

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

JAQUELINE GORISCH WILKOMM FRUET

**FRAGILIDADE AMBIENTAL: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DE USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
PERIURBANAS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR**

Marechal Cândido Rondon

2016

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

JAQUELINE GORISCH WILKOMM FRUET

**FRAGILIDADE AMBIENTAL: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DE USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
PERIURBANAS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR**

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

Orientadora: Professora Dr^a. Vanda Moreira Martins.

Coorientador: Professor Dr. José Edézio da Cunha.

Marechal Cândido Rondon

2016

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

F944f Fruet, Jaqueline Gorisch Wilkomm
Fragilidade ambiental: subsídios para a gestão de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon-PR / Jaqueline Gorisch Wilkomm Fruet. – Marechal Cândido Rondon, 2016.
126 f.

Orientadora: Dr^a. Vanda Moreira Martins
Coorientador: Dr. José Edézio da Cunha

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2016.

1. Bacias hidrográficas urbanas. 2. Análise ambiental - Avaliação. I. Martins, Vanda Moreira. II. Cunha, José Edézio da. III. Título.

CDD 22.ed. 304.2
CIP-NBR 12899

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



Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon

Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras

Programa de Pós-Graduação em Geografia - Mestrado

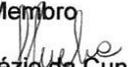
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA

Aos dezoito dias do mês de maio de 2016, às 10h00min, na Sala 40 (4º Piso) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon, reuniu-se, em sessão pública, a Banca Examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado em Geografia constituída pelos professores Dr^a Vanda Moreira Martins (Orientadora) (UNIOESTE), Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez (UNIOESTE), Dr. José Edézio da Cunha (UNIOESTE) (Coorientador) e Dr^a Sílvia Méri Carvalho (UEPG), para avaliarem o trabalho "*Fragilidade Ambiental: Subsídios para a Gestão de Uso e Ocupação do Solo nas Bacias Hidrográficas Periurbanas de Marechal Cândido Rondon - PR*", apresentado pela pós-graduanda **Jaqueline Gorisch Wilkomm Fruet** para a obtenção do título de "Mestra em Geografia" do Programa de Pós-Graduação em Geografia - Mestrado da UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon. Após arguição a banca examinadora considerou o trabalho aprovado. Nada mais havendo a constar, eu Vanda Moreira Martins, orientadora do trabalho, lavrei a presente ata que vai assinada por mim, pelos demais membros da banca examinadora e pela pós-graduanda avaliada.

Marechal Cândido Rondon, 18 de maio de 2016.


Vanda Moreira Martins
Orientadora


Oscar Vicente Quinonez Fernandez
Membro


José Edézio da Cunha
Coorientador


Sílvia Méri Carvalho
Membro


Jaqueline Gorisch Wilkomm Fruet
Pós-Graduanda

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus onde busquei perseverança pois foram muitos os momentos de dificuldade.

Aos meus pais por sempre incentivarem a continuação aos estudos

Ao meu marido pelo auxílio e companheirismo

Destaco minha gratidão aos meus orientadores ao longo deste percurso, professora Dra. Vanda Moreira Martins e professor Dr. José Edézio da Cunha, por toda ajuda em termos de crescimento profissional e pessoal.

Agradeço também aos professores presentes em minha banca de qualificação e defesa, pelas sugestões e alterações propostas para o desenvolvimento e execução deste trabalho.

Um agradecimento especial á minha colega e amiga Danieli Cassuli pela compreensão, amizade, confiança e paciência ao longo destes dois anos e por compartilhar os momentos bons a as aflições.

Registro meus agradecimentos ao colega Maicol Bade pelo auxílio prestado.

E por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a elaboração deste trabalho.

Aquilo que escuto eu esqueço.

Aquilo que vejo eu lembro.

Aquilo que faço eu aprendo.

(Confúcio)

RESUMO

As bacias hidrográficas são utilizadas como unidades de estudos geográficos que têm por finalidade o monitoramento, a análise e a contenção dos problemas socioambientais. Pautado no “modelo de fragilidade natural potencial” apresentado por Ross (1994; 1996), foi realizado o diagnóstico da fragilidade ambiental em sete (07) bacias hidrográficas periurbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon, as quais integram a Bacia do Paraná III, pertencente à região Oeste do Estado do Paraná. A elaboração das cartas de fragilidade potencial e emergente, geradas a partir da interpolação dos mapas de uso e ocupação dos solos, de declividade e tipo de solos, permitiu diagnosticar os diferentes graus de fragilidade ambiental potencial e emergente nas bacias. O objetivo foi contribuir com o conhecimento da organização e distribuição dos solos na paisagem, de acordo com suas fragilidades, a fim de auxiliar no processo de uso e ocupação. A análise dos fatores socioambientais que se inter-relacionam nestas unidades de paisagem demonstraram que os setores com menor fragilidade ambiental potencial (muito fraca/fraca) são os de média a alta vertente, convexas e divergentes, com classes de declividade entre 0 e 6%, sob o domínio dos Latossolos Vermelhos. As áreas com fragilidade ambiental potencial média ocupam os setores com classes de declividade entre 6 e 12%, com presença do Nitossolo Vermelho, e vertentes de formas convergente-côncavas, sobretudo nas bacias dos córregos Borboleta e Apepú. Em menor proporção, as classes de fragilidade ambiental potencial forte e muito forte denotam o comprometimento do equilíbrio ambiental das bacias nos setores de vertente com formas convergente-côncavas e divergente-côncavas, associados às declividades acima de 20 % e aos solos rasos. Quanto à fragilidade ambiental emergente, todas as bacias foram classificadas como média-forte, respeitando-se a interação entre os atributos analisados (declividade, formas das vertentes, declividade e uso do solo). Cabe ressaltar que os resultados obtidos podem subsidiar futuras pesquisas nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon, como, por exemplo, a perda de solos, integrando os resultados das pesquisas com vistas ao planejamento e gestão do uso do solo.

Palavras chave: Análise ambiental; Fragilidade Potencial e Fragilidade Emergente; Geotecnologias.

ABSTRACT

The Watersheds are used as geographical studies units that are intended monitoring, analysis and containment of environmental problems. Guided by the "natural potential frailty model" presented by Ross (1994, 1996), it was made the diagnosis of environmental fragility in seven (07) periurban watersheds of the city of Marechal Cândido Rondon, which are part of the Paraná Basin III, belonging the State of Paraná Western region. The preparation of letters of potential and emerging fragility, generated from the interpolation of the use of maps and land use, slope and soil type, allowed diagnose different degrees of environmental fragility potential and emerging basins. The objective was to contribute to the knowledge of the organization and distribution of soils in the landscape, according to their weaknesses in order to assist in the use and occupation process. The analysis of social and environmental factors that interrelate these landscape units showed that sectors with lower potential environmental fragility (very weak / weak) are the medium to high side, convex and divergent, with slope classes between 0 and 6% under the rule of Red Latosol. Areas with environmental average potential fragility occupy sectors with slope classes between 6 and 12%, with the presence of Red Nitosol, and strands of convergent-concave shapes, especially in the basins of streams and Butterfly Apepú. To a lesser extent, potential fragility classes of strong and very strong commitment denote the environmental balance of the basins in the aspect of sectors with convergent-divergent-concave and convex forms, associated with slopes above 20% and shallow soils. As for the emerging environmental fragility, all the basins were classified as medium-strong, respecting the interaction between the analyzed attributes (slope, forms the slopes, slope and land use). It notes that the results can inform future research in periurban catchments Rondon, for example, the loss of soil, integrating research results with a view to planning and management of land use.

Key words: Environmental Analysis; Potential Fragility and Emerging Fragility; Geotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	42
Figura 2 - Localização da Bacia do Paraná III.	43
Figura 3 - Rede hidrográfica do Município de Marechal Cândido Rondon.	45
Figura 4 - Identificação dos compartimentos geomorfológicos de Marechal Cândido Rondon.	46
Figura 5 - Evolução do parcelamento urbano de Marechal Cândido Rondon-PR.	48
Figura 6 - Mapa de hipsometria da área de estudo.	59
Figura 7 - Mapa de declividade da área de estudo.	60
Figura 8 - Mapa da curvatura vertical da área de estudo.	63
Figura 9 - Mapa da curvatura horizontal da área de estudo.	65
Figura 10 - Mapa das formas do terreno da área de estudo.	68
Figura 11 - Mapa da orientação das vertentes da área de estudo.	69
Figura 12 - Mapa da rede de drenagem da área de estudo.	72
Figura 13 - Mapa das classes de solos da área de estudo.	77
Figura 14 - Latossolo Vermelho na bacia do Córrego Borboleta.	79
Figura 15 - Nitossolo Vermelho Eutroférico típico na bacia do Córrego Guavirá.	79
Figura 16 - Nitossolo Vermelho Eutroférico típico na bacia do Córrego Guavirá.	79
Figura 17- Neossolo Litólico na bacia do Córrego Guavirá.	80
Figura 18 - Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico na bacia do Córrego Guavirá	80
Figura 19 - Cambissolo Háplico perférico na bacia do Córrego Guavirá.	80
Figura 20 - Imagem de satélite da área de estudo.	82
Figura 21 - Mapa de uso e ocupação da área de estudo.	83
Figura 22 - Mapa da fragilidade potencial da área de estudo.	86
Figura 23 - Mapa da fragilidade emergente da área de estudo.	89
Figura 24 - Mapa dos principais pontos de fragilidade potencial forte e muito forte da área de estudo.	95
Figura 25 - Solos rasos e declividade forte na bacia do Córrego Apepú.	97
Figura 26 - Solos rasos e declividade forte no Córrego Borboleta.	97
Figura 27 - Solos rasos no Córrego Apepú.	97
Figura 28 - Início de processos erosivos na bacia do Córrego Matilde Cuê.	98
Figura 29 - Mapa de comparação da fragilidade potencial da área de estudo.	100

Figura 30 - Áreas de vegetação permanente e cultura temporária no Córrego Borboleta.....	103
Figura 31 - Áreas com cobertura de pastagem na bacia do Córrego Peroba.	103
Figura 32 - Mapa dos principais pontos de fragilidade emergente muito forte da área de estudo.	105
Figura 33 - Solo exposto na bacia do Córrego Guavirá.	109
Figura 34 - Solo exposto na bacia do Córrego Apepú.....	109
Figura 35 - Acúmulo dos sedimentos na bacia do Córrego Peroba.	109
Figura 36 - Escoamento na bacia do Córrego Peroba.....	109
Figura 37 - Áreas de pastagem com pecuária do Córrego Borboleta.	109
Figura 38 - Processos erosivos no Córrego Peroba.....	109
Figura 39 - Nascente em meio a área agrícola (cultivo de soja) na bacia do Córrego Peroba.	111
Figura 40 - Mapeamento da tendência de crescimento de Marechal Cândido Rondon	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo.	23
Tabela 2 - Porcentagens de declividade para uso e aptidão agrícola.	23
Tabela 3 - Classes de fragilidade de acordo com a declividade.	23
Tabela 4 - Graus de fragilidade de acordo com o tipo de solo.	25
Tabela 5 - Graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais.	25
Tabela 6 - Níveis de fragilidade de acordo com variações pluviométricas.	26
Tabela 7 - Avaliação da vulnerabilidade das unidades da paisagem natural.	27
Tabela 8 - Escala de vulnerabilidade das rochas.	28
Tabela 9 - Valores de vulnerabilidade/estabilidade dos solos.	28
Tabela 10 - Classes de índices morfométricos.	29
Tabela 11 - Graus de proteção do solo segundo a cobertura vegetal.	30
Tabela 12 - Escala de erosividade de chuva.	30
Tabela 13 - Graus de vulnerabilidade.	31
Tabela 14 - Características analisadas na avaliação da estabilidade/vulnerabilidade.	31
Tabela 15 - Graus de fragilidade em decorrência da declividade da área de estudo.	53
Tabela 16 - Graus de fragilidade com apoio as classes de solos (ROSS, 1994) da área de estudo.	53
Tabela 17 - Classes de fragilidade potencial da área de estudo.	54
Tabela 18 - Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo.	55
Tabela 19 - Classes de fragilidade emergente da área de estudo.	55
Tabela 20 - Classes de declividade das bacias hidrográficas periurbanas.	61
Tabela 21 - Curvatura vertical das bacias hidrográficas periurbanas.	62
Tabela 22 - Classes de curvatura horizontal das bacias hidrográficas periurbanas.	64
Tabela 23 - Forma do terreno das bacias hidrográficas periurbanas.	67
Tabela 24 - Orientação das vertentes da área de estudo.	70
Tabela 25 - Variáveis morfométricas da área de estudo.	71
Tabela 26 - Classes de solos das bacias hidrográficas periurbanas.	78
Tabela 27- Uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas	84

Tabela 28 - Classes de fragilidade potencial das bacias hidrográficas periurbanas.	87
Tabela 29 - Classes de fragilidade emergente das bacias hidrográficas periurbanas.	88
Tabela 30 - Matriz de identificação da área de estudo.	91
Tabela 31 - Matriz de Integração da fragilidade potencial da área de estudo.....	93
Tabela 32 - Matriz de integração da fragilidade emergente da área de estudo.	101
Tabela 33 - Pontos de fragilidade emergente muito forte da área de estudo.....	104
Tabela 34 - Comparação do predomínio das classes de fragilidade da área de estudo.....	106
Tabela 35 - Largura necessária de Mata Ciliar conforme a lei nº4,771/65.	111

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO.....	16
2.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL: TEORIA E MÉTODOS.....	19
2.2.1 Fragilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo e classes de declividade.....	21
2.2.2 Modelo de fragilidade com apoio nas unidades territoriais básicas.....	26
2.3 A RELAÇÃO DOS SOLOS COM AS FORMAS VERTENTES.....	32
2.4 GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	39
3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	41
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	50
4.1 APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA DE ROSS (1994).....	52
4.1.1 Carta de fragilidade ambiental potencial.....	52
4.1.2 Carta de fragilidade ambiental emergente.....	54
5 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS.....	56
5.1 CLIMA (ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS).....	56
5.2 HIPSOMETRIA E DECLIVIDADE.....	58
5.3 VERTENTES.....	61
5.4 REDE DE DRENGEM E MORFOMETRIA.....	70
5.5 GEOLOGIA.....	74
5.6 SOLOS.....	76
5.7 FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL.....	85
5.8 FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE.....	87
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	91
6.1 O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL.....	91
6.2 O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE.....	101
6.3 DISCUSSÕES E PROPOSTAS SOBRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO....	106
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
APÊNDICES.....	126

1 INTRODUÇÃO

Os inadequados processos de uso e ocupação dos solos podem provocar uma série de alterações na dinâmica natural das bacias hidrográficas, gerando degradações de naturezas diversas. De acordo com Ross (1994) a dinâmica de cada ambiente é determinada pelo constante fluxo de energia e matéria que movem os sistemas e os mantêm em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passam, progressivamente, a intervir neste equilíbrio.

Nesta perspectiva, Tricart (1977) estabeleceu uma concepção ecológica, denominada de Unidades Ecodinâmicas, onde o ambiente é analisado sobre o prisma da Teoria dos Sistemas, que parte do pressuposto de que na natureza, as trocas de energia e matéria, se processam por meio das relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes. O autor definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis, quando em desequilíbrio são instáveis.

Com base nos preceitos ecodinâmicos, Ross (1990, 1994) acrescenta novos critérios estabelecendo a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados e propõe os conceitos de Fragilidade Ambiental Potencial e Fragilidade Ambiental e Emergente. O autor aponta, o conceito de sistema como melhor instrumento a ser utilizado para estudos de problemas ambientais, uma vez que, permite a análise dos seus diversos componentes de maneira dinâmica e em conjunto, favorecendo uma ação mais eficaz sobre o meio ambiente integrando os conhecimentos isolados.

De acordo com Ross (1994), na Fragilidade Ambiental Potencial, são consideradas as fragilidades correlacionadas às condições naturais, com especial atenção para as formas de relevo e para os diferentes tipos de solos, já que, são esses elementos que ajudam a evidenciar as características naturais. No caso da Fragilidade Ambiental Emergente, são avaliados os tipos de usos dos solos, oriundos da ação antrópica.

Nesse contexto, a pesquisa buscou levantar e analisar os elementos, do quadro natural e antrópico aos da fragilidade potencial e emergente, em sete bacias

hidrográficas periurbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon, a fim de contribuir com o conhecimento da organização e distribuição dos solos na paisagem, para auxiliar no seu processo de uso e ocupação de acordo com suas características naturais. Para tanto, apoiou-se na proposta dos estudos de ambientes naturais e antropizados (ROSS, 1994) com auxílio das classes de declividade e hipsometria, da rede de drenagem, do mapa de solos, além de seu uso e ocupação para a obtenção do mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.

As sete bacias hidrográficas selecionadas foram as dos córregos Peroba, Guavirá, Guará, Bonito, Matilde Cuê, Borboleta e Apepú. Destaca-se que os Córregos Bonito e Guavirá terão somente seu curso superior e médio contemplados. Estas bacias hidrográficas foram eleitas pois, trabalhos de pesquisa realizados na área (MEZZOMO, 2009; TIZ, 2009; ROCHA, 2011; BADE, 2011), têm demonstrado que a expansão urbana, promove riscos ao equilíbrio e à dinâmica do ambiente.

Cabe ressaltar ainda, que a área de estudo pertence à Bacia do Paraná III, região onde está concentrada a maioria das pesquisas do grupo GEA (grupo de estudos ambientais). Estas pesquisas, via de regra, têm por finalidade levantar e explorar dados fisiográficos com o propósito de amenizar os impactos socioambientais e socioeconômicos que afetam as bacias hidrográficas.

Assim sendo, estabeleceu-se a organização deste trabalho em seis partes. A primeira parte corresponde ao referencial teórico que compreende temas considerados pertinentes para o seu desenvolvimento. Inicialmente são abordados os conceitos de bacias hidrográficas e sua utilização como unidade de estudo para o planejamento e a análise ambiental. Em seguida, o referencial teórico dispõe de uma síntese sobre a fragilidade ambiental, demonstrando os principais conceitos e técnicas utilizadas na análise da fragilidade potencial e emergente.

Ainda na primeira parte, foram envolvidas questões com base na análise estrutural da cobertura pedológica, sua relação com o relevo e o papel das vertentes na paisagem, com o intuito de analisar o uso e a ocupação dos solos na escala das bacias hidrográficas e, assim, propor sugestões para seu uso, conservação e gestão. Nesta parte ainda foi realizada uma breve consideração sobre o uso das geotecnologias no levantamento de dados, organização de bases cartográficas, elaboração de análises temáticas e representação das informações.

A segunda parte apresenta a caracterização do município de Marechal Candido Rondon, abordando aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, hidrológicos e cobertura vegetal, além, de uma breve consideração sobre o processo histórico de ocupação do município. Na terceira parte estão descritos os procedimentos metodológicos adotados para a análise da fragilidade ambiental potencial e emergente, tendo como base o modelo de Ross (1994; 1996). Para isto, considerou-se a elaboração dos materiais cartográficos como uso e ocupação do solo, classes de declividade e classes de solos. Outros dados auxiliaram na interpretação dos dados, tais como a hipsometria, os índices pluviométricos, geologia e a forma das vertentes.

A quarta parte foi destinada à apresentação e descrição dos resultados com base nas informações dos mapas temáticos produzidos. Na quinta parte consta a análise e discussão dos resultados onde se avaliou o estado ambiental das bacias, destacando-se o processo de ocupação e transformação dessa área. E, a partir disso, foram apresentadas propostas de uso e ocupação do solo.

Na sexta parte, constam as considerações finais sobre o trabalho executado, com reflexões empíricas e metodológicas a partir dos resultados de fragilidade ambiental obtidos nas bacias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

O uso da territorial da bacia hidrográfica como unidade de estudo, segue uma tendência internacional difundida inicialmente em países como, França, Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos, e posteriormente passando a ser adotada como referência e modelo de orientação para outros países, inclusive para o Brasil (MARINHO & MORETTI, 2013, p.133) a partir de 1948, com criação da Comissão do Vale do São Francisco (CVSF). Mas, é em 1990 que as propostas de gestão de bacias hidrográficas na América Latina ganham maior destaque, em razão da discussão temática sob a ótica do desenvolvimento sustentável (CARVALHO, 2009). Somente em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo.

