técnico).
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão**. Recife: Editora Universitária, 2003.
- ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, 2005.
- APHA. **Standard methods for examination of water and Wastewater**. 19º ed. Washington: EPS Group, 1995.
- BARBIERI, D. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. et al. Comportamento dos óxidos de ferro da fração argila e do fósforo adsorvido, em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1557-1568, 2013.
- BARCELLOS, M. C.; ROCHA, M.; RODRIGUES, L. S. et al; Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Caderno Saúde Pública**, v.22, n.9, p.1967-1978, 2006.
- BARCZYSCZYN, O. ; Nakashima, P. Os processos erosivos em cidade gaúcha - Paraná. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 25, p. 275-288, 1995.
- BARREIROS, A. M. **Estudo sobre a pedogênese na transição arenitos-basaltos na bacia do córrego Gurupá (Floraí/PR)**. 2013, 131f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, 2013.
- BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo. 1975.
- _____. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1990.
- _____. **Conservação do Solo**. 8ºed. São Paulo: Editora Ícone, 2012.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.25, p.987-995, 2001.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ªed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 1997.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; HERRMANN, M. L. P.; et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2ªed. Florianópolis: Editora da UFSC. 2006.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: Simpósio Nacional de controle da erosão, Maringá. **[Anais...]** ABGE-ADEA, 1985.

BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e a experimentação agrônômica. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, Campinas. **[Anais...]** Campinas: SBCS, p.431-446, 1987.

BOULET, R. et al. **Géochimie des paysages: Le rôle des couvertures pédologiques**. Sédimentologie et Géochimie de la Surface – à la mémoire de George Millot, 1993.

BONIFÁCIO, C. M. **Avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas do alto vale do rio Pirapó, Norte do Paraná: Proposta metodológica**. 2013. 110f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2013.

BONIFÁCIO, C. M.; SANTOS, R. M.; SILVEIRA, H.; NÓBREGA, M. T. Estudo de dois sistemas pedológicos no município de Tamboara – PR. In: XIX Encontro anual de iniciação científica, Guarapuava. **[Anais...]** XIX EAIC, 2010.

BONIFÁCIO, C. M.; NÓBREGA, M. T.; SILVEIRA, H. Análisis granulométrico de un sistema pedológico en el municipio de Tamboara – PR, Brasil: Comparación de dos técnicas para la determinación. **Revista Geográfica de América Central**, número especial, p.1-19, 2011.

BONIFÁCIO, C. M. UEMA, D. Y.; TAVARES, C. R. G. Monitoramento do aporte de sólidos suspensos nas águas da bacia hidrográfica do rio Pirapó – PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.11, n.3, p.258-269, 2015.

BONIFÁCIO, C. M.; SILVEIRA, H.; NÓBREGA, M. T. Espacialização e tolerância à perda de solo na Unidade Hidrográfica do Piraponema – PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.13, n.3, p.83-93, 2017.

BOUYOUCOS, G. W. The clay ratio as a criterion as susceptibility of soils to erosion. **Journal American Society of Agronomy**, v.27, p.738-741, 1935.

BRANCO, S. M. A água e o homem. In: Porto, R. L. L. (Org.). **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: USP/ABRH, 1991. p.349-373.

BRASIL, 2008. Agência Nacional de Águas. Plano nacional de recursos hídricos: Programas de desenvolvimento da gestão integrada de recursos hídricos no Brasil. v.1/MMA, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2008.

BRASIL, 2005: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre uma nova classificação para águas doces, bem como para águas salobras e salinas do território nacional. Brasília: CONAMA.

BRITO, J. L. S.; LIMA, S. do C.; SHIKI, S.; MOREIRA, M. R. Uso do geoprocessamento na estimativa da perda de solos por erosão laminar em Iraí de Minas, MG. Santos. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. [Anais...] INPE, 1998.

CALEGARI, M. R. **Distribuição da cobertura pedológica e o relevo no alto vale do ribeirão Água do São Francisco, Nova Esperança – PR**. 2000, 111f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CÂMARA, G.; DAVIS. C.; **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M.J. **Hillslope Form and Process**, Cambridge: Cambridge University, 1972.