Podem ser citados vários projetos e estudos que potencializaram a bacia hidrográfica como uma unidade ambiental adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das inter-relações concernentes ao planejamento e à gestão do desenvolvimento, especialmente no âmbito regional, como a criação do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari no Estado de São Paulo em 1989; o PROJETO NOROESTE no estado do Paraná, realizado em três fases entre 1970 e 1974, na microbacia hidrográfica do rio Feliz que contou com a assistência técnica da OEA – Organização dos Estados Americanos e que permitiu a primeira experiência paranaense de estudos e ações concretas no tratamento da erosão. Outro importante estudo foi o Programa Integrado de Conservação dos Solos e da Água do Paraná, que definiu propostas, tendo por base a identificação dos problemas críticos sobre a água, solo, florestas, transporte, uso e manejo do solo entre outros (CARVALHO, 2004, p.41).

Botelho e Silva (2004) consideram o estudo das bacias hidrográficas de fundamental importância, pois possibilita avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico, presente no sistema, representado pela bacia de drenagem. As atividades humanas urbanas, industriais e agrícolas, são desenvolvidas sobre o território das bacias

hidrográficas. Sua classificação hierárquica e seu estudo permitem a análise do desenvolvimento econômico, social e ambiental e a interpretação das relações físicas e humanas. Assim,

“A importância da Bacia Hidrográfica como unidade de gestão e planejamento advém da sua capacidade de distinguir diversos objetivos, tais como o desenvolvimento econômico, a equidade social, econômica e ambiental e, a sustentabilidade ambiental. Ampliando sua visão apenas territorial passando a ser um espaço em que as relações físicas e humanas podem ser interpretadas” (CARMO; SILVA, 2010, p. 03).

Dessa forma, os estudos que utilizam a unidade das bacias hidrográficas possibilitam avaliar, de forma integrada, as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico presente no sistema. Permite ainda, visualizar conjuntamente todos os elementos da paisagem, isto é: solo, relevo, vegetação, clima, geologia, rede de drenagem, assim como, as atividades humanas urbanas, industrial e agrícola, caso encontradas simultaneamente nas bacias. Desse modo torna possível a análise do desenvolvimento econômico, social e ambiental, além de permitir a interpretação das relações físicas e humanas em uma abordagem integrada e interativa. Os referidos elementos da paisagem mantêm uma estreita relação de dependência e, por isso, se tornam essenciais para uma consistente avaliação da bacia hidrográfica e, principalmente, para identificar os pontos mais vulneráveis à influência antrópica (FERNANDES & SILVA, 1994; BOTELHO & SILVA; 2004; ROCHA *et al.*, 2009; CARMO & SILVA, 2010).

Para Christofolletti (1980, p.102) a bacia hidrográfica é definida como “área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial.” Lima e Zakia (2000) compreendem a bacia hidrográfica em uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico (TEODORO *et al.*, 2001, p.137).

Nas últimas décadas, o aumento das atividades antrópicas sobre as bacias hidrográficas, em áreas urbanas e rurais, tem sido um agente modificador da paisagem terrestre, promovendo o uso e a ocupação do solo, de forma errônea e inadequada. Como consequência, isso gerou a quebra na dinâmica natural desses sistemas, provocando impactos socioambientais e socioeconômicos (BONATO e SANTOS, 2008; CARMO & SILVA, 2010).

As alterações socioambientais e socioeconômicas, de modo geral, decorrem do aumento inadequado dos processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola, verificadas principalmente, a partir da década de 1950 do século XX. Esse crescimento urbano acelerado causa a compactação, impermeabilização e erosão dos solos, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais, podendo potencializar diferentes processos de degradação e desequilíbrio ambiental (BONATO & SANTOS, 2008; SETTI *et al.*, 2001).

As bacias hidrográficas, em especial nas áreas urbanas, segundo Bonato e Santos (2008), sofrem diversos impactos decorrentes do processo de urbanização que devem ser analisados, tais como: o aumento das vazões máximas, devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies; e intensa produção de resíduos sólidos e deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transportem de material sólido e ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial, de voçorocamento das cabeceiras de drenagem e das barrancas fluviais.

Para tanto, é necessário compreender o espaço urbano, estudar e analisar a forma urbana e seu crescimento como subsídios às políticas de planejamento, pois frequentemente, são realizados estudos onde demonstram que o processo dinâmico do crescimento das cidades, invadem áreas que não são adequadas para uso do solo urbano.

No que se refere ao estudo de bacias hidrográficas em áreas urbanas e periurbanas, trata-se de criar condições para nortear as políticas públicas de uso e ocupação do espaço, a médio e longo prazo, de maneira mais efetiva e precisa. Assim, o estudo pode ser usado no planejamento do uso do solo urbano, constituindo um recorte espacial fundamental onde, quase sempre, o processo de ocupação do solo é desenvolvido de modo espontâneo, raramente fundado em

questões ambientais, ainda que cada unidade administrativa, ou seja, o município contemple um Plano Diretor (SEBUSIANI, 2011). Os problemas ambientais urbanos e periurbanos dizem respeito aos processos de construção e expansão da cidade e, portanto, às diferentes opções políticas e econômicas que influenciam as configurações do espaço.

Dessa forma, os estudos de gestão e planejamento ambiental, tendo como unidade espacial as bacias hidrográficas, são tão necessários, quanto dinâmicos e complexos. A crescente preocupação com o meio ambiente, e principalmente no que diz respeito aos recursos hídricos, sua preservação, recuperação e utilização adequada, aponta a bacia hidrográfica como uma das abordagens de estudos mais utilizadas, sob a ótica de gestão e planejamento ambiental por sua perspectiva integradora dos processos que nela ocorrem (SETTI *et al.*, 2001).

Compreendendo que os estudos sobre fragilidade ambiental podem ser realizados em grandes e pequenas escalas, é válido que subsidiem estudos pontuais desenvolvidos em nível de bacia hidrográfica, visando compreender problemas localizados, possibilitando tratar de temáticas específicas como, por exemplo, uso e ocupação do solo e a sua degradação ambiental.

2.2 FRAGILIDADE AMBIENTAL: TEORIA E MÉTODOS

O termo fragilidade ambiental está ligado à susceptibilidade do sistema ambiental em sofrer intervenções ou de ser alterado, quando o estado de equilíbrio dinâmico do sistema é quebrado, podendo entrar em colapso. A desestabilização do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais, quanto ações antrópicas. A alteração de qualquer componente da natureza pode gerar instabilidade, acarretando alterações no funcionamento da paisagem e resultando na fragilização do sistema (SPORL e ROSS, 2004, p.24).

CABRAL *et al.* (2011) descrevem que a fragilidade do ambiente é a sua vulnerabilidade em sofrer qualquer tipo de dano e está relacionada com os fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, oriundos da própria dinâmica do ambiente como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica, a exemplo do mau uso do solo.

A análise da fragilidade do ambiente é uma proposta de investigação cujo princípio básico é definir os diferentes níveis de fragilidade dos ambientes naturais, modificados ou não pelas atividades antropogênicas, em face ao desenvolvimento das atividades humanas (ROSS, 1994). Dessa forma, a fragilidade ambiental torna-se uma avaliação qualitativa das condições físico-naturais, apresentando o resultado das relações de conectividade e interdependência das componentes ambientais com as atividades humanas. Os níveis de fragilidade podem ser classificados de acordo com a facilidade com que as alterações são provocadas nos elementos naturais, conforme suas características genéticas.

Ross (op.cit) enfatiza a importância de uma análise integrada dos elementos componentes do estrato geográfico, os quais analisados e inter-relacionados geram um produto analítico sintético que permite obter um diagnóstico com diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais, resultando em uma carta síntese para a análise da fragilidade ambiental. Esta carta possibilita nortear as ações antrópicas futuras e corrigir as atuais, servindo como instrumento de planejamento físico territorial.

Oliveira (2008) destaca que, o mapeamento da fragilidade ambiental, aliado aos estudos em bacias hidrográficas, assume um importante papel no planejamento territorial, pois orienta o tipo de uso mais adequado, visando à redução dos impactos causados pela ocupação inadequada, fornecendo subsídios para a implantação de ações, tanto para a prevenção, quanto para a manutenção da correta utilização dos recursos naturais.

Dessa forma, os estudos relativos à fragilidade são de extrema importância ao planejamento ambiental, que tenha como centro de preocupação um desenvolvimento sustentável, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com desenvolvimento econômico e social. No âmbito da ciência geográfica, a análise e o monitoramento das fragilidades ambientais têm sido de grande valia, contemplando o mapeamento das susceptibilidades naturais e das formas de uso e ocupação antrópicas presentes nos ambientes rurais e urbanos. Têm possibilitado ainda, interferir nos projetos de adequação e contenção dos problemas ambientais e sociais, evidenciados em níveis regionais e principalmente na escala da bacia hidrográfica.

Para a análise da fragilidade ambiental podem ser apontados modelos quantitativos e qualitativos. Os modelos quantitativos estão baseados em medições

e experimentos, como por exemplo, a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) utilizada para o cálculo de perda de solo por erosão. Já os modelos qualitativos são empíricos e estão baseados nos conhecimentos dos especialistas, destacando-se os modelos propostos por Ross (1994), com base nos índices de dissecação de relevo e nas classes de declividade, e a proposta de Crepani *et al.* (2001) com base em Unidades Territoriais Básicas (UTBs). Ambos os modelos (ROSS, 1994 e CREPANI *et al.*, 2001) têm a finalidade do entendimento da inter-relação dos elementos físicos e estão pautados nos mesmos princípios de Ecodinâmica de Tricart (1977).

Tricart (op.cit) estabeleceu uma concepção ecológica, denominada de Unidades Ecodinâmicas, onde o ambiente é analisado sobre o prisma da Teoria dos Sistemas, que parte do pressuposto de que, na natureza, as trocas de energia e matéria se processam por meio das relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes. O autor definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis, quando em desequilíbrio são instáveis.

No entanto, conforme aponta Spörl (2007), embora Crepani *et al.* (2001) e Ross (1994) levem em consideração os mesmos pressupostos da Ecodinâmica de Tricart (1977), apresentam diferenças na operacionalização dos métodos, nas variáveis analisadas e nos pesos atribuídos às variáveis envolvidas.

2.2.1 Fragilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo e classes de declividade.

De acordo com Ross (1994) os estudos sobre a Fragilidade Ambiental Potencial consideram as fragilidades correlacionadas às condições naturais, com especial atenção para as formas de relevo e para os diferentes tipos de solos, já que, são esses elementos que ajudam a evidenciar as características naturais. No caso da Fragilidade Ambiental Emergente, são avaliados os tipos de usos dos solos, oriundos da ação antrópica e dos graus de proteção, dados pelas vegetações naturais e remanescentes. Nestes modelos, as características naturais (relevo, rocha, clima e solo), assim como as formas de uso dos solos, oriundas da ação

antrópica são expressas em diferentes graus de fragilidades, exemplificadas através das classes: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5).

Conforme o citado autor, a carta de fragilidade potencial indica os graus de fragilidade, sob a ação dos processos morfogenéticos atuantes na paisagem, resultantes da correlação de alguns dos componentes físico-naturais da paisagem: declividade do terreno, erosividade das chuvas e cobertura pedológica; enquanto a carta de fragilidade emergente correlaciona às informações resultantes da fragilidade potencial com as informações de uso do solo, indicando os graus de fragilidade das unidades espaciais conforme a proteção do solo, apresentando as áreas em estado de desequilíbrios pela ação antrópica. Já o estudo da fragilidade ambiental é precedido por uma classificação ou organização dos elementos que compõem a área do espaço a ser estudada, considerando aspectos naturais e antrópicos.

O modelo de fragilidade potencial natural com apoio nos índices de dissecação do relevo propõe que cada variável (relevo, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima) seja hierarquizada em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0; as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0. Desta forma, a partir da composição das relações destas quatro variáveis, Ross (1994) propôs:

- Índices de Dissecação do Relevo - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5);
- Solos - classes de fragilidade muito fraca (1) a muito forte (5);
- Cobertura Vegetal - grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- Pluviosidade - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5).

A matriz dos índices de dissecação do relevo (Tabela 1) contempla as informações da dimensão interfluvial média nas colunas horizontais e o entalhamento médio dos vales nas colunas verticais. Na coluna de dimensão interfluvial média, os valores dos interflúvios são maiores à esquerda e diminuem à direita. E nas colunas verticais os algarismos aumentam do topo para a base da matriz, ou seja, do menor para o maior grau de entalhamento (ROSS, 1994).

Para o Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas classes de declividade ao invés de utilizar os índices de dissecação do relevo como suporte para a confecção da carta-síntese de fragilidade, Ross (op. cit) enfatizou as classes

de declividade. Para estabelecer as classes de declividade, o referido autor utilizou os intervalos baseados nos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola (Tabela 2), associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotecnia.

Tabela 1 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo.

Graus de entalhamento dos vales (Classes)	Densidade de Drenagem ou Dimensão Interfluvial				
	Muito Baixa (1) >3750m >15m/m	Baixa (2) 1750 a 3750m 5 a 15m/m	Média (3) 750 a 1750m 3 a 5m/m	Alta (4) 250 a 750m 1 a 3m/m	Muito Alta (5) < de 250m <1 m/m
Muito Fraco (1) (< de 20 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (20 a 40m)	21	22	23	24	25
Média (3) (40 a 80m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (80 a 160m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 160m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1994) modificado.

Tabela 2 - Porcentagens de declividade para uso e aptidão agrícola.

1 - < 3 %	5 - 20 a 30%
2 - 3 a 6%	6 - 30 a 50%
3 - 6 a 12 %	7 - > 50%
4 - 12 a 20 %	

Fonte: ROSS (1993).

Considerando que as classes de declividade de até 6 % são muito baixas, as categorias foram determinadas por Ross (1994) e hierarquizadas em cinco categorias (Tabela 3):

Tabela 3 - Classes de fragilidade de acordo com a declividade.

Classes de Fragilidade	Percentual
1 - Muito Fraca	< 6%
2 - Fraca	6 a 12%
3 - Média	12.01 a 20%
4 - Forte	20.01 a 30%
5 - Muito Forte	> 30%

Fonte: Adaptado ROSS (1994 e 1996).

As variáveis “solo, cobertura vegetal/uso da terra e pluviosidade” mantêm os mesmos parâmetros aplicados para o modelo anteriormente citado. Cada uma destas variáveis foi classificada em cinco graus diferenciados de fragilidade, conforme apresentado a seguir:

- Classes de declividade – categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5);
- Solos – classe de fragilidade muito baixa (1) a muito forte (5);
- Cobertura vegetal – grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- Pluviosidade – categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5).

Dessa forma, cada variável tem um grau de importância diferenciado na composição do nível de vulnerabilidade do sistema, apresentando diferentes “pesos” ou “níveis de intensidade”, que indicam sua contribuição ao nível de fragilidade. As variáveis apresentam uma relação dinâmica e complexa, além, de uma alta interdependência, por isso a necessidade de uma análise conjunta (SPÖRL, 2007).

Utilizando-se a variável declividade, ao invés dos índices de dissecação do relevo, a identificação do grau de fragilidade para a área de estudo torna-se mais fragmentada e a área apresenta uma variabilidade maior em relação à identificação dos seus graus de fragilidade (SPÖRL & ROSS, 2004).

Ross (1990) destaca que as formas de mensuração para a análise empírica da fragilidade, no que se refere ao “relevo”, devem ser estabelecidas com base na escala de análise. Ao se trabalhar com escalas médias e pequenas (1:250.000, 1:100.000, 1:50.000) o método de índices de dissecação do relevo é mais indicado, uma vez que a densidade de drenagem, associada ao grau de entalhamento dos canais combinados, determina as rugosidades topográficas. Para as escalas maiores, que ressaltam maiores detalhes (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000), deve-se obter informações referentes ao relevo através do mapeamento de elementos das formas, ou seja, identificando a tipologia de segmentos de vertente, no qual os índices de dissecação serão dados pelas classes de declividade.

Para a classificação da variável “solo”, o (ROSS, 1993) baseou-se nas pesquisas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e de Campinas (SPORL, 2007). O autor determinou as classes de fragilidade do solo de acordo com as

características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão de partículas, profundidade e espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Dessa forma, a fragilidade dos solos está classificada, de acordo com as características citadas, em cinco categorias hierárquicas de muito baixa a muito forte (Tabela 4).

Tabela 4 - Graus de fragilidade de acordo com o tipo de solo.

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
1 - Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo, textura argilosa.
2 - Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo, textura média/ argilosa.
3 - Média	Latossolo Vermelho amarelo, Nitossolos, Aluissolos, neossolos textura média/argilosa.
4 -Forte	Neossolos, Cambissolos, textura média/ arenosa, Cambissolos.
5 - Muito Forte	Neossolos com cascalho, litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

Fonte: ROSS (1994).

No que se refere aos dados sobre uso/ocupação do solo, o autor demonstra que as interpretações podem ser obtidas com base em imagens de satélite, através das quais serão construídos os mapeamentos de uso do solo. O autor propõe classes de fragilidade de acordo com os graus de proteção do solo dado pelo tipo de cobertura vegetal (Tabela 5).

Tabela 5 - Graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais.

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura
1 - Muito Baixa	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2 – Baixa	Formações arbustivas naturais com estrado herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária).
3 - Média	Cerrado denso, Capoeira densa, Mata homogênea de Pinus densa, Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
4 – Forte	Culturas de ciclo longo em curvas de nível/ terraceamento com café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
5 - Muito Forte	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeado, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: ROSS (1994).

Da mesma forma, como são realizadas as hierarquizações das classes de uso solo, de relevo e de solo, também podem ser quantificadas outras classes de fragilidades, referentes aos dados geológicos ou mesmo pluviométricos visando melhor interpretação das vulnerabilidades naturais. Para a variável “clima”, Ross (op.

cit) estabeleceu níveis hierárquicos climáticos de acordo com a maior ou menor intensidade do efeito pluviométrico (Tabela 6) sobre os processos morfodinâmicos, tendo como subsídios os principais domínios climáticos do território brasileiro.

Tabela 6 - Níveis de fragilidade de acordo com variações pluviométricas.

Níveis Hierárquicos	Características Pluviométricas
1 - Muito baixa	Distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não superiores a 1000 mm/ano.
2 - Baixa	Distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não superiores a 2000 mm/ano.
3 - Média	Distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
4 - Forte	Distribuição anual desigual, com períodos secos entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril quando ocorrem 70 a 80% do total das chuvas.
5 - Muito Forte	Distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900mm/ano (semiárido).

Fonte: ROSS (1995); Org. SPÖRL.

Conforme demonstra a metodologia empregada por Ross (1990 e 1994), a interpretação e análise dos dados geomorfológicos, pedológicos, climáticos, bem como dos dados de uso e ocupação, devem ser seguidas da construção de cartas, que serão consideradas produtos iniciais, que serão sobrepostas, criando condições para construção das cartas finais (Fragilidade Potencial e Emergente), que poderão ser novamente correlacionadas e discutidas em uma única carta.

2.2.2 Modelo de fragilidade com apoio nas unidades territoriais básicas

O INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, objetivando subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia desenvolveu uma metodologia para elaborar mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão. Esta metodologia consiste, primeiramente, na elaboração de um mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem ou Unidades Territoriais Básicas (UTB's), obtido por meio da análise e da interpretação de imagem TM-LANDSAT.

Crepani *et al.* (1996) definem as UTBs como entidades geográficas que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-las de suas vizinhas, ao mesmo tempo

em que possuem vínculos dinâmicos que as articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Estas unidades podem ser divididas em duas categorias: unidade de paisagem natural e polígonos de ação antrópica. A delimitação é definida sobre a imagem de satélite, a partir da interpretação dos padrões fotográficos identificados pela variação de cores, texturas, forma, padrões de drenagem e relevo. Após a delimitação, devem-se associar a este mapa preliminar de unidades homogêneas, as informações temáticas pré-existentes: geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e clima.

Seguindo esta proposta metodológica, cada um dos temas citados recebe uma pontuação de fragilidade variando entre 1 e 3. Desta forma, as unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0; as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0 (Tabela 7).

Tabela 7 - Avaliação da vulnerabilidade das unidades da paisagem natural.

UNIDADE	RELAÇÃO MORFOGÊNESE/PEDOGÊNESE	VALOR
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre morfogênese e pedogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (1996)

Crepani *et al.* (2001) atribuíram valores de vulnerabilidade (relativos e empíricos) aos processos de perda de solos a cada tema analisado (geologia, geomorfologia, solos, uso e cobertura vegetal e clima). Com relação à variável “geologia”, é necessário relacionar o histórico de evolução do ambiente geológico para o entendimento do grau de coesão da rocha (ligação entre os minerais e/ou as partículas que a constituem), uma vez que em rochas pouco coesas prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto que nas rochas bastante coesas prevalecem os processos de formação de solos (Tabela 8).

Quanto ao solo, os atributos textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, profundidade e pedregosidade definem a sua resistência aos processos erosivos. Ainda, a maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese, gerando solos

maduros, lixiviados e bem desenvolvidos. Assim, foi atribuída ao solo uma escala de valores para medir sua vulnerabilidade a erosão (Tabela 9).

Tabela 8 - Escala de vulnerabilidade das rochas.

Tipos de rocha	Litologias	Grau de
Metamórficas	Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Ígneas	Riólito, granito, decito	1,1
Ígneas intrusivas	Granodiorito, quartzo diorito, granulitos	1,2
Metamórficas	Migmatitos, gnaisses	1,3
Ígneas intrusivas	Fonólito, nefelina sienito, traquito, sienito	1,4
Ígneas	Andesito, diorito, basalto	1,5
Ígneas intrusivas	Anortosito, gabro, peridotito	1,6
Metamórficas	Milonitos, quartzo muscovita, biotita-xisto, clorita-xisto	1,7
Ígneas e metamórficas	Piroxenito, anfíbolito kimberlito, dunito	1,8
Ígneas	Hornblenda, tremolita, actinolita xisto	1,9
Metamórficas	Estaurolita xisto, xistos grantíferos	2,0
Metamórficas	Filito, metassiltito	2,1
Metamórficas	Ardósia, metargilito	2,2
Metamórficas	Mármore	2,3
Sedimentares	Arenitos quartzos, ortoquartzitos	2,4
Sedimentares	Conglomerados, subgrauvacas	2,5
Sedimentares	Grauvacas, arcózios	2,6
Sedimentares	Siltitos, argilitos	2,7
Sedimentares	Folhelhos	2,8
Sedimentares	Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9
Sedimentares	Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios, etc.	3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (1996).

Tabela 9 - Valores de vulnerabilidade/estabilidade dos solos.

Classe de solo (EMBRAPA, 2013)	Vulnerabilidade
Latossolos	1,0
Argissolos	2,0
Nitossolos	2,5
Cambissolos	3,0
Neossolos	3,0
Gleissolos	3,0
Afloramentos rochosos	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (1996).

Com relação à geomorfologia, são consideradas as formas de relevo e são analisados os índices morfométricos referentes à dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétricas e declividade. A partir destes parâmetros foram atribuídas sete classes morfométricas (Tabela 10).

Tabela 10 - Classes de índices morfométricos.

Classes Morfométricas	<u>Índices morfométricos</u>		
	Dissecação	Amplitude Altimétrica (%) (Amplitude Interfluvial) (m)	Declividade (m)
Muito Baixa	> 1250	< 40	< 2
Baixa	900 a 1250	40 – 80	2 – 5
Baixa a Média	700 a 900	80 – 120	5 – 10
Média	600 a 700	120 – 160	10 – 20
Média a Alta	550 a 600	160 – 200	20 – 30
Alta	400 a 550	200 – 300	30 – 50
Muito Alta	< 400	> 300	> 50

Fonte: CREPANI *et al.* (1996).

Crepani *et al.* (2011) sobre a influência da forma de relevo na erosão, dizem que:

- Não favorece: relevos planos e suavemente ondulados e terraços fluviais (1,0 a 1,6);
- Moderado: relevo ondulado (1,7 a 2,3);
- Favorece: relevo fortemente ondulado e formas de acumulação (2,4 a 3,0).

A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural está diretamente ligada à sua capacidade de proteção do solo (Tabela 11). Assim, aos processos morfogenéticos relacionam-se às coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo.

A variável “clima” relativa à pluviosidade anual, sua intensidade e distribuição, permite a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem. Isto porque situações de intensidade pluviométrica elevada, isto é, alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, podem ser traduzidas como situações onde a quantidade de água disponível para o *runoff* (massas de água em movimento) é muito grande e, portanto, é maior a capacidade de erosão. Estas situações reúnem as melhores condições para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos cujo vetor principal, para nossas condições climáticas é o *runoff*.

Tabela 11 - Graus de proteção do solo segundo a cobertura vegetal.

Tipos de uso/ cobertura vegetal	Valores de vulnerabilidade
Mata	1,0
Reflorestamento	1,5
Pastagem	2,8
Agricultura ciclo longo	2,9
Agricultura ciclo curto	3,0
Arroz irrigado	3,0
Porto de areia	3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (1996).

De forma inversa, a baixa pluviosidade anual, distribuída em um maior período de tempo, caracterizando intensidade pluviométrica reduzida, leva às situações de menor risco para a integridade da unidade de paisagem, pois é menor a disponibilidade de água para o *runoff*. Desta forma, os autores criaram uma escala de erosividade da chuva a qual representa a influência do clima nos processos morfodinâmicos (Tabela 12).

Tabela 12 - Escala de erosividade de chuva.

Intensidade Pluviométrica (mm/Mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/Mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/Mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	>525	3,0

Fonte: Adaptado de CREPANI *et al.* (2001).

Como resultado final, esta metodologia apresenta a vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função das informações provenientes de cada tema avaliado: geologia, geomorfologia, vegetação, solos e clima. Ou seja, cada unidade territorial básica recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$\text{VULNERABILIDADE} = (G + R + S + V + C) / 5, \text{ onde:}$$

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

V = vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Dentro desta escala de vulnerabilidade, as unidades territoriais básicas são classificadas conforme a tabela 13:

Tabela 13 - Graus de vulnerabilidade.

Grau de fragilidade	Intervalo de classe	Cor de classe
Muita Baixa	1,0 – 1,4	Verde
Baixa	1,4 – 1,8	Amarelo
Média	1,8 – 2,2	Laranja
Forte	2,2 – 2,6	Vermelho
Muito Forte	2,6 – 3,0	Marrom

Adaptado de CREPANI *et al.* (1996).

Desta forma, a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), classifica as paisagens em cinco classes de fragilidade conforme as características de cada variável (Tabela 14). A aplicação dos índices leva em consideração a contribuição de cada elemento para a dinâmica da paisagem.

Tabela 14 - Características analisadas na avaliação da estabilidade/vulnerabilidade.

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICA AVALIADA
Geologia	Grau de coesão das rochas
Geomorfologia	Amplitude altimétrica Amplitude interfluvial Classes de declividade
Pedologia	Maturidade dos solos
Vegetação Potencial	Densidade da Cobertura vegetal potencial
Aspectos do Clima	Intensidade pluviométrica

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Spörl (2007), em sua tese de doutorado, comparou os modelos metodológicos citados para aplicação aos estudos da fragilidade ambiental em duas áreas testes: uma situa-se a nordeste do estado de São Paulo e ao sul do Estado de Minas Gerais, e a outra a sudeste do estado de São Paulo, onde a autora verificou que o principal problema está relacionado à atribuição de “pesos” das variáveis geomorfológicas, pedológicas e de uso do solo. Para a autora, esta avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva, pois é complicado avaliar o quanto cada uma destas variáveis contribui para se estabelecer o grau de fragilidade ambiental.

Os procedimentos técnicos operacionais utilizados por Crepani *et al.* (2001) distingue-se de Ross (1994) apenas por utilizar a variável “rocha”. No modelo proposto por Crepani (Op. cit) todas as variáveis tem o mesmo peso, enquanto Ross (Op. cit) atribui um peso maior ao relevo.

Spörl (2007) ainda ressalta que os modelos operacionais analisados de Ross (1994) podem não refletir a realidade em campo, pois, nem sempre uma área que apresenta relevo mais dissecado é de fato mais frágil, pois há de se considerar a rocha, solo, cobertura vegetal, uso da terra e regime das chuvas, que podem amenizar a sua vulnerabilidade. Já a igual ponderação utilizada por Crepani *et al.* (2001) pode mascarar ou atenuar o grau de fragilidade.

Diante disso, os trabalhos já desenvolvidos por Ross (1990), Spörl (2001), Stolle (2008), Kawakubo (2005), Donha (2005) evidenciam que nos estudos de fragilidade ambiental, as características básicas naturais e antrópicas da área de estudo, assim como a escala de trabalho, devem ser sempre consideradas, tendo em vista que cada substrato geográfico apresenta condições diversificadas, sobre as quais são desenvolvidos diferentes tipos de uso e ocupação. Para os autores, os trabalhos referentes à análise da fragilidade, podem ser subsidiados por várias técnicas e conhecimentos que ajudam na interpretação das fragilidades em diversas escalas que sejam adequadas à proposta de estudo.

Sendo assim, podemos considerar que as adaptações metodológicas para as variações de maior ou menor fragilidade atribuídas às características naturais e antrópicas, sejam elencadas de acordo com a escala de análise e com as peculiaridades e objetivos de cada área de estudo.

2.3 A RELAÇÃO DOS SOLOS COM AS FORMAS VERTENTES

Os primeiros avanços referentes à evolução na compreensão da organização do solo e as metodologias para seu estudo datam de 1930, quando Milne (1935) apresentou o conceito de “*catena*” e introduziu a concepção de lateralidade do solo, em que os perfis verticais de solo sucedem-se numa vertente, ligados como que em cadeia, mantendo relações genéticas entre si. Os principais fatores responsáveis pelas sucessões laterais dos solos numa encosta seriam os processos erosivos, comandados pela topografia (FACCO *et al.*, 2012). MILNE (1935, 1936, 1942)

ênfatiza uma nova visão do objeto solo, que obriga a realização de ampla revisão das interpretações das relações entre os solos e as vertentes e/ou entre morfogênese e pedogênese (QUEIROZ NETO, 2010).

A partir de 1970, foram realizados trabalhos, os quais passaram a introduzir a metodologia de análise por meio da concepção de cobertura pedológica (QUEIROZ NETO 1988; 2002). Assim, trabalhos como os de Bouquier (1973), Boulet (1973) e Chauvel (1977), enfatizaram o estudo de topossequências ao longo de encostas realizando análises bidimensionais das coberturas pedológicas, não mais enfatizando o solo como um indivíduo em perfis verticais, mas sim como um *continuum* recoberto toda a extensão das encostas (FACCO *et al.*, 2012; WERLANG *et al.*, 2013). Boulet (1978) e Boulet *et al.* (1979) propõem o estudo e a representação cartográfica tridimensionais da cobertura pedológica, permitindo assim, conforme Queiroz Neto (1988), estudar os processos biogeodinâmicos, o sentido e a evolução da pedogênese; reconstituir os diferentes mecanismos responsáveis pelas diferenciações pedológicas, bem como suas sucessões cronológicas; demonstrando o comportamento e funcionamento atual da cobertura pedológica de uma dada área (FACCO *et al.*, 2012; WERLANG *et al.*, 2013).

A metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AACP) levou a novas interpretações da gênese dos solos e suas distribuições nos relevos. Esse procedimento permitiu a superação da visão reducionista do perfil vertical de solo pela noção de cobertura pedológica, como um *continuum* que recobre as vertentes (BOULET, 1988; BOULET *et al.*, 1984; RUELLAN e DOSSO, 1993, QUEIROZ NETO, 1988, 2002). A aplicação da AACP permitiu a compreensão correta dos solos, de seus funcionamentos, de suas histórias (gêneses) e suas distribuições espaciais, além de suas relações com as outras ciências. Dessa forma, a AACP mostra que:

“1- os solos constituem um meio organizado e estruturado, aparecendo como uma cobertura contínua ao longo das vertentes, formando o que pode ser designado de cobertura pedológica”.

2- as organizações pedológicas e suas estruturas apresentam três dimensões espaciais, d'onde seu caráter tridimensional, além de uma dimensão temporal: as características dessa organização e estrutura estão presentes em todas as escalas de observação, desde as da paisagem até a do microscópio.

“3- como decorrência e independentemente das aplicações, o estudo dos solos deve basear-se no reconhecimento dessas organizações e

estruturas pedológicas, em todas as escalas, de suas características e propriedades, de seu funcionamento e de sua história” (QUEIROZ NETO, 2010, p. 6).

Os estudos dos processos pedogenéticos levaram ao reconhecimento e definição dos sistemas pedológicos em equilíbrio dinâmico e em transformação (BOULET, 1978; BOULET *et al.*, 1984; QUEIROZ NETO, 1988, 1993; RUELLAN & DOSSO, 1993).

Os sistemas em equilíbrio dinâmico são as coberturas pedológicas latossólicas homogêneas vertical e lateralmente, as quais ocupam as vertentes desde as posições cimeiras, passando no sopé a solos hidromórficos (SALOMÃO, 1994, PELLERIN & QUEIROZ NETO, 1994). Esses sistemas ocorrem sobre colinas com topos amplos e bastante planos e vertentes de baixas declividades. Essas características estão relacionadas à presença de vertentes regularizadas e em equilíbrio relativo, indicando momentânea estabilidade da rede hidrográfica. A modificação das relações geométricas das vertentes pode ser rompida pelo aprofundamento da rede de drenagem, que modificará o funcionamento e dinâmica hídrica nas vertentes, colocando em desequilíbrio as organizações pedológicas (QUEIROZ NETO, 2011).

Para os sistemas pedológicos em transformação, Queiroz Neto (2011) cita o exemplo paradigmático de sucessão, ao longo das vertentes, dos Latossolos no topo das colinas e dos Argissolos (solos com horizonte B textural) a partir das meias encostas. Esses solos aparecem, nas classificações pedológicas, em ordens e/ou classes geneticamente diferentes. O desencadeamento desse processo de transformação estaria relacionado com uma modificação do nível de base local (córrego Invernada), que acelerou os fluxos internos das soluções na base da vertente, onde se inicia a transformação do horizonte latossólico em argílico. Avança para montante com perdas de argila, convexização da base da vertente, porém mantendo o paralelismo com os horizontes. No segmento médio da pedossequência, há maior acumulação de água; as perdas de argila se acentuam e provocam a modificação da forma da vertente para a concavidade.

O estudo da gênese, da dinâmica, do funcionamento e da dinâmica dos solos por meio da metodologia da AECP possibilitou relacionar os solos/formações superficiais com a evolução do relevo, levando a identificar a importância da

pedogênese para a geomorfogênese (QUEIROZ NETO, 2001). O emprego da AECOP possibilitou ainda, compreender de forma mais detalhada as correlações que existem entre as formas de relevo e a distribuição dos solos ao longo das vertentes. Ainda constatou-se que certas propriedades dos solos, como a granulometria e as bases trocáveis, variam ao longo das vertentes.

Jan Dilik (1968) considera a vertente como uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente e no passado e representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo de vale. Esta definição foi baseada nos elementos de delimitação da vertente: inferior, superior, interno e aos processos atuantes representados pelo escoamento responsável pela dinâmica e pelo relacionamento funcional de todas as partes da vertente. Os processos morfogenéticos que explicam a evolução das vertentes, a esculturação do relevo, fornecem informações para melhorar a aplicabilidade das técnicas de conservação do solo. Podem ser consideradas as categorias mais importantes na morfogênese do modelado terrestre: meteorização ou intemperismo; movimentos do regolito; processo morfogenético pluvial e ação biológica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O estudo da vertente, enquanto categoria do relevo assume importância acadêmico-institucional a partir da década de 1950 do século passado, com o trabalho de Tricart (1957), quando afirma ser a vertente “o elemento dominante do relevo na maior parte das regiões, apresentando-se, portanto, como forma de relevo mais importante para o homem. Tanto a agricultura quanto os demais trabalhos de construções estão interessados na evolução das vertentes que acabam comandando, por exemplo, a perenidade – direta e indireta – dos cursos d’água, pela ação geomorfológica” (CASSETI, 2005).

Para Christofolletti (1980), o estudo das vertentes pode ser considerado um dos mais importantes setores de pesquisas geomorfológicas, a partir da análise de seus processos e formas. É um setor complexo, pois envolve a ação de vários processos responsáveis pela formação e remoção de material detrítico. O autor define a vertente como “uma superfície inclinada, não horizontal, sem apresentar qualquer conotação genética ou locacional. As vertentes podem ser subaéreas ou submarinas, podendo resultar da influência de qualquer processo e, nesse sentido amplo, abrangem todos os elementos componentes da superfície terrestre, sendo formadas pela ampla variedade de condições internas e externas” (CHRISTOFOLETTI, 1980. p. 26).

Tricart (1957) demonstra que o balanço morfogenético de uma vertente é comandado principalmente pelo valor do declive, pela natureza da rocha e pelo clima. De forma geral, quanto maior o declive da vertente, maior a intensificação da componente paralela, reduzindo a ação da componente perpendicular. Assim, com o escoamento mais intenso, tem-se o acréscimo do transporte de detritos, adelgaçando o solo ou o material intemperizado. Da mesma forma que a tectônica ou a resistência litológica podem provocar aumento do declive, a estreita correspondência com a intensidade dos processos pode provocar uma condição de “equilíbrio dinâmico”, desde que a relação energia (processos incidentes) e matéria (substrato da vertente) esteja balanceada, independentemente das condições topográficas. Além do fator declive como elemento de indução morfogenética, inclui-se ainda o comprimento e a forma geométrica da vertente (CASSETI, 2005).

A natureza da rocha, além de responder pelo comportamento da formação superficial, intervém no perfil da vertente, no seu declive médio e na velocidade de seu recuo ou evolução. Penteado (1974) mostra que o comportamento de uma estrutura em relação à erosão depende da natureza das rochas (propriedades físicas e químicas) sob a ação de diferentes meios morfoclimáticos. Dentre as propriedades básicas de uma rocha, a autora destaca o grau de coesão, o grau de permeabilidade e o grau de plasticidade, que influem no modo de escoamento superficial.

O clima se caracteriza como elemento morfogenético da maior importância, intervindo direta ou indiretamente na vertente. Nas regiões desérticas ou glaciais ele age diretamente e, onde a cobertura vegetal e o solo se fazem presentes, atua indiretamente na vertente, promovendo o desenvolvimento tanto da componente perpendicular como da paralela. Nos climas tropicais úmidos, sob floresta densa, a componente perpendicular é intensa, produzindo forte e rápida alteração das rochas, por meio do processo de pedogenização, o que explica o crescente espessamento dos solos. Ao contrário, nas zonas semiáridas, a baixa precipitação restringe o desenvolvimento de solos, e as eventuais torrencialidades pluviométricas respondem pelo transporte de detritos resultantes da morfogênese mecânica; a exposição da rocha se torna uma constante, permitindo a ação direta dos elementos do clima (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As vertentes apresentam alta complexidade em seu funcionamento e constituem partes importantes das bacias hidrográficas e não podem ser descritas

de modo integral sem que se façam considerações a propósito das relações entre elas e a rede hidrográfica. É impossível considerar os rios e vertentes separadamente, pois são membros de um sistema aberto que é a bacia de drenagem, estando continuamente em interação (CHRISTOFOLETTI, 1980). As vertentes de uma bacia hidrográfica também podem ser analisadas sob o enfoque sistêmico, pois se constituem em um sistema aberto, onde há entrada e saída de energia e de matéria entre os seus constituintes, atuando nos processos que modelam as paisagens. Conforme Meneguzzo e Thomaz (2010) há uma relação entre as vertentes e os canais fluviais, pois se ocorrer um processo geomorfológico na vertente, certamente o canal também sofrerá alguma mudança.

Cassetti (2005) aponta para a importância do estudo das vertentes, uma vez que contém subsídios importantes para a compreensão dos mecanismos morfogenéticos responsáveis pela elaboração do relevo na escala de tempo geológico (propriedades geoecológicas), permitindo entender as mudanças processuais recentes (processos morfodinâmicos), na escala de tempo histórico, se individualizando como palco de transformações sócio reprodutoras.

Oliveira (2005) salienta que o relevo regula os movimentos de água ao longo da vertente tanto na superfície como no interior do solo, agindo sobre seu regime hídrico e conseqüentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas – lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido – e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível – hidrólise, hidratação, dissolução. O autor aponta ainda, que a morfologia das vertentes tem um papel importante no processo de pedogênese, pois, sua concavidade e convexidade têm implicações diretas na convergência, ou dispersão das águas de enxurrada e na movimentação interna ao longo das vertentes e, conseqüentemente, na erosão e modelagem das formas de relevo e na formação e variação espacial dos solos.