CASSETI, V. Elementos de Geomorfologia. Editora UFG, 1991.
_____. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 10/03/2018.

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

CAVALIERI, A. **Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas**. 1994, 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1994.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v.23, n.5, p.618-622, 2000.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesq. agropec. bras. [online]**, v.38, p.117-124, 2003.

CEREDA JÚNIOR, A. **Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do ribeirão do Monjolinho – São Carlos – SP – Utilizando ferramentas de geoprocessamento.** 2006, 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980.

CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E. **Geomorphology.** London: Methuen, 1984.

CLEMENTE, E. P.; OLIVEIRA, A. P.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; SCHULER, A. E., FIDALGO, E. C. C.; MONTEIRO, J. M. G. **Erodibilidade dos solos da região serrana do Rio de Janeiro obtida por diferentes equações de predição indireta.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017

COIMBRA, R. M. Monitoramento da qualidade da Água. In: BRANCO, S. M., PORTO, R. L. L (Org.). **Hidrologia Ambiental.** São Paulo: USP/ABRH, 1991. p. 392-411.

COLLISCHONN W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: ABRH, 2013.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Gênese de ferri-argilãs em horizontes B texturais de uma sequência de solos sobre diabásio em Piracicaba (SP). **Scientia Agrícola**, v.57, n.4, p.745-750, 2000.

COUTO, E.V. **Evolução denudacional de longo prazo e a relação solo – relevo no Noroeste do Paraná.** 2015, 112f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, 2015.

CONCIANI, W. **Processos erosivos: conceitos e ações de controle.** Cuiabá: CFETMG, 2008.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. 1996. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** INPE, São José dos Campos, 1996.

CUNHA, J. E. **Caracterização morfológica (macro e micro) e comportamento físico-hídrico de duas toposseqüências em Umuarama (PR): subsídios para avaliação dos processos erosivos.**1996, 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia), USP, 1996.

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

CUNHA, D. G. F.; BORTOLETTO, P. F.; CALIJURI, M. Densidade fitoplanctônica e estado trófico dos rios Cunha e Pariquera-Açu, bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 3, n. 2, p.90-105, 2008.

CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, Noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.23, p.943-951, 1999.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990, 114f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. USP, 1990.

DERPSCH, R.; ROTH, C. N.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U.; KRAUSE, R.; BLANKEN, J. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e prepare conservacionista do solo**. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná: IAPAR, 1991.

DICK, D.P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. p.141-179.

ELIAS, M. J. **Avaliação das alterações físico-hídricas decorrentes do manejo agrícola da cana-de-açúcar na cobertura pedológica no município de São Carlos do Ivaí – PR**. 2015, 126f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2015.

EL-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W.; ARMSTRONG, C. L. **Soil erosion by water in the tropics**. Hitahr: College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1982.

EMPRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2^oed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

EMBRAPA/IAPAR. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR; Curitiba: EMBRAPA-SNLCS, 1984.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2^oed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAO – FOOD ANT AGRICULTURE ORGANIZATION. Watershed management field manual. **Manual gully control**. Rome, 1986.

_____. **Land and Water Digital Media Series**. 1990. Disponível em: <<http://www.fao.org/landandwater/agll/key2soil.stm>>. Acesso em 10/03/2014.

_____. **Guidelines for soil description**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Romes, 2006.

FARIAS, M. S. S.; **Monitoramento da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Cabelo**. 2006. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

FARIAS, M. S. S.; NETO, J. D.; LIMA, V. L. A.; LIRA, V. M., FRANCO, E. S. Riscos ambientais devido a presença de metais pesados nas águas superficiais no distrito industrial de Mangabeira. **QUALIT@S Revista Eletrônica**. v.6, n.2, p.1-10, 2007.

FASOLO, P. J., CARDOSO, A. P., HOCHMÜLLER, D. P., RAUEN, M. J.; PÖTTER, R. O. **Erosão: Inventário de áreas críticas no Noroeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1988.

FELIX, J. C.; VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L. et al. Predição de fósforo, carbono e nitrogênio em solos de basalto, por meio de espectroscopia NIR. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n.9, p.1405-1416, 2016.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 3ªed. São Paulo: IBRASA, Curitiba: CHAMPAGNAT, 1991.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M de F. et al. Monitoramento comunitário da qualidade da água: uma ferramenta para a gestão participativa dos recursos hídricos. **Revista da Gestão da Água - REGA/ABRH**, v.5, n.1, p.51-65, 2008.