Bigarella e Mazuchowski (1985) destacam as topossequências de solos ao longo das vertentes como fonte de estudos na interpretação ambiental dos solos, pois, além de esclarecer a cronoestratigrafia edáfica, fornece informações sobre as transformações sofridas pelas diversas unidades do solo. Isto porque as informações geológicas, geomorfológicas e pedológicas permitem uma melhor compreensão da evolução dos solos no espaço e no tempo, relacionando com as variações ambientais. Estabelecem nítidas diferenciações de idade entre as várias

formações edáficas, fornecem informações das transformações por elas sofridas e as disposições sequenciais dos solos nas diversas paisagens.

A topografia do local influencia na distribuição do solo na paisagem (topossequências). A partir da relação entre as formações (depósitos) superficiais e determinadas feições do relevo, torna-se mais fácil à compreensão da distribuição dos solos, bem como, entender a origem das topossequências, podendo, agrupá-los em *catenas* e ainda explicar as relações de microclima, pedogênese, processos geológicos e geomorfológicos que atuam na superfície do relevo. Assim, as propriedades do solo variam lateralmente de acordo com sua posição na topografia e a orientação das vertentes, nos quais são formados, afetando o microclima, a vegetação e o próprio solo. Em uma topossequência podem ocorrer diferenças no solo de acordo com sua posição na vertente, o que pode ser explicado pelo fator tempo.

A partir da metodologia da AECP, o estudo dos solos tornou-se muito mais completo e complexo para o conhecimento da pedogênese, permitindo perceber a importância dos processos biogeoquímicos, sobretudo aqueles relacionados à circulação lateral das soluções. O estudo deve ser realizado em todas as escalas de observação disponíveis: da macromorfológica (em campo), passando pela micromorfológica (microscopia óptica) até as escalas ultramicroscópicas, incluindo a que atinge a distribuição dos elementos. Isso quer dizer que a visão do solo, por meio da AECP, integra essas diferentes escalas de observação, que se completam (QUEIROZ NETO, 2002).

Atualmente sabe-se que a grande variedade de solos existentes deve-se a ação conjugada de diversos fatores e que seu estudo individual acarreta dados parciais e que não representam a realidade, além de não proporcionar uma visão de totalidade do solo (LEPSCH, 2002). Para Lima (1999), o conhecimento do conjunto desses fatores fornece informações que auxiliam no entendimento de suas características e propriedades, assim como na variação espacial dos mesmos na paisagem.

Assim, o estudo da pedogênese abrange todos os processos de desenvolvimento do solo, caracterizado como um sistema natural aberto, em constante evolução em consequência de fenômenos de decomposição, migração e acumulação de substâncias de origens diversas, decorrentes de fatores geológicos, geográficos e biológicos. Então, influenciam na formação do solo: a rocha, o clima, o

relevo, os organismos e o tempo, os quais conduzem aos processos pedogenéticos de adições, perdas, transportes e transformações do solo. Deve-se destacar a ação antrópica que nos últimos anos tem sido considerada um dos principais fatores alteração das propriedades dos solos.

2.4 GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL

Considerando que o estudo da fragilidade ambiental está relacionada a construção de cartas para sua análise, o uso de geotecnologias torna-se fundamental para a execução deste trabalho, pois, facilita a manipulação dos dados e traz maior confiabilidade aos resultados. As geotecnologias são um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referências geográficas. Dentre as geotecnologias existentes, destaca-se a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global (GPS) e o Sistema de Informações Geográficas (ROSA, 2005).

Os SIGs são sistemas cujas principais características são integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélites e modelos numéricos de terrenos; combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados geocodificados (CÂMARA, 1993). Esses instrumentos computacionais do Geoprocessamento permitem a análise complexa de áreas em estudo e tornam possível a produção de documentos cartográficos (ASSAD e SANO, 1998).

A geotecnologia SIG possibilita a avaliação integrada de um grande número de variáveis de forma simples, como é o caso dos estudos de fragilidade ambiental, que necessita de um dos procedimentos mais importantes relacionados à funcionalidade, à execução de sobreposição de camadas de dados espaciais (*overlay mapping*). Segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001, p.42), há pelo menos três grandes maneiras de usar o SIG: como ferramenta para produzir mapas, como suporte para análise de fenômenos e como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial. Têm-se como exemplos de SIG os desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, INPE (SPRING),

pela Clark University (Idrisi), e o que foi utilizado neste trabalho, desenvolvido pela Esri (ArcGis) (*apud* BERNARDO, 2013, p.41).

As ferramentas e metodologias de geoprocessamento possibilitam um estudo integrado da realidade e potencializam os estudos de análise ambiental. De acordo com Xavier (2009), o uso de geoprocessamento na análise ambiental tem propiciado novas formas de relacionamento com os dados ambientais, pois os pesquisadores responsáveis pela análise passam a ter novos meios de contato físico com suas informações, possibilitando a utilização de novas formas de coleta e análise. Goodchild (2003) destaca ainda que a questão ambiental tem sido um motivador na evolução da geoinformação e a sua aplicação em SIG, sendo este de tamanha importância para as disciplinas ambientais que, hoje, elas tendem a considerá-lo como parte indispensável da pesquisa, ensino e políticas.

Devido à necessidade de ampla base de dados espaciais, composta por grande diversidade de mapas e dados de campo, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são de suma importância para a produção do mapa de fragilidade ambiental (FERREIRA, 2003). De acordo com Kawakubo *et al.* (2005), o mapeamento da fragilidade ambiental constitui um dos principais recursos utilizados pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento ambiental. Este produto cartográfico permite a avaliação das potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando as características naturais com as restrições à ocupação.

O conjunto de geotecnologias permite, portanto, a elaboração de mapeamentos para análises ambientais que objetivam inventariar o meio físico sob a ótica das pressões antrópicas exercidas sobre os territórios naturais. E a partir daí, é possível recorrer a diferentes metodologias e abordagens, dependendo do grau de complexidade dos sistemas ambientais. Assim, as geotecnologias têm sido um verdadeiro benefício aos estudos geográficos, pois elas possibilitam o controle da ocupação e o aproveitamento racional dos recursos de determinado território, auxiliando cada vez mais na execução de projetos de levantamento e mapeamento de dados ambientais.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas abordadas neste trabalho estão localizadas no município de Marechal Cândido Rondon (Figura 1), são elas:

- 1- Córrego Peroba (afluente do Arroio Guavirá)
- 2- Cabeceira do Córrego Guavirá (afluente do Arroio Guaçu)
- 3- Curso superior e médio do Córrego Bonito (afluente do Arroio Quatro Pontes)
- 4- Córrego Guará (afluente do Arroio Quatro Pontes)
- 5- Córrego Matilde Cuê (afluente do córrego Arroio Fundo)
- 6- Córrego Borboleta (afluente do córrego Arroio Fundo)
- 7- Córrego Apepú (afluente do córrego Arroio Fundo)

O critério de seleção da área de estudo foi fundamentado na perspectiva de dar continuidade e acrescentar dados e informações aos estudos desenvolvidos na Bacia do Paraná III (Figura 2) no qual o município de Marechal Cândido Rondon faz parte. As pesquisas são desenvolvidas pelo Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais (GEA), formado em 2000, é integrado por professores e alunos do curso de Geografia da Unioeste (campus de Marechal Cândido Rondon), e tem como objetivos principais estudar os elementos naturais e antrópicos que modelam as paisagens, examinar as relações humanas no processo de ocupação do território e estudar as consequências do uso e da ocupação desordenada dos solos das áreas urbanas e rurais.

O Município de Marechal Cândido Rondon está localizado no Extremo Oeste do Terceiro Planalto Paranaense, entre os paralelos de 24° 26' e 24° 46' latitude Sul e 53° 57' e 54° 22' longitude Oeste, com área de 748,002 km² (Figura 1). De acordo com a MINEROPAR (2001), o município faz limite ao norte com o município de Mercedes; a nordeste com Nova Santa Rosa; a leste com Quatro Pontes; a sudeste com Toledo e Ouro Verde do Oeste; a sudoeste com Pato Bragado; ao sul com São José das Palmeiras e Entre Rios do Oeste e com a República do Paraguai (rio Paraná) a oeste (Figura 1).

Conforme a classificação climática de Köppen predomina no município o clima Cfa, subtropical, úmido, mesotérmico com precipitações médias anuais entre 1.600 e

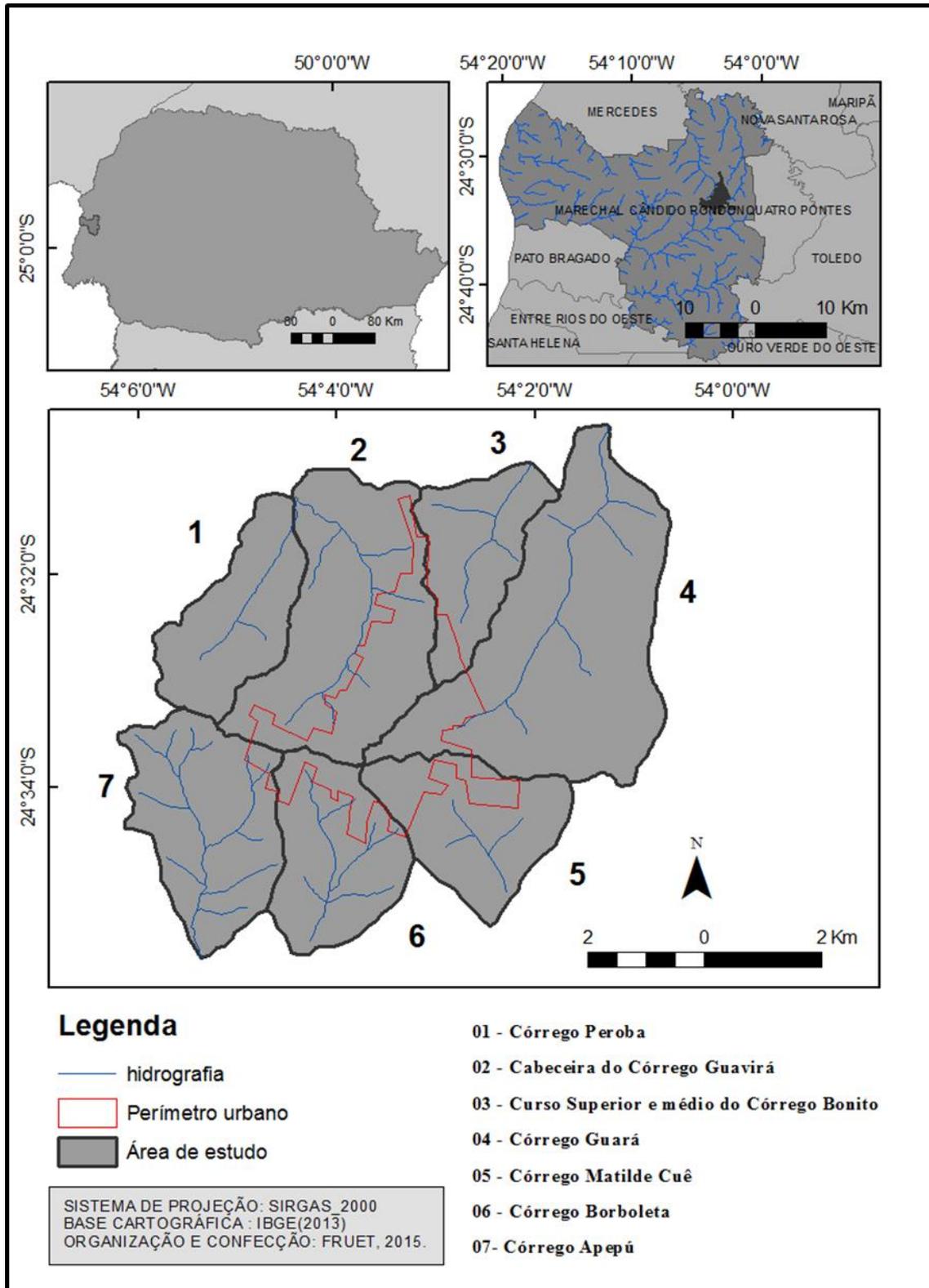


Figura 1 - Localização da área de estudo.

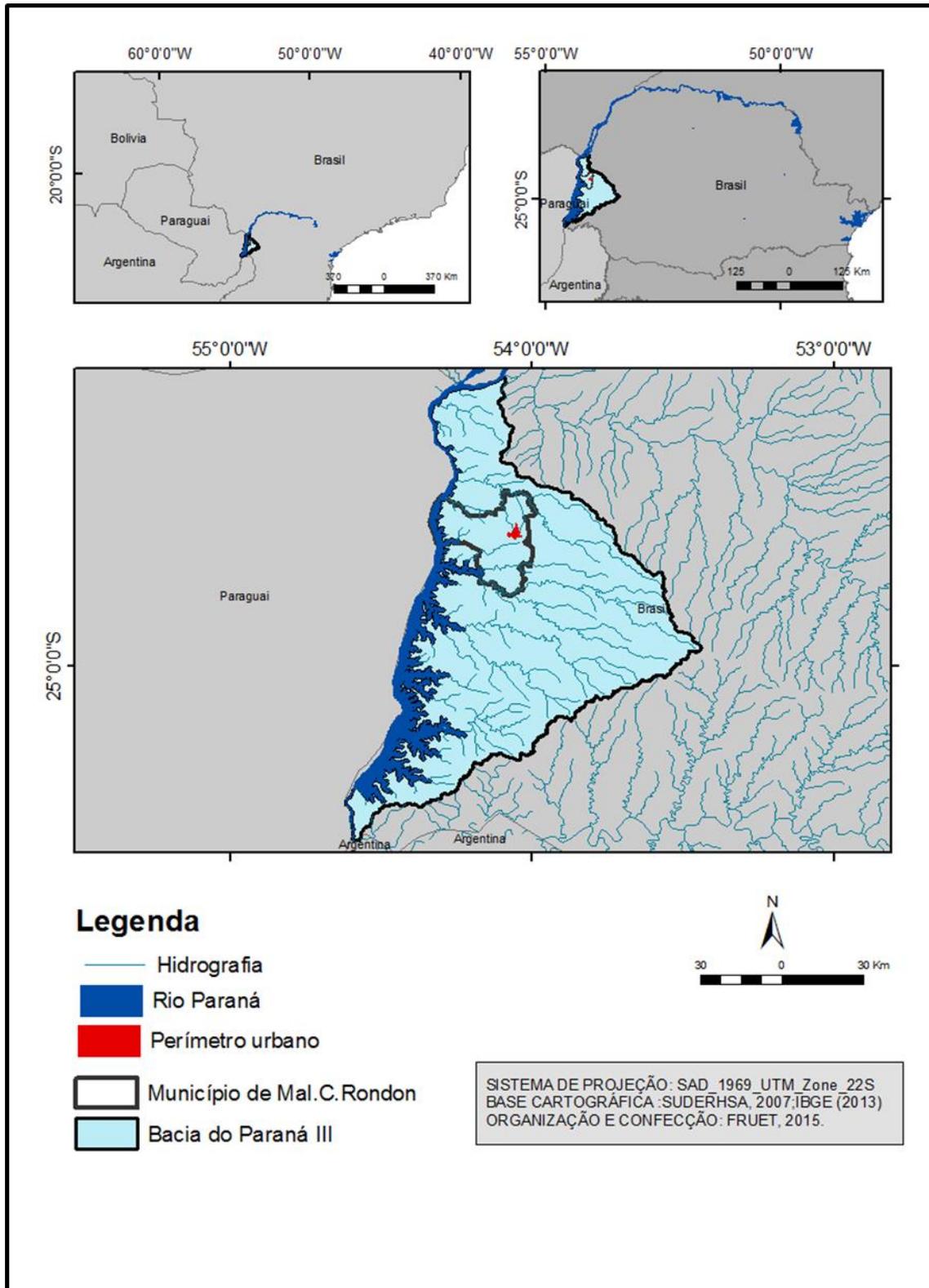


Figura 2 - Localização da Bacia do Paraná III.

1.700 mm (IAPAR, 1994). As temperaturas médias dos meses mais quentes são superiores a 22° C e a dos meses mais frios inferiores a 18°, com verões quentes, geadas pouco frequentes no inverno e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão.

No que se refere à vegetação, destaca-se que a mata nativa sofreu grande devastação no período de colonização (1950), quando a exploração de madeira por serrarias era uma das atividades econômicas mais comuns, ocasionando o desmatamento e quase a extinção da mata original do tipo Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada por árvores de até 30 metros de altura como o Cedro, a Peroba e a Figueira. De modo geral, toda a área coberta com floresta, incluindo reservas legais e mata ciliar, soma em torno de 3,6% de toda a extensão territorial (MORESCO, 2007).

A condição topográfica na área do município denota relevos constituídos por patamares e colinas, denominadas regionalmente de morros, cerros ou pequenas colinas, com cotas médias de 400m a 424m de altitude. Nesse sentido, Janjar (2010) destaca que de acordo, com a proporção aproximada das classes de declividades e tipos de relevos (EMBRAPA, 1999), predominam as formas, suave ondulada.

Na área do município, a rede hidrográfica drena, exclusivamente, em direção ao rio Paraná, com convergência dos canais principais no sentido oeste. Apresenta-se com um grande número de cursos d'água permanentes e intermitentes, em que predomina o padrão de drenagem dendrítico subparalelo (IAPAR, 1994). Entre os principais rios do município, destaca-se o rio São Francisco Verdadeiro ao Sul, o arroio Guaçu ao Norte e o rio Paraná a Oeste (PFLUCK, 2002). Os rios são considerados de planalto, apresentando corredeiras e cachoeiras. A área urbana da cidade de Marechal Cândido Rondon encontra-se localizada no divisor de águas entre as bacias hidrográficas do Arroio Guaçu (ao Norte) e Arroio Fundo (ao Sul), ambos pertencentes à bacia hidrográfica Paraná III (Figura 3).

A estrutura geocológica do município é formada por rochas vulcânicas básicas, oriundas da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), situadas no Terceiro Planalto Paranaense, também conhecido como planalto de Guarapuava. Do ponto de vista geomorfológico o município de Marechal Cândido Rondon está localizado na subunidade morfoescultural do Planalto de Foz do Iguaçu, São Francisco e

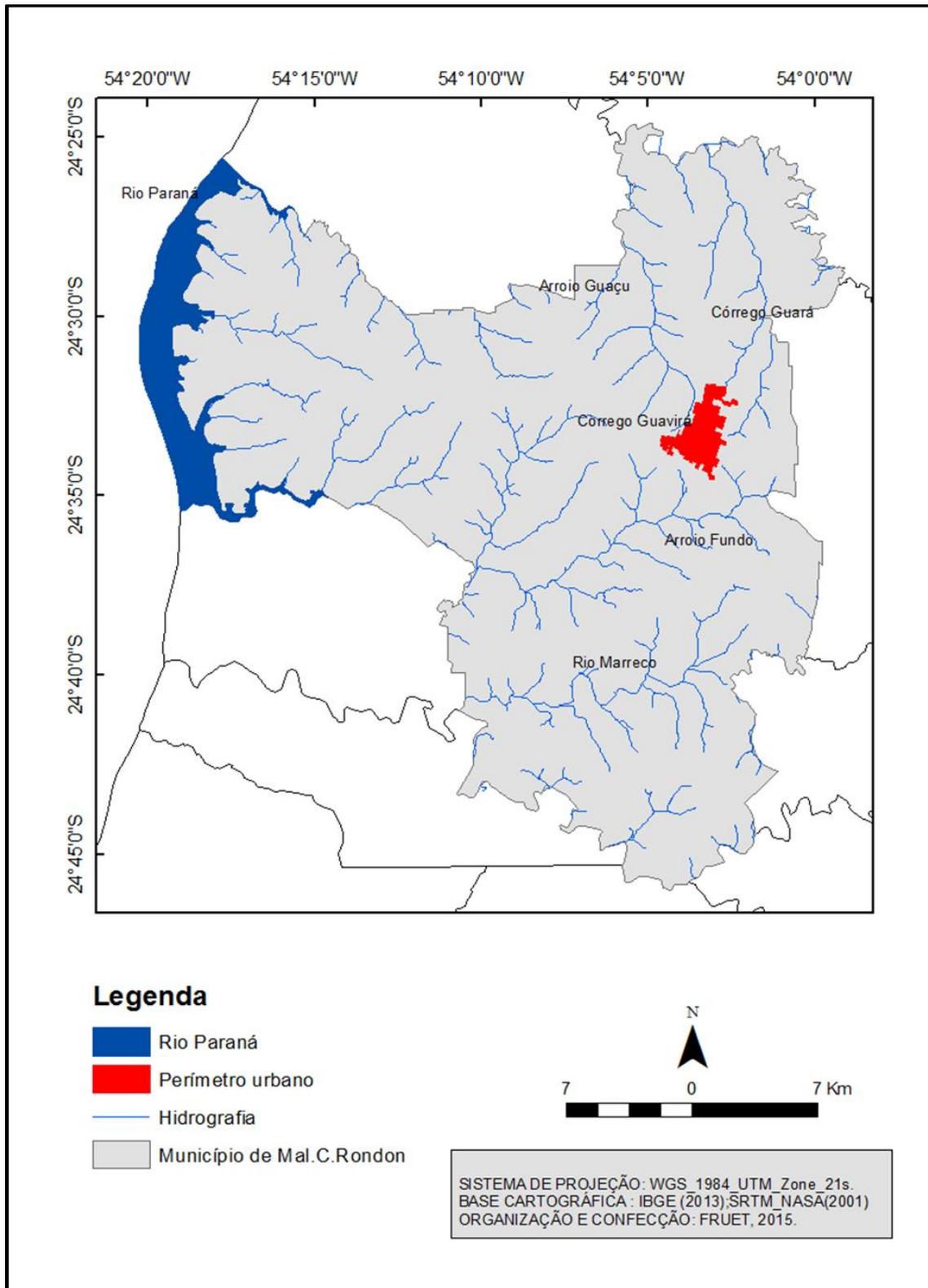


Figura 3 - Rede hidrográfica do Município de Marechal Cândido Rondon.

Cascavel. O Planalto de Foz do Iguaçu é caracterizado por dissecação baixa, topos aplainados, vertentes convexas e vales em V e o Planalto de São Francisco caracterizado por dissecação média, topos alongados, vertentes convexas e vales em V (SANTOS *et al.*, 2006).

Podem ser destacadas quatro unidades de paisagem no município (Figura 4), caracterizadas como: Compartimento Platô (1), dividido em sub-compartimento Platô de Marechal (1a) e sub-compartimento Bela Vista (1b); Compartimento de Blocos Elevados de São Roque/Baitaca (2); Compartimento Rebaixado de Margarida (3); e Compartimento de Porto Mendes (4) –. As bacias hidrográficas deste estudo estão inseridas na unidade de paisagem Platô de Marechal Cândido Rondon definida por Moresco (2007).

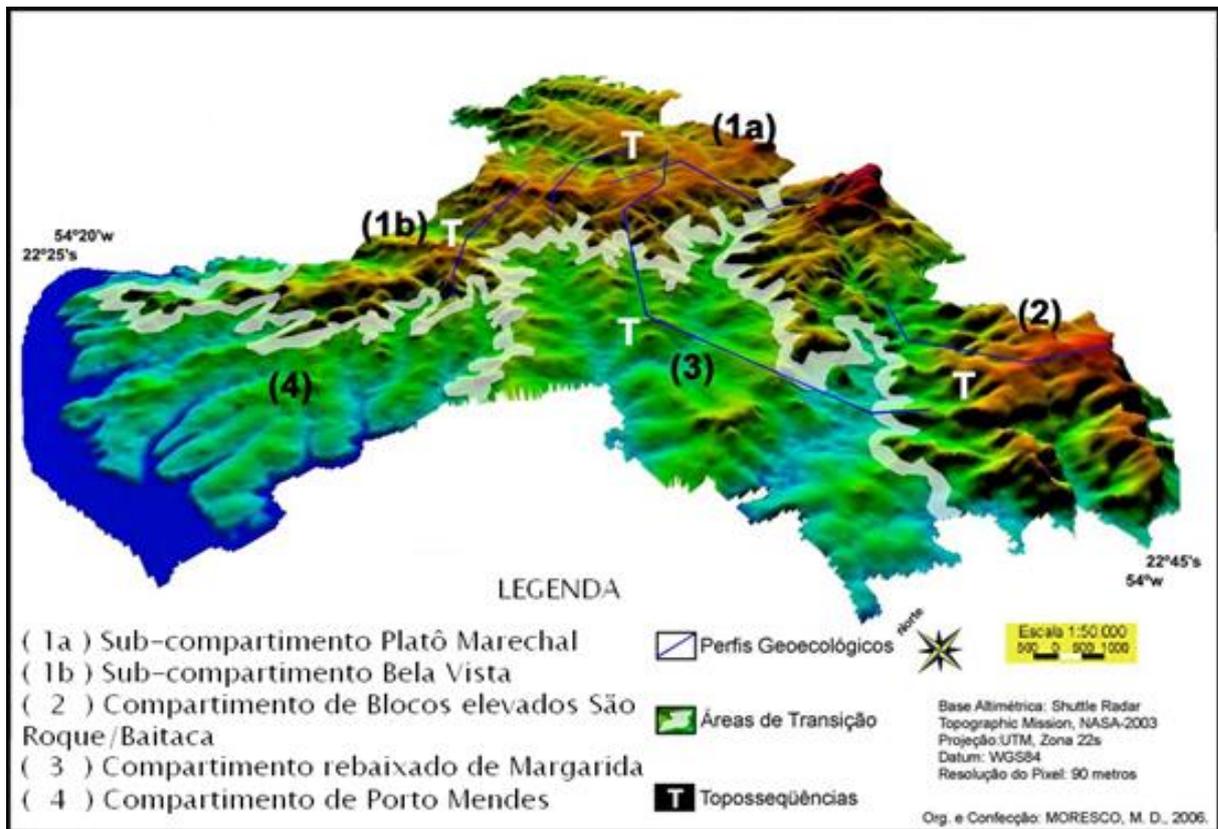


Figura 4 - Identificação dos compartimentos geomorfológicos de Marechal Cândido Rondon. Fonte: MORESCO (2007).

As rochas basálticas afloram na região deram origem aos solos de textura argilosa, denominados de Latossolos Vermelhos (em áreas de topo), Nitossolos Vermelhos (em áreas de média vertente) e, em menor extensão, os Neossolos

Litólicos que ocorrem nas áreas de baixa vertente e, pontualmente, em rupturas de declive em áreas de topo (CUNHA *et al.*, 2004; TIZ, 2009).

Do ponto de vista da distribuição pedológica, são encontrados no município, solos argilosos, geralmente bem desenvolvidos, tais como os NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos (37%), os LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos (23%), os NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos (13%), os LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos (12%), os NEOSSOLOS LITÓLICOS (11%) e, em menor proporção, os GLEISSOLOS HÁPLICOS (2%) e CHERNOSSOLOS (2%) (JANJAR, 2010).

Observam-se diferentes tipos de uso do solo ao longo da paisagem do município, devido às condições ambientais (geologia, clima, hidrografia, relevo e solo) e aos seus aspectos históricos, marcados pelo processo de ocupação ou mesmo pela realidade mais recente da expansão urbana.

A ocupação do município de Marechal Cândido Rondon, esteve diretamente ligada ao projeto da Indústria Madeireira Colonizadora rio Paraná Ltda. (MARIPÁ) que, a partir da aquisição da fazenda Britânia, responsabilizou-se pelo “planejamento” das áreas rurais e urbanas do município. No ano de 1946, a colonizadora MARIPÁ, ordenou toda a ocupação do município, desencadeando o processo de colonização da então fazenda Britânia, dividindo o município em colônias, chácaras e lotes urbanos (PFLUCK, 2002).

Schwertner (2003) aponta que o processo de ocupação, conforme relatos de pioneiros, teve início na década de 1950, verificando-se nos anos seguintes, um avanço dos núcleos populacionais, tanto na zona rural como na zona urbana.

De acordo com Pfluck (2002), as mudanças socioeconômicas ocorridas entre as décadas de 1960 e 1970, por meio da modernização da agricultura, caracterizada pela introdução de implementos e insumos agrícolas, incentivou a monocultura destinada à exportação trigo e soja, e posteriormente de milho, em detrimento da policultura para subsistência (Figura 5).

Essas transformações, mesmo trazendo um aceleração produtivo, ocasionaram sérios problemas ambientais, com consequências tanto para a população rural quanto para a urbana, tais como desequilíbrios da fauna e da flora, compactação do solo, processos erosivos e assoreamento, poluição do solo, da água e do ar, contaminação de plantas e animais. Nesse sentido, é importante destacar que os problemas relacionados ao meio ambiente nas áreas próximas ao

perímetro urbano, começaram a se intensificar a partir da década de 1980, quando a cidade que até então era ocupada nas áreas de topo, consideradas áreas de maior estabilidade, começou a expandir para as áreas de baixa vertente, nas proximidades dos córregos e em fundos de vales (ROCHA, 2011; BADE, 2011; MORESCO, 2007).

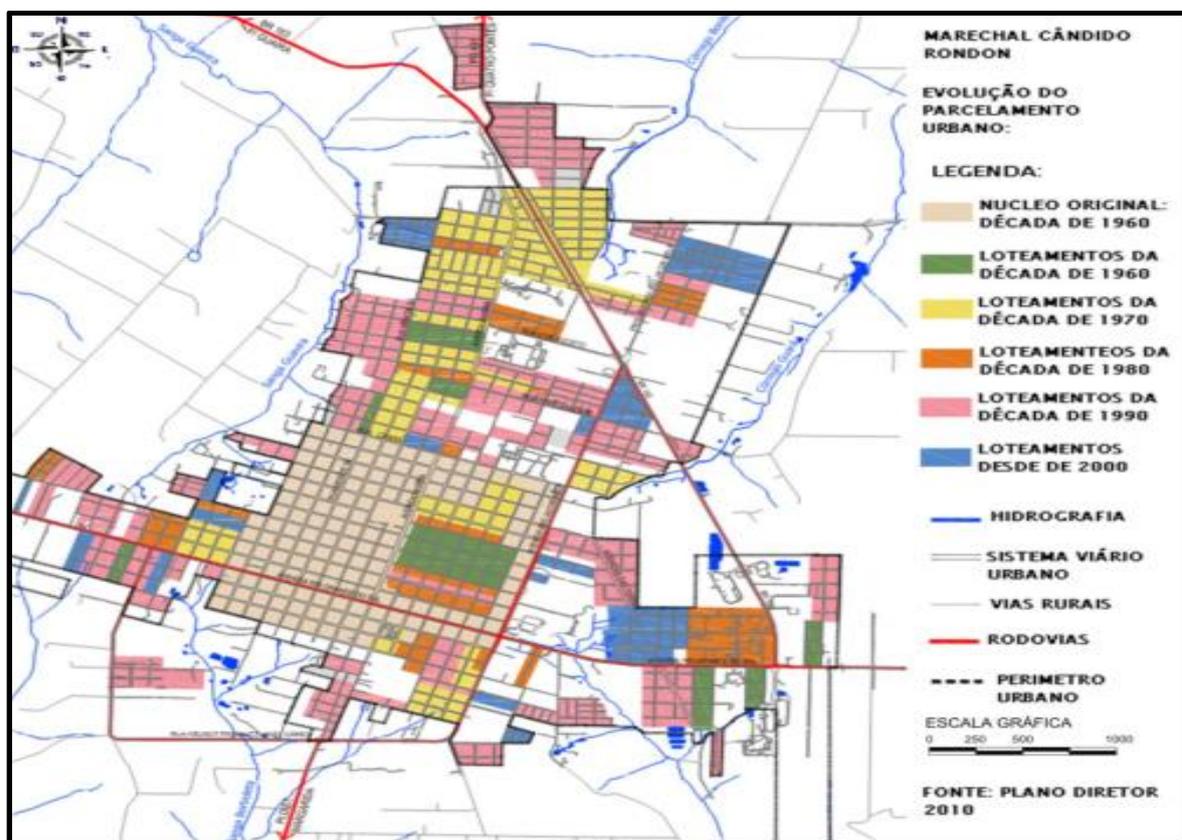


Figura 5 - Evolução do parcelamento urbano de Marechal Cândido Rondon-PR.
 Fonte: PLANO DIRETOR (2010).

Nesse processo, a ocupação urbana, que até então se restringia às áreas de topo, passou a ocupar áreas com menor estabilidade, justificando boa parte dos problemas relacionados à erosão e à degradação das cabeceiras de drenagem da área periurbana da cidade. No início da década de 1990, a porcentagem de área com floresta nativa e capoeira não chegava a 8% da área total do município. Além disso, o uso intenso do solo para a agricultura, aliado à criação de animais, resultou em uma paisagem extremamente antropizada, com pequenas ilhas de vegetação natural (MORESCO, 2007).

Sendo assim, a valorização urbana oriunda da especulação imobiliária, aliada ao êxodo rural, advinda do processo de modernização agrícola, juntamente com desapropriação ocorrida para a construção do reservatório de Itaipu, bem como a

crescente industrialização do município, ocasionou de maneira rápida, um crescente aumento da ocupação de áreas ambientalmente fragilizadas. Assim, deve-se ressaltar que, desde os primeiros processos de ocupação e colonização, até a realidade mais recente referente à expansão urbana, são percebidos desdobramentos socioeconômicos e socioambientais ligados à condição ambiental do município. Nesse sentido, torna-se necessário conhecer de maneira mais ampla os aspectos ambientais que cerca a realidade local (ROCHA, 2011, p.57).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Considerando que a pesquisa desenvolvida tem a preocupação de demonstrar a condição ambiental em que se encontram as bacias hidrográficas de Marechal Cândido Rondon, aplicou-se a metodologia “Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados”, com apoio as classes de declividade, proposta por ROSS (1994). Para a elaboração do material cartográfico necessário neste estudo, foi utilizado o *software ArcGis 9.3®*, com extensão ArcMap desenvolvido pela *ESRI (Environmental Systems Research Institute)*. Para tanto, os procedimentos metodológicos foram realizados em diferentes etapas, a saber:

- Revisão Bibliográfica: inicialmente foram abordados os conceitos de bacias hidrográficas e sua utilização como unidade de estudo para o planejamento ambiental. Na sequência foi realizada uma reflexão teórico-metodológica, contemplando a fragilidade ambiental e os principais conceitos e técnicas utilizadas na análise das fragilidades potencial e emergente.

- Delimitação das bacias hidrográficas e da rede de drenagem: Realizada automaticamente, por intermédio do *software ArcGis 9.3* e, posteriormente, o resultado foi comparado com a carta topográfica: Folha de Marechal Cândido Rondon SG.21-X-B-VI-2 (MI-2816/2), escala 1:50.000, obtida gratuitamente no endereço eletrônico do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG) <http://www.itcg.pr.gov.br/>.

- Carta de Hipsometria e Declividade: para a elaboração das cartas temáticas de declividade e hipsometria foram utilizados os dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) e encontram-se disponibilizados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais por meio do projeto TOPODATA (INPE, 2013).

As imagens SRTM, permitiram extrair as curvas de nível, representativas do terreno, em um intervalo de 10 em 10 metros, possibilitando a elaboração dos mapas temáticos de hipsometria e declividade. Assim, na extensão *ArcMap*, foi criado o modelo digital de elevação (DEM), e a partir das informações tridimensionais da área de estudo foi possível a criação do mapa de declividade gerado, por meio, das ferramentas *surface analyst, slope, output: percent rise (%)*.

Foram utilizadas as classes propostas por Ross (1994): 0 – 6% (muito fraca), 6 – 12% (fraca), 12 – 20% (média), 20 – 30% (forte) e maior que 30% (muito forte).

O Mapa Hipsométrico permitiu representar as variações do terreno através das classes altimétricas, representadas por um sistema de graduação de cores. Na representação cartográfica das classes hipsométricas, na altitude zero, em relação ao nível do mar, deve-se utilizar cores em tons de verde, seguindo de amarelo, vermelho e marrom. Em relação ao número de classes, não há uma convenção estabelecida a representar o terreno (LOCH, 2006)

- Carta de Solos: o mapeamento dos solos nas bacias foi realizado com base nos mapas pedológicos regionais (CALZAVARA, 2015; BADE, 2011; ROCHA, 2011; JANJAR, 2010); na relação solo-relevo-declividade; observações e aferições em campo, com apoio das cartas temáticas (declividade e hipsometria) e do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013). As tonalidades utilizadas para a representação das classes de solos estão conforme a tabela de convenção de cores da EMBRAPA (2013).

- Carta de uso e ocupação do solo: foi elaborada por meio da interpretação de imagens de satélites (Google Earth, 2015;), do ano de 2013 com apoio da interface do ArcGis 9.3® e de sua extensão ArcMap, além de observações e aferições em campo para reconhecimento e verificação das classificações. Para o mapeamento foram definidos os seguintes tipos de uso e ocupação: área urbana consolidada e em expansão, áreas de culturas temporárias e permanentes, áreas de pastagens e campos, mata ciliar e reserva legal. A representação cartográfica foi aplicada de acordo com o manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013).

- Carta de orientação das vertentes: Elaborada a partir das ferramentas do ArcGis9.3® *Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect*. Obtiveram-se as seguintes orientações: norte, nordeste, noroeste, oeste, sul, sudeste, sudoeste e leste. As cores foram aplicadas conforme a orientação das vertentes e insolação recebida, de acordo com a metodologia indicada por De Biasi *et al.* (1977 *apud* Rovani e Cassol)., Assim, as vertentes de orientação norte, nordeste, noroeste e leste receberam cores quentes e as vertentes de orientação sul, sudeste, sudoeste e oeste receberam cores frias devido ao menor recebimento de insolação.

- Carta de curvatura vertical e horizontal das vertentes e da forma do terreno: Utilizaram-se dados geomorfométricos derivados de processamentos efetuados em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Projeto TOPODATA-INPE

disponíveis, gratuitamente (<http://www.dpi.inpe.br/topodata>), em diferentes planos de informação (VALERIANO, 2008), como a curvatura horizontal, a curvatura vertical e das formas do terreno. Depois de identificadas e classificadas as vertentes, estas foram poligonizadas conforme o perfil assumido pelas curvas de nível, conforme proposta de Müller Filho e Sartori (1999), na qual afirmam que as vertentes são retilíneas quando as curvas de nível apresentam igual afastamento entre elas; côncavas quando o afastamento gráfico entre as curvas aumenta à medida que as altitudes decrescem e, convexas quando o afastamento torna-se menor à medida que as altitudes decrescem (CUNICO, 2007).

4.1 APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA DE ROSS (1994)

Esta pesquisa foi elaborada de acordo com a metodologia de Ross (1994), cuja proposta apresenta-se na avaliação da fragilidade ambiental com apoio nas classes de declividade. Utilizando-se da análise de bases cartográficas e cartas temáticas (declividade e solos) determinou-se a fragilidade potencial e, posteriormente, outra variável foi integrada à análise (uso e ocupação do solo) para juntamente com a avaliação da atividade antrópica e da fragilidade potencial, obter a fragilidade emergente.

4.1.1 Carta de fragilidade ambiental potencial

Após elaboração do material cartográfico (cartas temáticas de declividade e solos), cada uma das cartas foi classificada quanto à fragilidade ambiental, a partir de cinco classes de fragilidade: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

Para cada uma das variáveis atribuiu-se valores ou pesos de acordo com suas características físicas (Tabelas 3 e 4), ou seja, valores de 1 a 5, de modo que o dígito 1 corresponde a categoria hierárquica muito fraca e o dígito 5, muito forte. Dessa maneira, com a combinação dos dígitos, classificou-se, em graus, a fragilidade dos ambientes naturais em decorrência da declividade (Tabela 15).

No que se refere à variável solo, foram utilizadas classes de fragilidade baseadas nas características da área de estudo, adaptadas da metodologia

empregadas por Ross (1990 -1994), que consideram o grau de erodibilidade dos solos, em relação ao escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais (Tabela 16).

Tabela 15 - Graus de fragilidade em decorrência da declividade da área de estudo.

Atributo	Graus de fragilidade	Declividade
1	Muito Fraca	< 6%
2	Fraca	6 a 12%
3	Média	12 a 20%
4	Forte	20 a 30%
5	Muito Forte	> 30%

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Tabela 16 - Graus de fragilidade com apoio as classes de solos (ROSS, 1994) da área de estudo.

ATRIBUTO	Classes de Fragilidade (ROSS, 1994)	Classes de Solos (EMBRAPA, 2013)
1	Muito fraca	LATOSSOLOS
2	Fraca	LATOSSOLOS
3	Média	NITOSSOLOS
4	Forte	CAMBISSOLOS
5	Muito Forte	NEOSSOLOS GLEISSOLOS

Fonte: Adaptado Ross (1994).

Como resultado da interpolação dos mapas de declividade e de classes de solos foi gerado o mapa de fragilidade ambiental potencial ou natural. Utilizando-se as cartas das classes de declividade e de solos foram aplicados os métodos de combinação de mapas (álgebra de campo), por meio de sobreposição ponderada (Tabela 17).