FISCHER, G.; VELTHUIZEN, H.; NACHTERGAELE, F. **Agro-Ecological zones assessments**. EOLSS, 2000.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FREIRE, R. **Monitoramento da Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Maringá**. 2010. 199f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2010.

_____. 2013. **Estudo do comportamento hidrológico superficial, erosão do solo e análise do potencial de poluição difusa da bacia hidrográfica do ribeirão Maringá-PR**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2013.

FREIRE, R.; BONIFÁCIO, C. M.; SCHNEIDER, R. M.; TAVARES, C. R. G. Monitoramento das variáveis de qualidade das águas: um subsídio ao gerenciamento de recursos hídricos no Estado do Paraná. In: DIAS, L. S.; BENINI, S. M. **Estudos ambientais aplicados em bacias hidrográficas**. Tupã: ANAP, 2016. p.108-123.

FUMIYA, M. H. **Gênese dos ferricretes e sua relação com transformação da paisagem no Noroeste do Paraná.** 2017. 164f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPR, 2017.

GAMERO, A. C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho.** 2008, 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia. UNESP, 2008.

GARCIA, A. P. **Máquina conceito de preparo do solo em faixas.** 2016, 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. UNICAMP, 2008.

GASPARETTO, N. V. L.; et al. **Caracterização do meio físico: subsídios para o planejamento urbano e periurbano - Cartas de zonas de riscos Cidade Gaúcha - PR.** Maringá: DGE/UEM-SUCEAM/FAMEPAR, 1994.

GASPARETTO, N. V. L. **As formações superficiais do Noroeste do Paraná e sua relação com o arenito Caiuá.** 1999, 181f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, 1999.

GIROLDO, L. **Terracetes de pisoteio de gado e mudanças morfo-pedológicas em vertente amostral na bacia hidrográfica do rio Jacaré, Serra da Mantiqueira-SP.** 2013, 124f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, 2013.

GODOY, A. M. G.; SOUSA, M. L. L. Avaliação do uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema III e IV. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.8, n.2, p.160-180, 2012.

GODOY, A. M.G.; SOUSA, M. L. L. As bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema 3 e 4: aspectos socioeconômicos e ambientais. **Braz. J. Biol. (online)**, v.75, n.4, p.77-95, 2015.

GORJON NETO, A. **Monitoramento da qualidade da água na bacia do rio Pirapó.** 2014. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, 2014.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology.** London: International Association of Geomorphologists, 2004.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Orgs.). Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1999, p. 17-55.

GUERRA, A. J. T.; COELHO, M. C. N.; MARÇAL, M. S. Açailândia: cidade ameaçada pela erosão. **Ciência Hoje**, v.23, n.138, p.36-43, 1998.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia, USP**, n.16, p.32-37, 2005.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. A. C. VITTE; A. J. T. GUERRA (Orgs.). Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2004, p. 225-280.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soe. Am. Bull.** v.56, n.3, p.275-370, 1945.

HUMBOLDT, A. **Cosmos: ensayo de una descripción física del mundo**. Madrid: Gaspar e Roig Editores, 1874.

IOST, C. **Produção de sedimentos e qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade do Oeste do Paraná, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia do Brasil**, fotos e comentários, 1973.

_____. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ªed. Rio de Janeiro. 2009.

_____. **Cidades**. (2013). Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 10/03/2018.

_____. **Censo** (2010). Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 10/03/2018.

ITCG, 2013. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Disponível em: <www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=130>. Acesso em: 10/03/2017.

JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. **International Yearbook of Cartography**, v.7, p.186-190, 1967.

KARLING, G. **Estudo da morfologia e estrutura da cobertura pedológica em cabeceira de drenagem na área rural de Cidade Gaúcha-PR**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, 2000.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

LACERDA, C. S.; CÂNDIDO, G. A.; Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A (Org). **Gestão, sustentável dos recursos naturais, uma abordagem participativa**. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p.13-30.

LAURENTI, A. A distribuição de poluentes persistentes em ambientes aquáticos urbanos. In: POLETO, C. (Org.) **Ambiente e Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2008, p.150-191.

LEANDRO, D. **Modelagem de fragilidade ambiental usando índices baseados em dados espaciais e com suporte de sistema especialista**. 2013. 134f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2013.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa: SBCS, 2015.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas. Instituto Agrônomo (Boletim Técnico, 27), 12p. 1975.

KRONEN, M. **A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1990.

MAACK, R. **Mapa geológico do Estado do Paraná**. Escala 1.750.000. [S.l.]: Serviço de Geologia do Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas, 1953.

_____. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Badep: UFPR, 1961.

_____. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2^oed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.

_____. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4^oed. Ponta Grossa: UEPG, 2012.

MACHADO, M. L.; ALVES, J. S.; GOMES, I.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R.; NAIME, U. J. Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais). In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais [...]** p.7733-7739. 2009.

MANGUEIRA, C. G.; COUTO, E. V.; SANTOS, L. J.C. Relação dolo e relevo na distribuição de feições erosivas no Noroeste do Paraná. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, Rio de Janeiro. **[Anais...]** UFRJ, 2012.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p. 1335-1340, 2002.

MANOSSO, F. C. **O estudo da paisagem no município de Apucarana-PR: as relações entre a estrutura geoecológica e a organização do espaço**. 2005, 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2005.

MANOSSO, F. C.; NÓBREGA, M. T. Principais impactos e a vulnerabilidade ambiental no município de Apucarana, PR. In: IV Seminário Latinoamericano de Geografia Física, Maringá. **[Anais...]**, p.1-10, 2006.

MARCATTO, F. S. **O efeito do uso e manejo nas propriedades físicas e hídricas dos solos da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR**. 2016, 104f.

Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, 2016.

MARÓSTICA, L. M. F.; MERENDA, E. A.; MARÓSTICA, F. B.; et al. Estudo do manejo das erosões em uma unidade de conservação urbana: Parque do Ingá, Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v.25, n.1, p.97-102, 2003.

MARTINS, V. M. **Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR**. 2000,135f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP. 2000.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantoneira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v.24, p.59-79, 2012.

MELLO, N. A. Relação entre a fração mineral do solo e qualidade de sedimentos – o solo como fonte de sedimentos. In: MERTEN, G. H.; POLETO, C. (Orgs.) **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006, p.39-92.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de médio e pequeno porte. Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. 1994, 300f. Tese (Doutorado de Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. USP, 1994.

MERTEN, G. H.; POLETO, C. Rede de monitoramento e coleta de amostras. In: MERTEN, G. H.; POLETO, C. (Orgs.) **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006, p.1-38.

MERTEN, G. H. E; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.3, n.4, p.33-38, 2002.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. Mapa **Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, escala 1:650.000. 2006.

MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; LUCHIARI, A. O geoprocessamento como subsídio ao estudo da fragilidade ambiental. In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2003, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: UERJ, 2003.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion e conservation**. Longman Scientific & Technical, 1986.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**. A estória de uma procura. Florianópolis, 2001.

MOTTER, A. F. C.; FOLETO, E. M. Um olhar sobre a gestão dos recursos hídricos: o caso do comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica dos rios

santa rosa, santo Cristo e Turvo - Noroeste do Rio Grande do Sul. **Perspectiva, Erechim**, v. 34, n.126, p.143-155, 2010.

NAKASHIMA, M. R. **Análise dos processos erosivos e da fragilidade ambiental na bacia do Keller – PR**. 1999. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, 1999.

NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**, v.23, n.6, p.1547-1560, 2001.

NAKASHIMA, M. R. **Gênese dos Nitossolos Vermelhos férricos na Bacia do Córrego Minguava, em Maringá – PR**. 2013, 129f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, 2013.

NEBOIT, R. **L’homme et l’erosion**. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Clermont-Ferrand, 1983.

NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. A paisagem, os solos e a suscetibilidade à erosão. **Espaço Plural**, n.25, p.63-72, 2011.