No modelo de análise sugerido por Ross (1994) a variável que representa o 1º dígito determina o grau de fragilidade, enquanto que as demais variáveis apenas hierarquizam nuances dessa fragilidade. Deste modo, a variável declividade (inerente ao relevo) determina o grau de fragilidade.

Tabela 17 - Classes de fragilidade potencial da área de estudo.

Atributos	Classes de Declividade (%) (1º dígito)	Tipos de Solos (2º dígito)	Fragilidade Potencial Ambiental
1	<6	Latossolos	Muito Fraca
2	6 a 12	Latossolos	Fraca
3	12 a 20	Nitossolos	Média
4	20 a 30	Cambissolos	Forte
5	>30	Neossolos e Gleissolos	Muito Forte

Fonte: adaptado Ross (1994).

A variável clima, no que diz respeito às características pluviométricas, não foi aplicada em função do caráter local da área de estudo, sob influência do mesmo tipo climático. No entanto, é válido ressaltar que as informações climatológicas, especialmente aquelas relacionadas às precipitações, também constituem um fator relevante para a análise da fragilidade ambiental, na medida em que estas exercem ação direta na dinâmica do sistema ambiental. A distribuição das precipitações regula o regime hídrico e exerce influência direta na evolução das formas do relevo por meio do intemperismo e erosão, principalmente pluvial e fluvial (MASSA e ROSS, 2012).

As características climáticas e geológicas são semelhantes em toda a área de estudo, ou seja, sem diferenciações expressivas. Assim, as informações de geologia e clima são utilizadas em conjunto com as demais como informações adicionais, incorporadas na análise dos resultados.

4.1.2 Carta de fragilidade ambiental emergente

A elaboração da carta de fragilidade ambiental emergente pressupõe a obtenção do grau de proteção por tipos de cobertura vegetal e uso do solo (Tabela18), descritos na metodologia empregada por Ross (1990 e 1994). Nesse processo, as cartas de uso do solo e de fragilidade potencial são imprescindíveis.

Os dados sobre a fragilidade potencial e sobre o uso e ocupação do solo foram cruzados e interpretados, criando condições para construção da carta de fragilidade ambiental emergente (Tabela 19).

Tabela 18 - Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal e uso do solo da área de estudo.

Atributo	Graus de Proteção	Uso e ocupação do solo
1	Muito Alta	Mata ciliar, Reserva Legal
2	Alta	Pastagens /Campos
3	Média	Culturas permanentes
4	Baixa	Culturas temporárias
5	Muita Baixa	Áreas urbanas consolidadas, Áreas urbanas em expansão.

Fonte: adaptado Ross (1994).

Tabela 19 - Classes de fragilidade emergente da área de estudo.

Atributos	Fragilidade potencial ambiental	Uso e ocupação do solo	Fragilidade emergente
1	Muito Fraca	Mata ciliar, Reserva Legal	Muito Fraca
2	Fraca	Pastagens /Campos	Fraca
3	Média	Culturas permanentes	Média
4	Forte	Culturas temporárias	Forte
5	Muito Forte	Áreas urbanas consolidadas, Áreas urbanas em expansão.	Muito forte

Fonte: adaptado de Ross (1994).

Os procedimentos metodológicos descritos para a obtenção dos mapas de fragilidade ambiental e emergente foram realizados utilizando o software Arcgis 9.3 com as ferramentas “*Spatial Analyst*”, por meio da sobreposição ponderada (*Weighted Overlay*) dos atributos, ou seja, atribuindo-lhes, além dos códigos de fragilidade, os valores em porcentagem da influência que eles exercem sobre os processos ambientais em análise.

Em síntese, a análise da fragilidade ambiental das bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon será realizada por meio de um produto cartográfico, gerado a partir de cartas que representam diferentes fatores que exercem influência sobre o ambiente. Como unidade de estudo, a bacia hidrográfica é considerada adequada para fins de gestão e planejamento ambiental, por apresentarem informações que vão além dos aspectos hidrológicos. Possibilita, ainda, a visualização conjunta de todos os elementos da paisagem, isto é: solo, relevo, vegetação, clima, geologia, rede de drenagem e ação antrópica (SOUZA e FERNANDES, 2000).

5 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

Com uma área total de 58,7 km², as sete (07) bacias hidrográficas selecionadas serviram de base para dar continuidade às pesquisas de cunho ambiental, com acréscimo de dados e informações aos estudos desenvolvidos por pesquisadores do Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais - GEA, na Bacia Hidrográfica do Paraná III.

A compreensão da situação ambiental de uma determinada área necessita de uma análise integrada dos elementos que compõem o seu quadro natural e seus aspectos antrópicos. No intuito de contribuir com esta questão, a presente pesquisa, utilizando a proposta metodológica de Ross (1990), propôs analisar as bacias hidrográficas periurbanas do município de Marechal Cândido Rondon e apresentar a situação ambiental em que se encontram.

Neste sentido, partiu-se da análise de seus aspectos físico-naturais e antrópicos que constituem importantes instrumentos para a determinação do grau de fragilidade ambiental, seja ela potencial ou emergente. Desta maneira, a descrição e análise da rede de drenagem, geologia, clima, declividade, vertentes, dos tipos de solos, seu uso e ocupação foram os principais parâmetros, considerados e apresentados neste estudo, os quais são indicados para avaliar o comportamento das bacias hidrográficas, considerando a atuação integrada desses fatores.

5.1 CLIMA (ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS)

Segundo o modelo proposto por Ross (1994), os elementos do clima, principalmente a precipitação, são de fundamental importância para a análise da fragilidade em função da sua ação direta na dinâmica do sistema ambiental. A ação das chuvas, quando concentradas em pequenos períodos, é um importante elemento modificador por regular e ativar todos os processos morfodinâmicos, contribuindo diretamente para acelerar os processos erosivos.

As principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos são: a pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição

sazonal. Dentre as três características a mais importante é a intensidade pluviométrica, pois representa a relação entre as outras duas características (quanto chove/quando chove), resultando na quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética. Isto quer dizer que quanto maior for a intensidade pluviométrica, maior será a erosividade da chuva (SPORL, 2007,p.91).

A chuva é um dos elementos climáticos que interfere e modifica a paisagem. A maior incidência de precipitação pluvial ocorre nos espaços urbanos, visto que são espaços com intensa radiação solar e elevadas temperaturas decorrentes da pavimentação e de ausência de vegetação, fatores estes que aumentam os núcleos de condensação. Ao abordar a fragilidade ambiental, a chuva acarreta sérios problemas ambientais, ocasionando o aumento das forças solicitantes e, conseqüentemente, o cisalhamento dos solos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Desta forma, a distribuição e a intensidade das chuvas ao longo do ano são fatores decisivos no processo de intemperismo de rochas e solos sendo, portanto, fundamentais para a análise da fragilidade ambiental (SPÖRL, 2007). Em estudos realizados por Ewald e Limberger (2011), foi possível caracterizar o regime pluviométrico médio mensal de 1941 a 2008, no município de Marechal Cândido Rondon, como sendo de alta variabilidade, oscilando entre o período de maior concentração e aumento do volume chuvas e por períodos em que houve pouco volume de chuvas. Segundo os autores, ao longo da série histórica analisada, apenas em duas ocasiões, a precipitação foi superior a 2500 mm e, entre esses dois eventos de elevada precipitação, há um intervalo temporal de 42 anos, o primeiro em 1941 e o segundo em 1983. Durante o ano de 2015 os dados pluviométricos demonstram uma concentração de chuvas durante os meses de novembro e dezembro.

A partir das informações pluviométricas anuais a área de estudo pode ser caracterizada de média a forte fragilidade ambiental (Tabela 6). Para sua análise, devemos levar em consideração que é o poder de reação do solo face à erosividade da chuva que determina a suscetibilidade ou a fragilidade em relação à erosão.

Segundo Guerra e Botelho (1996, pág.101) as propriedades físicas do solo possuem um papel significativo para compreender a maior ou menor erodibilidade, assim, a argila é a fração granulométrica que oferece maior resistência à erosão devido à sua coesão, em especial quando combinada com matéria orgânica, forma agregados estáveis, que também oferecem resistência à ação da água.

5.2 HIPSOMETRIA E DECLIVIDADE

As bacias hidrográficas estudadas apresentam cota altimétrica mínima de 280 m e máxima de 480 metros que estão distribuídas da seguinte forma: 370-400m (17,8 km²), 340-370m (9,12km²), >400m (5,48km²), 310-340m (4,2km²) e 280-310 m (1,2 km²) (Figura 6). As bacias 6 (Córrego Borboleta) e 7 (Córrego Apepú) apresentam área com altitudes entre 280 e 310m. Nas demais bacias as altitudes estão acima de 310m. As áreas com cotas acima de 400m se destacam nas bacias do córrego 1 (Peroba), 2 (Guavirá) e 4 (Guará).

A carta de hipsometria contribuiu para compreender o padrão de rede de drenagem, as características das formas de relevo, a amplitude topográfica, a altitude e a possibilidade de enchentes, a partir da velocidade do escoamento superficial das águas pluviais.

Conforme discutido por Christofolletti (1980), a análise da declividade das vertentes possibilita evidenciar a distribuição das inclinações de uma superfície do terreno na paisagem. Esta é uma característica importante na análise do balanço morfogênese/pedogênese, uma vez que a inclinação das vertentes representa um dos fatores que contribui na instabilidade das encostas, ocasionada pelo fluxo torrencial do escoamento que se dá na superfície, acarretando consequentes processos erosivos e movimentos coletivos de materiais. Dessa forma, os processos erosivos podem ser acelerados a partir do grau de inclinação de uma vertente.

A declividade, juntamente com o tipo de solo, o comprimento de rampa, a cobertura do solo, a morfologia das vertentes, entre outros fatores, auxiliam na compreensão da ação erosiva. A partir do percentual de declividade, as águas das chuvas podem escoar mais rapidamente, atingindo o leito do rio em pouco tempo. Esta aceleração, aliada aos fatores acima mencionados, pode contribuir, por exemplo, para a erosão de alguns setores e deposição em outros, fortalecendo a relação entre a perda e a formação dos solos.

Nas sete bacias hidrográficas, de acordo com as classes de declividade apresentadas por Ross (1990), predominam as classes entre 0 e 12% correspondendo a 46,5% da área de estudo, em seguida a classe de 6-12%, posteriormente a de 12-20%, depois a de 20-30% e, por fim, a classe superior a 30% (Figura 7 e Tabela 20).

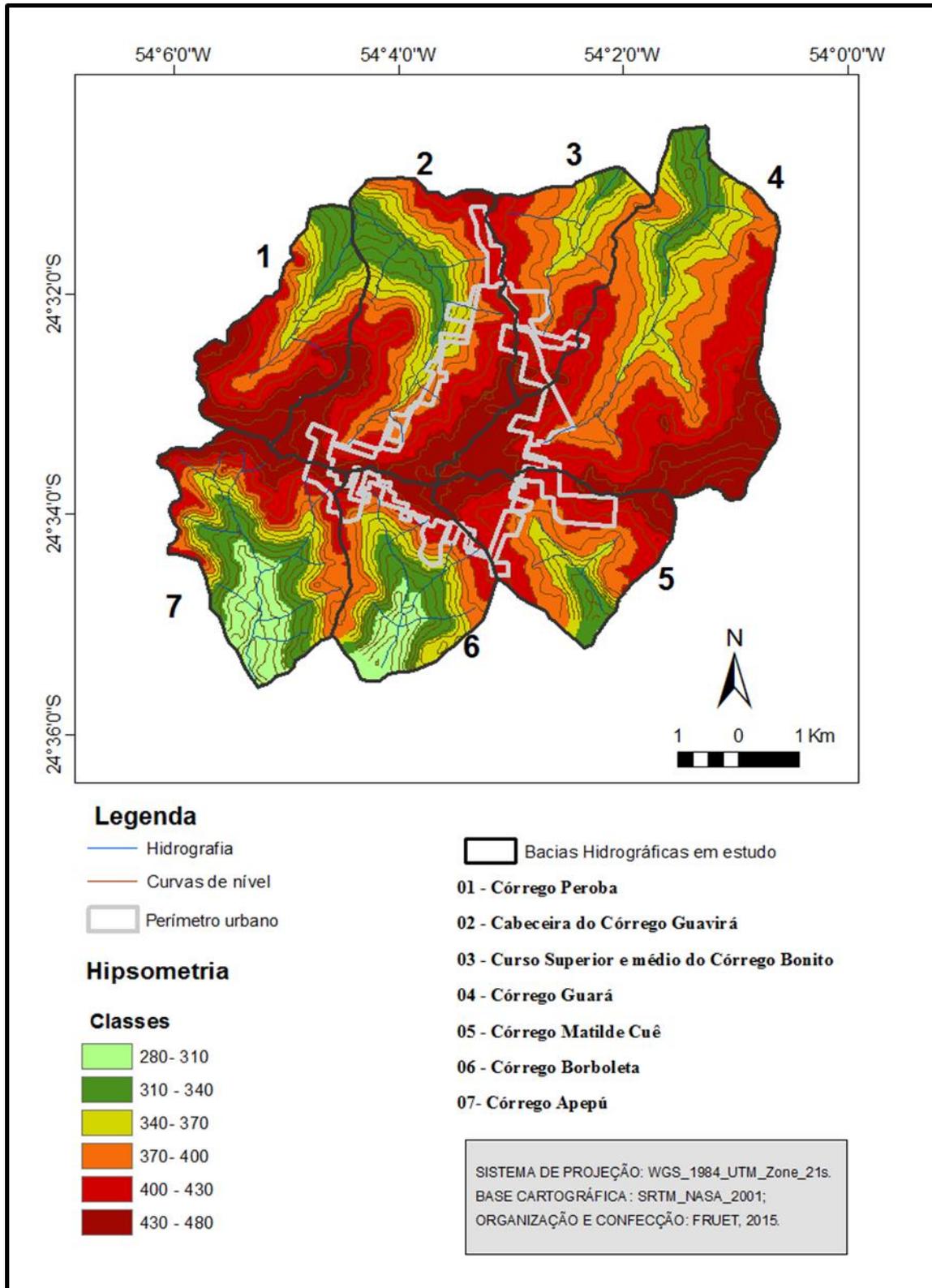


Figura 6 - Mapa de hipsometria da área de estudo.

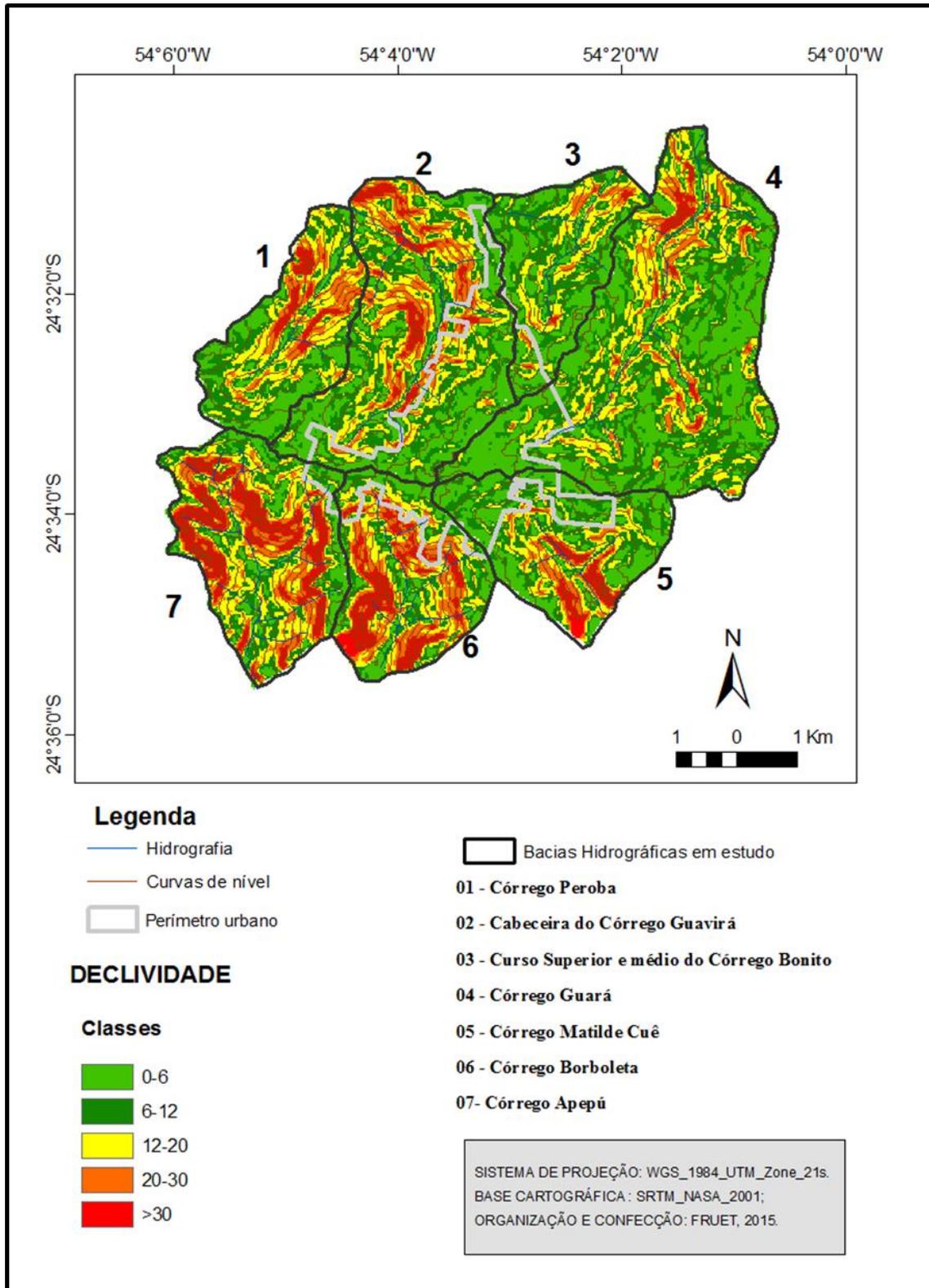


Figura 7 - Mapa de declividade da área de estudo.

Tabela 20 - Classes de declividade das bacias hidrográficas periurbanas.

Bacias hidrográficas	Área	Classes de declividade (%)						Total da área por bacia
		0-3	03-12	06-12	12-20	20-30	>30	
1 Córrego Peroba	km ²	1,1	2,02	1,3	0,78	0,28	0,06	5,54
	%	19,8	36,4	23,4	14	5,05	1,08	100
2 Córrego Guavirá	km ²	1,55	4,35	2,95	1,9	0,64	0,3	11,6
	%	13,2	37,2	25,2	16,2	5,47	2,56	100
3 Córrego Bonito	km ²	2,02	1,7	1,0	0,28	0,03	0,0	5,03
	%	40,1	33,7	19,8	5,56	0,84	0,0	100
4 Córrego Guará	km ²	5,52	5,41	3,5	1,3	0,45	0,05	16,2
	%	34	33,3	21,5	8,0	2,77	0,3	100
5 Córrego Matilde-Cuê	km ²	1,43	2,75	1,0	0,57	0,32	0,09	6,16
	%	23,2	44,6	16,3	9,25	5,6	1,05	100
6 Córrego Borboleta	km ²	1,4	1,1	1,34	1,2	0,87	0,25	6,16
	%	22,7	17,8	21,7	19,4	14,1	4,03	100
7 Córrego Apepú	km ²	1,67	1,69	1,94	1,44	1,21	0,05	7,95
	%	20,7	21,1	24,4	18,1	15,2	0,39	100
Total da área das bacias	km ²	14,5	19	13	7,47	3,8	0,8	58,7
	%	24,7	32,4	22,1	12,7	6,47	1,5	100

Org.: FRUET (2015)

As classes de declividades de 20-30% (Tabela 20), apesar da baixa representatividade nas bacias, denotam a transição gradual entre os segmentos de vertente, pouco marcados por rupturas abruptas. As declividades acima de 30% ocorrem em locais referentes às áreas íngremes com afloramentos rochosos. As classes acima de 12% de declividade estão mais bem representadas nas bacias dos córregos Borboleta e Córrego Apepú.

5.3 VERTENTES

Como já mencionado anteriormente, Dylík (1968) *apud* Bigarella *et al.* (2007) associa o conceito de vertente à noção de processos. Desta forma, a vertente é apresentada como um elemento tridimensional modelado pelos processos de denudação atuantes, tanto no passado como no presente, representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale. As vertentes caracterizam o relevo de um local e são diretamente alteradas pela ação antrópica.