NÓBREGA, M. T.; SERRA, E. ; SILVEIRA, H.; TERASSI, P. M. B.; BONIFÁCIO, C. M. Landscape structure in the Pirapó, Paranapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná, Brazil. **Brazilian Journal of Biology (Online)**, v.27, n.4, p.1-13, 2015.

NÓBREGA, M. T.; NUNES, I. H. S.; SECO, M. P. D. Correlação entre propriedades pedológicas e geotécnicas de solos tropicais no noroeste paranaense. In: I Encontro tecnológico da engenharia civil e arquitetura de Maringá, Maringá. **[Anais...]** UEM, p. 225-231, 2000.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 2ªed. Piracicaba: FEALQ, 2005.

OLIVEIRA, J. G.; NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C. Aplicação de atributos topográficos no mapeamento digital de solos – estudo de caso da bacia do córrego Jurema. In: XII Sinageo. Crato. **[Anais...]** XII Sinageo, p.1-5, 2018.

OLIVEIRA, T. M. B. F.; SOUZA, L. S.; CASTRO, S. S. L.; Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. **Revista Eclética Química**. v.34, n.3, p.17-26, 2009.

OYAMA, T. K. **Os comportamentos de paisagem na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR e as relações entre a estrutura geoecológica e o uso e manejo do solo**. 2017, 177f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2017.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PARANÁ. Secretaria de Recursos Hídricos - SEMA. **Folder Bacia Hidrográfica dos Rios Pirapó, Paranapanema III e IV**. 2007 e 2010.

Disponível em:
<http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/PUBLICACOES/Pirapo_paranapanema_3_e_4.pdf> Acesso em: 10/03/2017.

PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. In: GREGORY, K. J. **River channel changes**. Chichester: Wiley, 1977.

PELCZAR, M. J. **Microbiologia: conceitos e aplicações**, 2.ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

PETIT, M. **Géographie physique tropicale**. Ed: Karthala et acct, 1990.

PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v.20, n.2, p.157-175, 2008.

POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. 2007, 159f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Sci. Technol.**, v.27, n.1, p.33-42, 2005.

RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3ªed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Goytacazes/RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais [...]** p.3039-3046. 2007.

RICHARD, J. F. **Le paysage un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux**. Paris: ORSTOM, 1989.

ROCHA, A. S.; NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E. As unidades de paisagem, as vertentes características e os sistemas pedológicos na bacia hidrográfica do Paraná 3. **Ateliê Geográfico**, v.12, n.1, p.51-70, 2018.

ROCHA, A. S. **As vertentes características e os sistemas pedológicos como instrumento de análise para a identificação das fragilidades e potencialidades ambientais na bacia hidrográfica do Paraná 3**. 165f. 2016. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2016.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; et al. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.953-964, 2004.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

_____.Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia FFLCH-USP**, n. 8. São Paulo, 1994. p. 63-74.

_____.Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAS. In: Guerra, A. J. T., CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 1996. p. 291-336.

_____.**Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 5ªed. São Paulo: Contexto. São Paulo. 2000.

_____.**Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: Terceira aproximação. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.439-444, 1993.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B. et al., 2001, **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de tecnologia para o desenvolvimento, 2001.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas - MG. **Revista Escola de Minas**, v.61, p.77-85, 2008.

SANTOS, R.; NÓBREGA, M. T.; PAIVA, R. G.; SILVEIRA, H. Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara – PR: Aplicação e estudo comparativo de duas metodologias. **Geoambiente on-line**, n. 14, p.1-18, 2010.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e Amostragem, In: **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**. Série relatórios, Apêndice A, 2008.

SERRA, E. Conflitos rurais no Paraná: como foi que tudo começou. **Boletim de Geografia, Maringá**, v.28, n.1, p.75-89, 2010.

SCHNEIDER, R. M. **Qualidade da água e deposição de sedimentos em trechos da bacia hidrográfica do rio Pirapó representados pelo ribeirão Maringá**. 2009. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2009.

SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S. et al. Estudo da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de dois córregos na bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, n.3, p.295-303, 2011.

SGORLON, J. G. **Monitoramento da qualidade da água da bacia do médio rio Pirapó**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2011.

SILVA, D. F.; ANDRADE, C. L. T.; SIMEONE, M. L. F.; AMARAL, T. A. et al. **Análise de nitrato e amônio em solo e água**, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

SILVA, L. F. **A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA): uma proposta metodológica**. 2007. 232f. Tese (Doutorado em Economia). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. B. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n.1, p.108-114, 2007.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociências**, v.24, n.1, p.33-41, 2005.

SILVEIRA, A. C. T; OKA-FIORI, C. Análise empírica da fragilidade potencial e emergente na Bacia do Rio Cubatãozinho, Estado do Paraná. **Caminhos da Geografia**, n.8, p.1-17, 2007.

SILVEIRA, H. **Modificações na estrutura e no comportamento hidrofísico de Latossolos provocados pelo uso e manejo no município de Cidade Gaúcha-Paraná**. 2000, 97f. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNESP, 2000.

SILVEIRA, H.; PAIVA, R. G.; SANTOS, R. M.; GONÇALVES JÚNIOR, F.; NÓBREGA, M. T. A morfopedologia e as unidades de paisagem no município de Francisco Alves – PR: Potencialidades e vulnerabilidades. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. **[Anais...]** p.1-15, 2009.

SILVEIRA, H; NÓBREGA, M. T; BALDO, M. C. A estabilidade de agregados em Latossolos e Argissolos derivados do arenito Caiuá na região noroeste do estado do Paraná-Brasil. In: **Synergismus scyentifica UTFPR**. Pato Branco, 2009.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS)**. 2007, 187f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia. UNESP, 2007.

SINCERO, A. P.; SINCERO, G. A. **Psychal Chemical Treatment of Water and Wastewater**. London: IWA Publishing, 2003.

SOUSA, P. R.; HAYASHI, C. Parques e reservas florestais do município de Maringá/PR. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.9, n.3, 2013.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. Aplicação da equação universal de perdas de solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 267-278, 2012.

SPÖRL, 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**. 2001, 165f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia, USP, 2001.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007, 72f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia, USP, 2007.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n.15, p.39-49, 2004.

STRAHLER, A. N. Quantitative-dynamic geomorphology analysis at Columbia 1945-1960: a restropective. **Progress in Physical Geology**, v.16, p.65-84, 1992.

_____. **Physical Geography: Science and systems of the Human Environment**. New York: Wiley, 2005.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe-Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 1987, Marília. **Anais [...]** p.105-135. 1987.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**. v. 1, n.93,p. 79-104, 2001.

TARELHO JÚNIOR, O. **Monitoramento da qualidade da água das bacias hidrográficas do Paranapanema**. 2014. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2014.

TAVARES, A. R. **Monitoramento da Qualidade e Diagnóstico de Conservação das Águas do Rio Paraíba do Sul**. 2005. 202f. Dissertação. Departamento de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.

TEIXEIRA, D. **Avaliação da qualidade da água e levantamento de custo de tratamento de efluentes visando à recuperação de um sistema eutrofizado (Represa de Salto Grande – Americana/SP)**. 2000. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, 2000.

TERASSI, P. M. B. **Variabilidade Pluviométrica e a erosividade na Unidade Hidrográfica do Pirapó, Paranapanema III e IV, Paraná**. 2015. 186f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá. 2015.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C. M. Variação da estabilidade de agregados e suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região Noroeste do Paraná. **Boletim de Geografia**, v.32, n.1, p.166-174, 2014.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Formação**, v.1, n.20, p.111-128, 2013.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Variabilidade pluviométrica e a erosividade das chuvas na Unidade Hidrográfica Pirapó, Parapanema III e IV – Paraná. **Revista Ra'eGa**, v.39, p.79-91, 2017.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**. British Library, 1994.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control**. John Wiley & Sons, 2002.

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

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ªed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p.135-152, 1997.

UEMA, D. Y. **Quantificação de perda de solos em bacia hidrográfica de primeira ordem: córrego Zauna, Maringá – PR**. 2018, 101f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, 2018.

VARELLA, C. A. A. **Efeito dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo**. 199. 47f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999.

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.

VELOSO, A. J. G. Importância do estudo das vertentes. **Revista Geographia UFF**, n°8, p.79-83. 2002.

VIEIRA, M. J. **Cultivo mínimo comparado a outros sistemas: efeitos no solo e na planta**. Londrina: IAPAR, 1984.