As características da vertente (forma, comprimento, declividade, geometria) estão entre uma série de fatores controladores da distribuição dos processos

erosivos de uma bacia hidrográfica e, conseqüentemente, de sua fragilidade ambiental. Sua importância para o desencadeamento da erosão advém do fato da topografia condicionar a intensidade e direção dos fluxos hídricos pluviais, que por sua vez são os principais agentes erosivos no meio tropical úmido (GUERRA, 1994; LEPSCH, 2002). A compreensão de como os atributos topográficos atuam sobre esses processos resulta na busca de soluções para minimizar os impactos da ação humana no meio.

Considerando que a geometria das vertentes atua direta e indiretamente no escoamento superficial e no desenvolvimento dos processos erosivos, apresentando uma relação com a avaliação da fragilidade ambiental, foi elaborado o mapa da curvatura vertical que ilustra a disposição da forma das vertentes das bacias hidrográficas periurbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon (Tabela 21 e Figura 8).

Tabela 21 - Curvatura vertical das bacias hidrográficas periurbanas.

Bacias hidrográficas	Área	Curvatura Vertical			Total da área por bacia
		Convexa	Côncava	Retilínea	
Córrego Peroba	km ²	2,44	1,6	1,5	5,54
	%	44,0	28,9	27,1	100
Córrego Guavirá	km ²	5,7	4,34	1,65	11,69
	%	48,8	37,1	14,1	100
Córrego Bonito	km ²	3,1	1,02	0,89	5,01
	%	61,88	20,36	17,76	100
Córrego Guará	km ²	6,94	5,31	3,98	16,23
	%	42,76	32,72	24,52	100
Córrego Matilde-Cuê	km ²	2,17	2,31	1,68	6,16
	%	35,23	37,50	27,27	100
Córrego Borboleta	km ²	2,7	1,94	1,5	6,14
	%	43,97	31,60	24,43	100
Córrego Apepú	km ²	2,72	3,47	1,76	7,95
	%	34,21	43,65	22,14	100
Total da área das bacias	km ²	25,77	19,99	12,96	58,7
	%	43,89	34,04	22,07	100

Org.: FRUET (2016).

Outro aspecto referente às vertentes diz respeito à curvatura horizontal e ao direcionamento dos fluxos de água orientados pela forma da vertente.

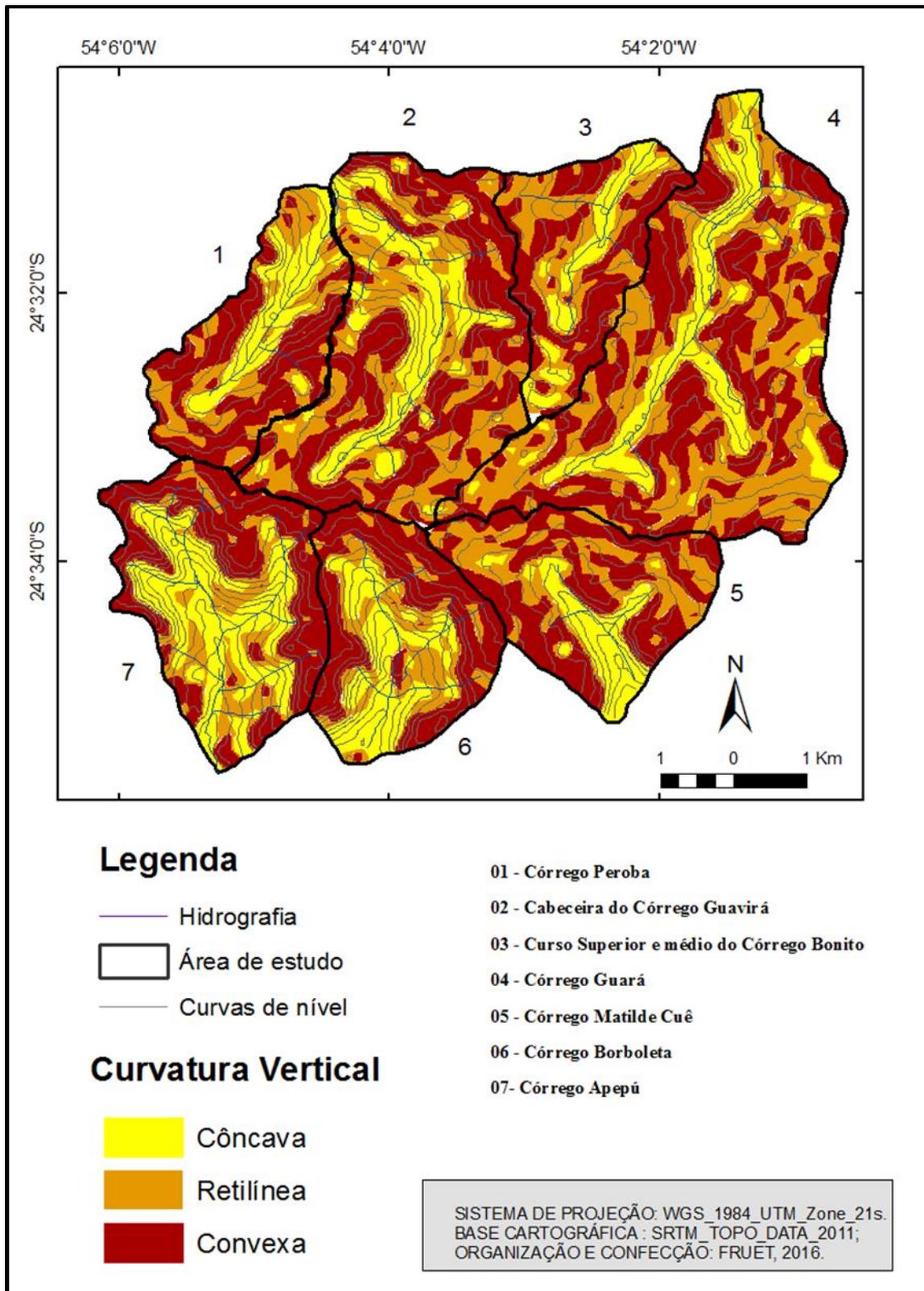


Figura 8 - Mapa da curvatura vertical da área de estudo.

Bloom (1970; apud NETO, 2011) definiu as encostas, com relação à curvatura horizontal, em “coletoras de água” (vertentes convergentes) e “distribuidoras de água” (vertentes divergentes). Assim, a curvatura horizontal das vertentes indica as áreas de escoamento superficial divergente e convergente, de modo que as vertentes de fluxos concentrados (convergente) tendem ao transporte de partículas maiores, em relação àquelas movidas pelo escoamento laminar difuso (divergente) (BIGARELLA, 2003).

Verificou-se que 22,27% da área estudada apresentam segmentos das vertentes com curvatura horizontal convergente, ou seja, com maior potencial de transporte de partículas maiores e à erosão pluvial. Outro aspecto verificado é que 13,44% das bacias hidrográficas apresentaram vertentes com curvatura horizontal planar que corresponde a uma classe intermediária entre as vertentes convergentes e divergentes. As vertentes com curvatura horizontal divergente foram observadas em 22,89% da área de estudo e caracterizam-se por apresentar geometria que tendem à distribuição dos fluxos de água e menor capacidade de transporte das partículas do solo (Tabela 22 e Figura 9).

Tabela 22 - Classes de curvatura horizontal das bacias hidrográficas periurbanas.

Bacias hidrográficas	Área	Curvatura Horizontal			Total da área por bacia
		Convergente	Planar	Divergente	
Córrego Peroba	km ²	0,82	0,94	3,18	5,54
	%	34,3	19,9	45,8	100,
Córrego Guavirá	km ²	4,7	2,89	3,77	11,6
	%	51,4	19,2	29,4	100
Córrego Bonito	km ²	1,7	1,61	1,96	5,01
	%	55,49	17,96	26,55	100
Córrego Guará	km ²	5,9	3,76	6,51	16,23
	%	43,01	20,76	36,23	100
Córrego Matilde-Cuê	km ²	2,32	1,72	2,33	6,16
	%	55,19	17,21	27,60	100
Córrego Borboleta	km ²	2,23	1,85	2,27	6,14
	%	53,91	19,38	26,71	100
Córrego Apepú	km ²	4,6	0,67	2,87	7,95
	%	71,70	0,10	28,20	100
Total da área das bacias	km²	22,27	13,44	22,89	58,7
	%	38,00	22,94	39,06	100,0

Org.: FRUET (2016)

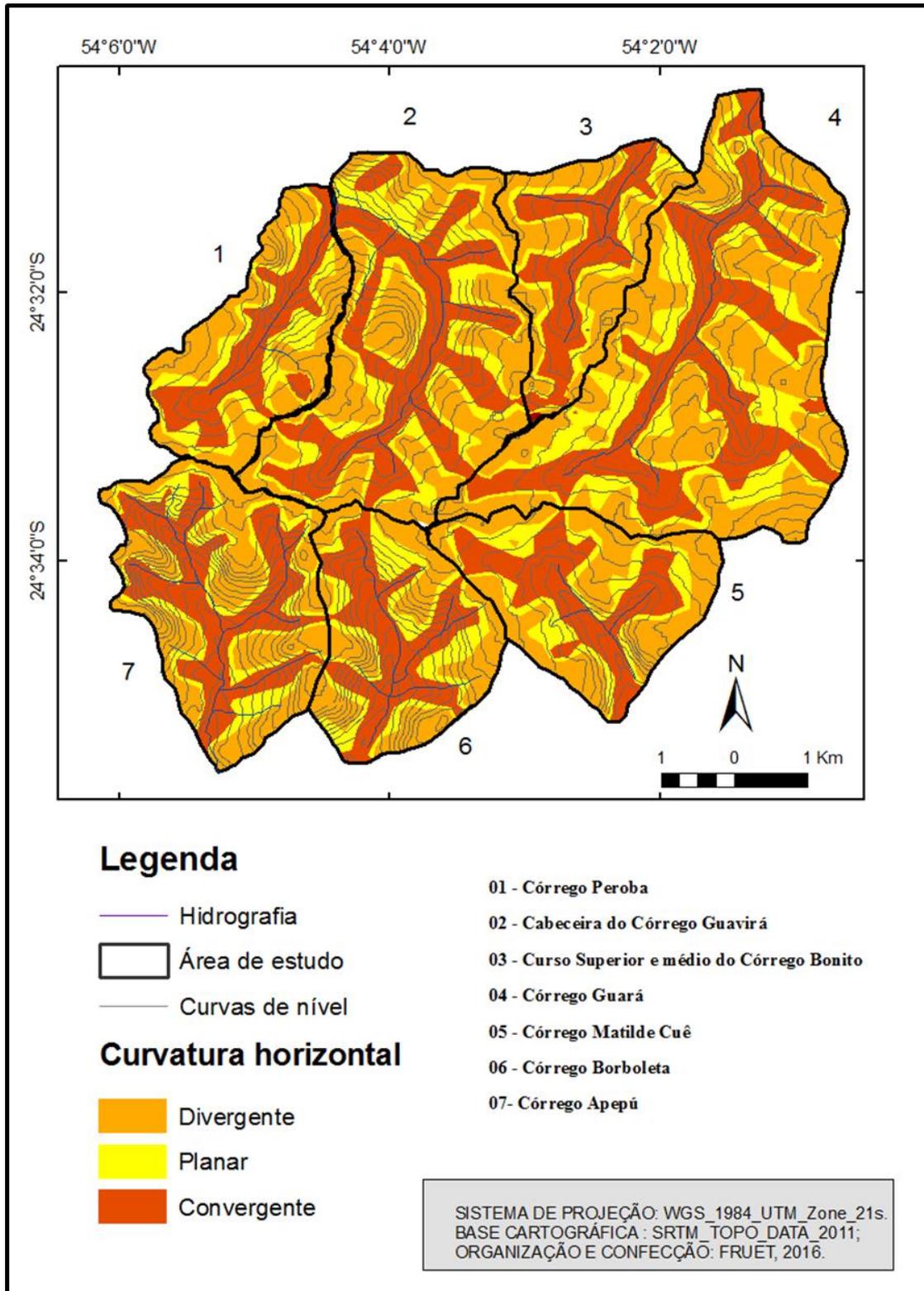


Figura 9 - Mapa da curvatura horizontal da área de estudo.

A combinação entre aos dados sobre a curvatura vertical e horizontal resultam na forma do terreno. É como um produto final da associação da curvatura vertical (côncavo, retilíneo e convexo) e curvatura horizontal (convergente, planar e divergente), estabelecendo-se nove classes distintas para as formas do terreno (VALERIANO, 2008). A classe de forma divergente retilínea predomina na área de estudo abrangendo 18,49 km², o que corresponde a 34,7% do total. Em seguida, a forma convergente retilínea apresenta-se em 24,6% da área total; e em terceiro está a classe de forma planar retilínea em 15,6% da área total das bacias (Tabela 23 e Figura 10).

Ainda em relação às vertentes, estas possuem um caminho esperado de escoamento que costuma ser chamado de linhas de fluxo, ou seja, sua orientação (VALERIANO, 2008) O mapa de orientação de vertentes, tem por finalidade demonstrar a quantidade de insolação que a área recebe durante o dia. Sua influência reflete significativamente nos usos e ocupação do solo, visto que as vertentes voltadas para os quadrantes norte, nordeste e noroeste recebem mais insolação em relação às demais (Figura 11 e Tabela 24).

De acordo com Saydelles e Sartori (2007), durante a movimentação aparente do sol ao longo do ano no hemisfério sul, nas áreas tropicais o sol atinge o zênite durante o solstício de verão e nas áreas equatoriais, durante os equinócios de primavera e outono. Assim sendo,

as áreas localizadas nas regiões subtropicais apresentam menor incidência quanto à insolação anual, pois os raios solares atingem a região formando um ângulo sempre menor que 90° durante o ano inteiro. Por isso, nas regiões subtropicais austrais as vertentes inclinadas para norte recebem maior insolação do que as vertentes orientadas para sul. Desse modo, com a movimentação aparente diária do Sol, a insolação acentua-se diferentemente de leste para oeste, proporcionando o gradativo aquecimento do ar. Assim, as vertentes orientadas para o quadrante leste, recebem a insolação pela parte da manhã e apresentam as temperaturas em elevação; as vertentes orientadas para o quadrante norte recebem intensa insolação ao meio dia, horário em que as temperaturas já são mais altas; as vertentes voltadas para o quadrante oeste recebem a insolação mais intensa pela parte da tarde, cujas temperaturas são mais elevadas, principalmente nos dias de verão; e as vertentes voltadas para o quadrante sul recebem pouca insolação devido à inclinação dos raios solares (ROVANI & CASSOL, 2012.p.39)

Tabela 23 - Forma do terreno das bacias hidrográficas periurbanas.

Forma do terreno	Bacias Hidrográficas														Área total por bacia	
	Peroba		Guavirá		Bonito		Guará		Matilde -Cuê		Borboleta		Apepú		km ²	%
Classes	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Convergente cônica	0,39	7,0	0,98	8,4	0,47	9,4	1,11	6,90	0,44	7,10	0,41	6,70	1	12,60	4,8	8,2
Convergente retilínea	1,4	25,60	3,1	26,50	1,01	20,20	4,53	28,0	1,05	17,0	1,12	18,20	2,2	27,70	14,43	24,6
Convergente convexa	0,03	0,50	0,13	1,10	0,06	1,20	0,13	0,80	0,1	1,60	0,25	4,10	0,34	4,30	1,04	1,8
Planar cônica	0,14	2,50	0,37	3,20	0,03	0,60	0,22	1,40	0,16	2,60	0,22	3,60	0,29	3,60	1,43	2,4
Planar retilínea	1,01	18,20	1,08	9,20	1,13	22,6	3	18,50	0,98	15,90	1,08	17,60	0,87	10,90	9,15	15,6
Planar convexa	0,07	1,30	0,18	1,50	0,01	0,20	0,74	4,60	0,05	0,80	0,17	2,80	0,26	3,30	1,48	2,5
Divergente cônica	0,18	3,20	0,16	1,40	0,03	0,60	0,24	1,50	0,1	1,60	0,13	2,10	0,39	4,90	1,23	2,1
Divergente retilínea	1,9	34,30	4,74	40,50	1,89	37,70	5,35	33,0	2,78	45,10	2,11	34,40	1,6	20,10	20,37	34,7
Divergente convexa	0,4	7,20	0,95	8,10	0,38	7,60	0,88	5,40	0,5	8,10	0,65	10,6	1	12,60	4,76	8,1
Área total das bacias	5,54	100	11,69	100	5,01	100,	16,2	100	6,16	100	6,14	100	7,95	100	58,7	100

Fonte: Fruet (2015)

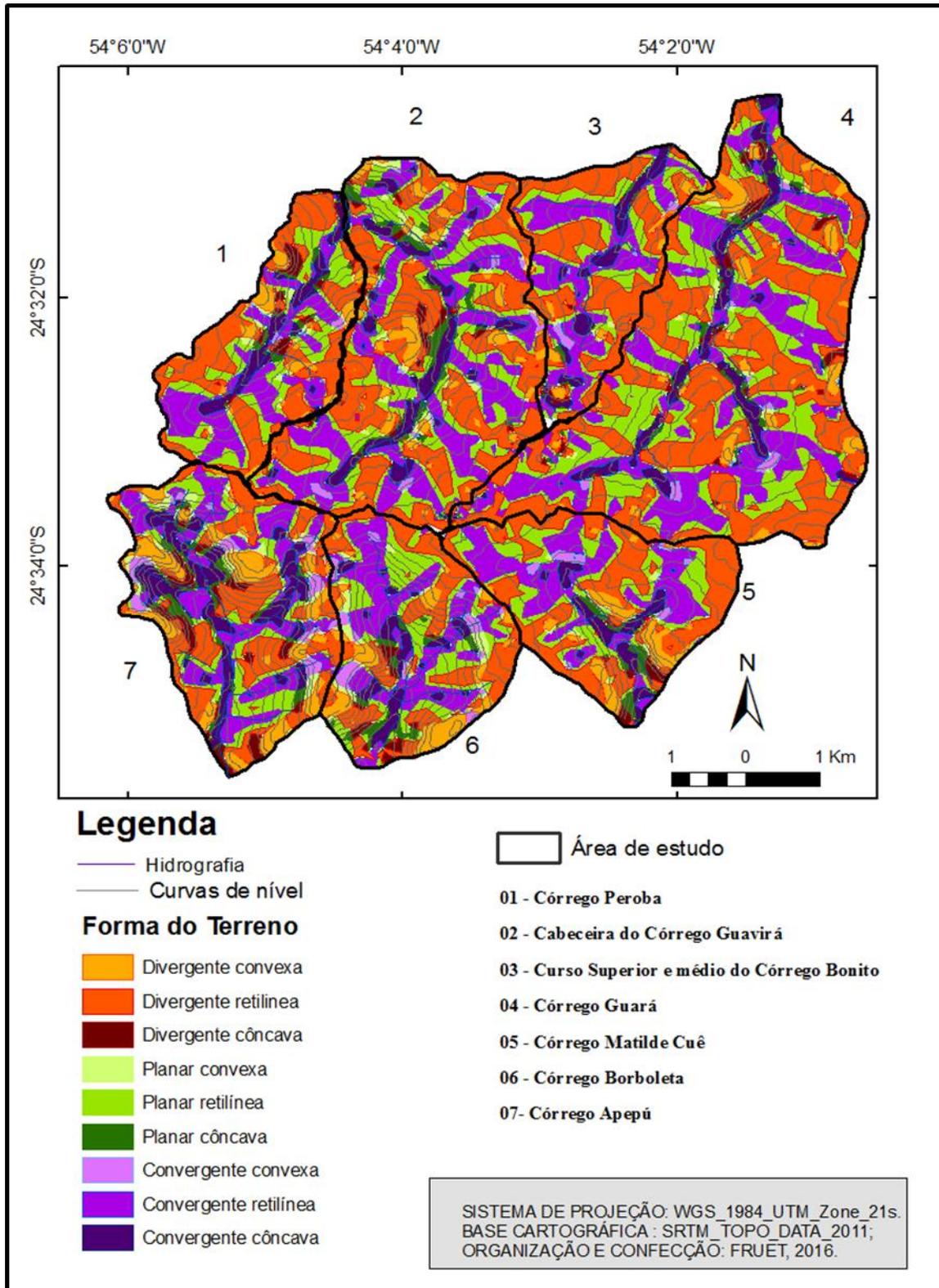


Figura 10 - Mapa das formas do terreno da área de estudo.