VITTE, A. C.; SANTOS, I. Proposta metodológica para determinação de unidades de conservação a partir do conceito de Fragilidade Ambiental. **Revista Paranaense de Geografia**, n°4, p.60-68, 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rio**. 1ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2007.

WANG, G. X.; GERTNER, G.; FANG, S. F.; ANDERSON, A. B. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**., n.69, p.889-898, 2003.

WEF, 2006. **Water Environment Federation**. Standard methods for the examination of water and wastewater: online. Washington, DC, c2006. Disponível em: <<http://www.standardmethods.org/store>>. Acesso em: 10/03/2014.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil Water Cons.**, v. 26, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality recommendation**. 3ªed. Geneva, 2004.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de Administração Pública**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.

YOUNG. A. **Slopes**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1972.

ZAGO, A. **Sistema pedológico Latossolo-Argissolo e seu comportamento físico-hídrico em Mamborê, PR**. 2000, 161f. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP, 2000.

ZAPAROLLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do córrego Aratu, Floraí – PR**. 2009, 155f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2009.

ZAPAROLLI, F. C. M.; GASPARETTO, N. V. L. Distribuição de solos e sua relação com o relevo em uma vertente no município de Floraí-PR. **Boletim de Geografia, Maringá**, v.28, n.2, p.49-63, 2010.

ANEXOS

Anexo I - Tabela de determinação das classes de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.

FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL				FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE						
Graus de Fragilidade		Cálculo		Categoria Fragilidade	Pastagem (+0,25)	Categoria de Fragilidade	Culturas (+0,75)	Categoria de Fragilidade	Solo exposto (+1,0)	Categoria de Fragilidade
Solo	Declividade	Soma	Média							
1	1	2	1,0	Muito fraca	1,25	Muito fraca	1,75	Fraca	2,00	Fraca
	2	3	1,5	Fraca	1,75	Fraca	2,25	Fraca	2,50	Moderada
	3	4	2,0		2,25		2,75		Moderada	
	4	5	2,5	Moderada	2,75	Moderada	3,25	Forte	3,50	Forte
	5	6	3,0		3,25		3,75		4,00	
2	1	3	1,5	Fraca	1,75	Fraca	2,25	Fraca	2,50	Moderada
	2	4	2,0		2,25		2,75		Moderada	
	3	5	2,5	Moderada	2,75	Moderada	3,25	Forte	3,50	Forte
	4	6	3,0		3,25		3,75		4,00	
	5	7	3,5	Forte	3,75	Forte	4,25	Forte	4,50	Muito forte
3	1	4	2,0	Fraca	2,25	Fraca	2,75	Moderada	3,00	Moderada
	2	5	2,5	Moderada	2,75	Moderada	3,25		3,50	
	3	6	3,0		Forte		3,25	Forte	3,75	4,00
	4	7	3,5	3,75		4,25	4,50			
	5	8	4,0	4,25	4,75	Muito forte	5,00	Muito forte		
4	1	5	2,5	Moderada	2,75	Moderada	3,25	Moderada	3,50	Forte
	2	6	3,0		3,25		3,75		Forte	
	3	7	3,5	Forte	3,75	Forte	4,25	Forte	4,50	Muito forte
	4	8	4,0		4,25		4,75		Muito forte	
	5	9	4,5	Muito forte	4,75	Muito forte	5,25	Muito forte	5,50	
5	1	6	3,0	Moderada	3,25	Moderada	3,75	Forte	4,00	Forte
	2	7	3,5	Forte	3,75	Forte	4,25		4,50	
	3	8	4,0		Muito forte		4,25	Muito forte	4,75	5,00
	4	9	4,5	4,75		5,25	Muito forte		5,50	
	5	10	5,0	5,25	5,75	Muito forte	6,00			

Anexo II - Tabela de limite das categorias de Fragilidade Ambiental.

Limites	Categorias
$\geq 1 < 1,5$	Muito fraca
$\geq 1,5 < 2,5$	Fraca
$\geq 2,5 < 3,5$	Moderada
$\geq 3,5 < 4,5$	Forte
$\geq 4,5$	Muito forte