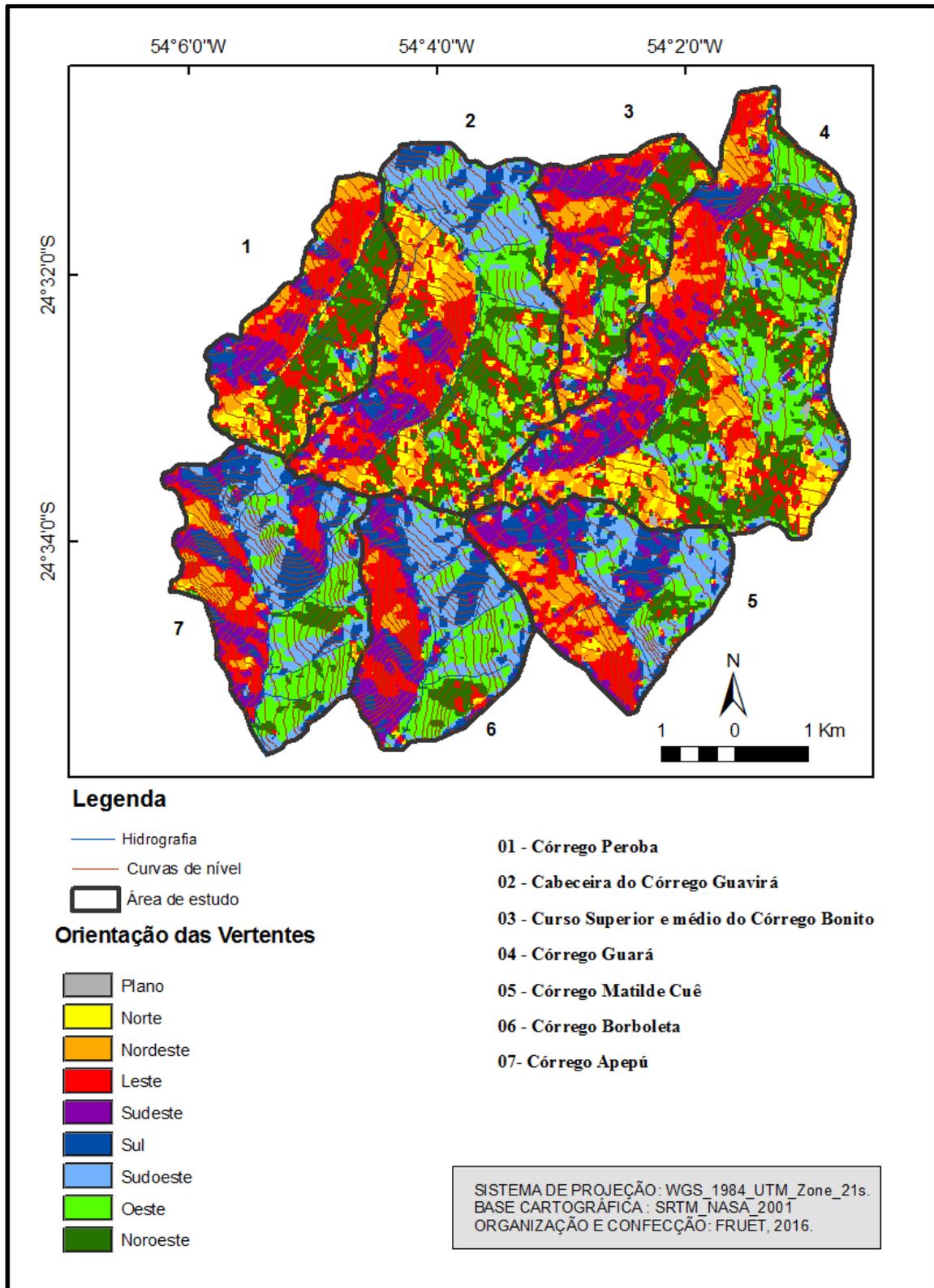


Figura 11 - Mapa da orientação das vertentes da área de estudo.

Tabela 24 - Orientação das vertentes da área de estudo.

Orientação das vertentes	Área em Km²	Área em %
Noroeste	7,06	12,02
Oeste	7,8	13,28
Sudoeste	7,46	12,7
Sul	6,29	10,71
Sudeste	5,15	8,77
Leste	5,9	10,05
Nordeste	7,85	13,39
Norte	6,3	10,73
Plano	4,9	8,35
TOTAL	58,7	100

Org.: FRUET (2016)

Na orientação das vertentes da área de estudo há uma diferença relativamente pequena em relação à predominância de orientação das vertentes. A direção oeste e nordeste apresentaram-se em proporção ligeiramente maior que as demais, seguidas das vertentes de orientação noroeste e sudoeste. As vertentes de orientação sudeste e leste representaram a menor área ocupada. As áreas planas situadas, sobretudo nos setores próximos aos cursos de água representaram 8,35% da área total das bacias. As vertentes que recebem maior insolação representam 36% da área de estudo, colaborando com o desenvolvimento das culturas temporárias (Tabela 24).

5.4 REDE DE DRENGEM E MORFOMETRIA

A rede de drenagem corresponde aos eixos preferenciais das águas superficiais com fluxo concentrado de origem pluvial ou fluvial, de caráter perene, intermitente, ou efêmero. Mais especificamente, a rede hidrográfica possui como referenciais espaciais os talwegues, sendo, portanto, o conjunto de todos os canais fluviais. A análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem os processos morfogenéticos exógenos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980). Para a caracterização da rede de drenagem foram utilizados variáveis e parâmetros morfométricos obtidos com base na carta

topográfica escala 1:50.000, Folha Marechal Cândido Rondon (Tabela 25 e Apêndice 1).

Tabela 25 - Variáveis morfométricas da área de estudo.

Bacias Hidrográficas	Peróba	Guavirá	Bonito	Guará	Matilde Cuê	Borboleta	Apepú
Área (km ²)	5,54	11,69	5,01	16,2346	6,165	6,14	7,95
Perímetro (km)	11,13	16,20	11,24	20,48	10,70	10,27	12,602
Córrego principal C (m)	3547	3935	3017	6480	2216	3266	4521
Altitude mínima e máxima do Córrego principal (ΔH)	398-326	405-339	404-343	405-324	395-330	415-293	420-267
ude)	72	66	61	81	65	122	153
Hierarquização dos canais (Stralher, 1964)	2 ^a	3 ^a	3 ^a				
Número de canais	4	6	3	8	8	10	12
Comprimento de canais Ct (m)	4394	7049	4659	11381	5380	8743	1344
Densidade de drenagem Dd (km/km ²)	0,79	0,60	0,92	0,70	0,87	1,42	1,69
Índice de compacidade de Gravelius (Kc)	1,32	1,32	1,40	1,42	1,20	1,15	1,25
Declividade média do canal D (m/m)	0,0203	0,0168	0,0202	0,0125	0,0293	0,0373	0,0338
Índice de circularidade	0,56	0,56	0,50	0,49	0,68	0,73	0,63
Índice de Rugosidade (HD)	56,88	39,79	56,70	56,78	56,72	173,48	258,48

Org.: FRUET (2015).

Os córregos estudados (Figura 12) possuem canais entalhados e caracterizados por seções retangulares, com fundo largo e margens verticais estáveis com até 3 m de altura. O processo de entalhamento dos canais é anterior à chegada dos primeiros colonizadores gaúchos e catarinenses que ocuparam a região na década de 1940 (FERNANDEZ & SOARES, 2002).

Para o estudo da dinâmica hidrográfica, aplicou-se o método de análise morfométrica desenvolvido por Stralher e Horton *apud* Christofletti (1980), bem como a análise do padrão de drenagem. Os atributos das bacias hidrográficas utilizados na composição dos parâmetros morfométricos foram: área da bacia; perímetro da bacia; comprimento dos córregos principais; comprimento dos canais fluviais; número de canais fluviais; declividade dos canais e altimetria (mínima, média e máxima); densidade de drenagem, índice de compacidade de Gravelius; índice de rugosidade e índice de circularidade.

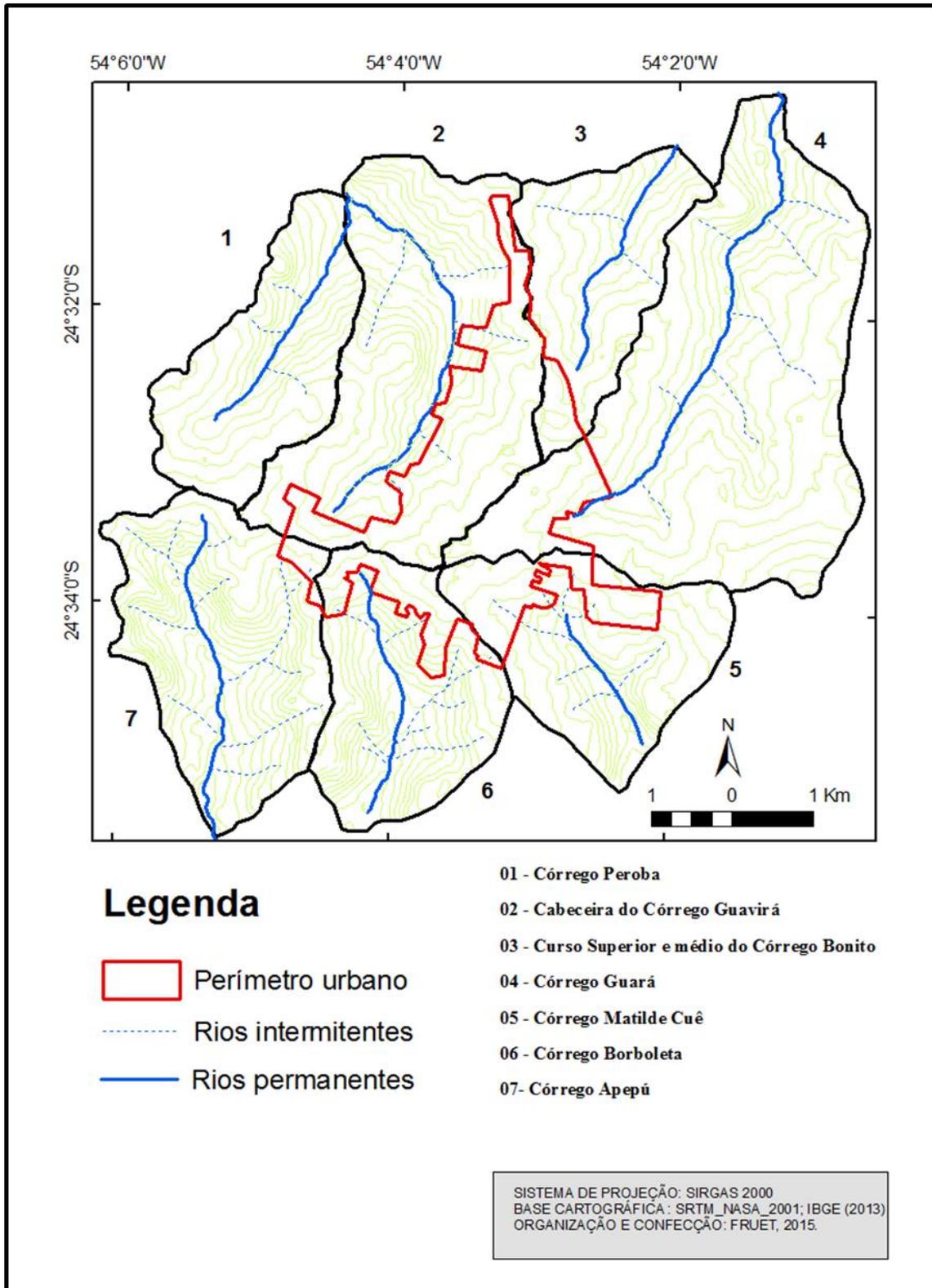


Figura 12 - Mapa da rede de drenagem da área de estudo.

A caracterização morfométrica e fisiográfica de uma bacia hidrográfica é utilizada em análises ambientais, pois, a partir destas características, é possível compreender os fenômenos passados, avaliar os impactos das ações antrópicas na fase de escoamento superficial da água e encontrar relações entre a vazão e as características fisiográficas e morfométricas para compreensão da dinâmica ambiental local e regional (PORTO *et al.*, 1999, TEODORO *et al.*, 2007).

Os padrões de drenagem dizem respeito ao arranjo dos cursos de água, o que é influenciado pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela geomorfologia da região e pelas diferenças de declive. As bacias hidrográficas da área de estudo apresentam-se com um padrão de drenagem dendrítico (Figura 14). São córregos, regionalmente, denominados de sangas, lajeados ou arroios.

Para a determinação e investigação da propensão das bacias hidrográficas à enchentes em relação a forma da bacia foram calculados os índices de compacidade de Gravelius e de circularidade. O índice de circularidade relaciona a área total da drenagem e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica. O índice de circularidade indica a forma das bacias, quanto mais for próxima de um, mais próxima da forma circular será a bacia. Se o valor for menor que 0,51, indica que a bacia é mais alongada, o que favorece o processo de escoamento (PORTO *et al.*, 1999).

Os processos de cheias dos rios ganham proporções maiores e mais agravantes em virtude da ação antrópica (urbanização, por exemplo), levando à impermeabilização do solo e à diminuição da superfície de infiltração da água. E, como consequência, tem-se o aumento do escoamento superficial que flui rapidamente para o leito dos rios, sobrecarregando essa fase do ciclo hidrológico.

Outra característica pertinente a análise ambiental das bacias hidrográficas é a densidade da drenagem que correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área total da bacia hidrográfica. Quanto maior a densidade da drenagem, mais eficiente o sistema de drenagem e mais rapidamente a água do escoamento superficial, originado pela chuva, dará saída da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980; PORTO *et al.*, 1999).

Os aspectos de declividade e o comprimento da vertente são expressos por meio do índice de rugosidade (STRALHER; 1964). Dessa forma, a rugosidade relaciona a área da superfície do terreno inclinada e a área da superfície do terreno reduzida ao plano (SAMPAIO, 2012). Assim, as áreas com elevados índices de

rugosidade têm potencial elevado de ocorrência de “cheias relâmpago” devido à fina textura de drenagem, com comprimento mínimo do escoamento superficial em vertentes íngremes e altos valores de gradientes dos canais (PATTON & BAKER, 1976 *apud* DIAS *et al.*, 2013).

A ampliação das áreas urbanizadas, devido à construção de áreas impermeabilizadas, repercute na capacidade de infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial, a concentração das enxurradas e a ocorrência de ondas de cheia (CHRISTOFOLETTI, 1999 *apud* SANTOS, 2006). Christofolletti (1980) cita que os valores extremamente altos do I_r ocorrem quando a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica se mantêm altas, ou seja, em regiões onde as vertentes são íngremes e longas.

Assim, conhecer as características gerais da rede de drenagem das bacias hidrográficas locais é um requisito básico para o entendimento da fragilidade ambiental destas bacias em face de determinados processos como, as enchentes. Estes dados servem, portanto, como importantes subsídios à indicação de áreas potencialmente instáveis/estáveis e ao entendimento de parâmetros e aspectos essenciais aos estudos de fragilidade potencial do sistema.

5.5 GEOLOGIA

O conhecimento dos aspectos geológicos é necessário para compreender as características pedológicas, visto que ambos estão inter-relacionados. A rocha atua como um dos fatores formadores do solo conferindo-lhe suas características mineralógicas. Segundo Fanning e Fanning (1989 *apud* SANTOS, 2009), o material de origem influencia direta e indiretamente em várias propriedades do solo e quanto menor for à intensidade do fator tempo, mais características herdadas o solo formado apresentará, pois os fatores climáticos e fisiográficos ainda exercem papel coadjuvante na formação desse atributo.

Outra importante atuação do material de origem é na cor do solo formado. Segundo Kampf e Curi (2000), a cor do solo expressa a presença de componentes minerais, matéria orgânica, drenagem, aeração e óxidos de ferro, que estão diretamente relacionados ao material de origem, ao grau de intemperização e processos pedogênicos, os quais contribuem para a acumulação ou remoção

desses óxidos. A rocha como marco dos processos de alteração, pode controlar a velocidade do intemperismo, por sua resistência mecânica e mineralógica, e a direção e intensidade dos processos pedogenéticos (Boulet *et al.*, 1980).

Salienta-se que o material de origem não deve ser visto apenas como fornecedor de matéria prima para a formação do solo, mas de acordo com sua mineralogia também funciona como fonte de nutrientes oriundos de fragmentos não intemperizados das rochas (PASCALE, 2000). Para Resende *et al.* (2002), a associação entre classe de solo e material de origem pode ser valioso instrumento para prever, no campo, ainda que de forma superficial, os níveis dos elementos que tendem a se concentrar residualmente no solo.

Para Lacerda *et al.* (2008), o estudo da gênese dos solos, a partir da caracterização pedológica dos materiais de origem, auxilia na sua classificação, assim como na avaliação da sua distribuição espacial em uma determinada área, pois possibilita fazer inferências sobre os seus atributos químicos, físicos e mineralógicos.

A área de estudo possui uma constituição geológica basáltica (Formação Serra Geral) decorrente dos derrames de lavas do grande vulcanismo fissural ocorrido durante a era Mesozóica, o chamado derrame de *Trapp* (MAACK, 1981). Os derrames constituem uma série de unidades superpostas dando origem aos extensos platôs, hoje profundamente dissecados pelos processos de modelado do relevo (MINEROPAR, 2011).

Neste contexto, as rochas que afloram no município de Marechal Cândido Rondon são de caráter básico, ou seja, ricas em Fe, Mg e Ca, com menores teores de sílica. Trata-se de basaltos, andesi-basaltos e andesitos de afinidade toleítica (PINESE & NARDY, 2003). As rochas basálticas após intenso processo de intemperização, e concomitantemente com outros fatores formadores do solo, originaram as classes dos solos presentes na área de estudo: os Latossolos Vermelhos, bastante profundos, localizados principalmente nos setores aplainados do relevo; os Nitossolos Vermelhos, que ocupam as encostas com declividade média; os Neossolos Litólicos ou Regolíticos, pedregosos, pouco profundos, que ocupam os locais íngremes, com afloramentos de rocha; e os Gleissolos, geralmente Háplicos, que ocupam as várzeas e cabeceiras de drenagens, onde os terrenos se mantêm saturados em água em boa parte do ano (MINEROPAR, 2001).

5.6 SOLOS

A resistência dos solos aos processos erosivos é consequência do tipo de solo, e também, das suas características, que definem sua maior ou menor susceptibilidade natural, daí a importância desta variável para estabelecer a fragilidade do ambiente (SPORL, 2007; p.62).

Entre os solos que ocorrem nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon (Figura 13 e Tabela 26), destacam-se as classes dos Latossolos Vermelhos, profundos, fortemente a bem drenados. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos. Esta classe é predominante na área de estudo, principalmente nas bacias do Córrego Bonito e Guavirá (Figura 14).

O Nitossolo Vermelho também está distribuído em todas as bacias hidrográficas, em especial nas bacias do Córrego Peroba, Guavirá e Guará. Assim como os Latossolos, os Nitossolos Vermelhos também são passíveis de mecanização e apresentam boa fertilidade natural. Também é utilizado para o plantio de gêneros agrícolas, em especial para o cultivo da soja (Figuras 15 e 16)

A classe do Neossolo Litólico e Regolítico (Figura 17) caracteriza-se por apresentar textura silte argilosa (ROCHA, 2011) e possuir uma fertilidade moderada. Essa classe de solo pode ocorrer em rupturas de declives curtas dos segmentos superior das vertentes. Nesta situação o horizonte A, em geral, possui menos de 40 cm de espessura assentado diretamente sobre a rocha (EMBRAPA, 2013). Nas bacias dos córregos Apepú e Borboleta, os afloramentos de rochas são mais representativos.

Outro tipo de solo com ocorrência nas bacias hidrográficas é o Cambissolo (Figura 18) que está presente em, aproximadamente 2,67 km², o que corresponde a 4,5% da área. Em função da heterogeneidade estrutural do material de origem (fraturas, fissuras, vesículas, amígdalas), formam-se Cambissolos Háplicos (Figura 19) pouco espessos, de fortemente até imperfeitamente drenados. Os Cambissolos Háplicos estão presentes principalmente nas bacias dos Córregos Borboleta e Apepú (EMBRAPA, 2013).

Em menor expressão na área de estudo são encontrados os Gleissolos, nas áreas de várzeas, cabeceiras de drenagens e fundos de vale, onde os terrenos se mantêm saturados por água durante alguns meses do ano. São solos minerais,

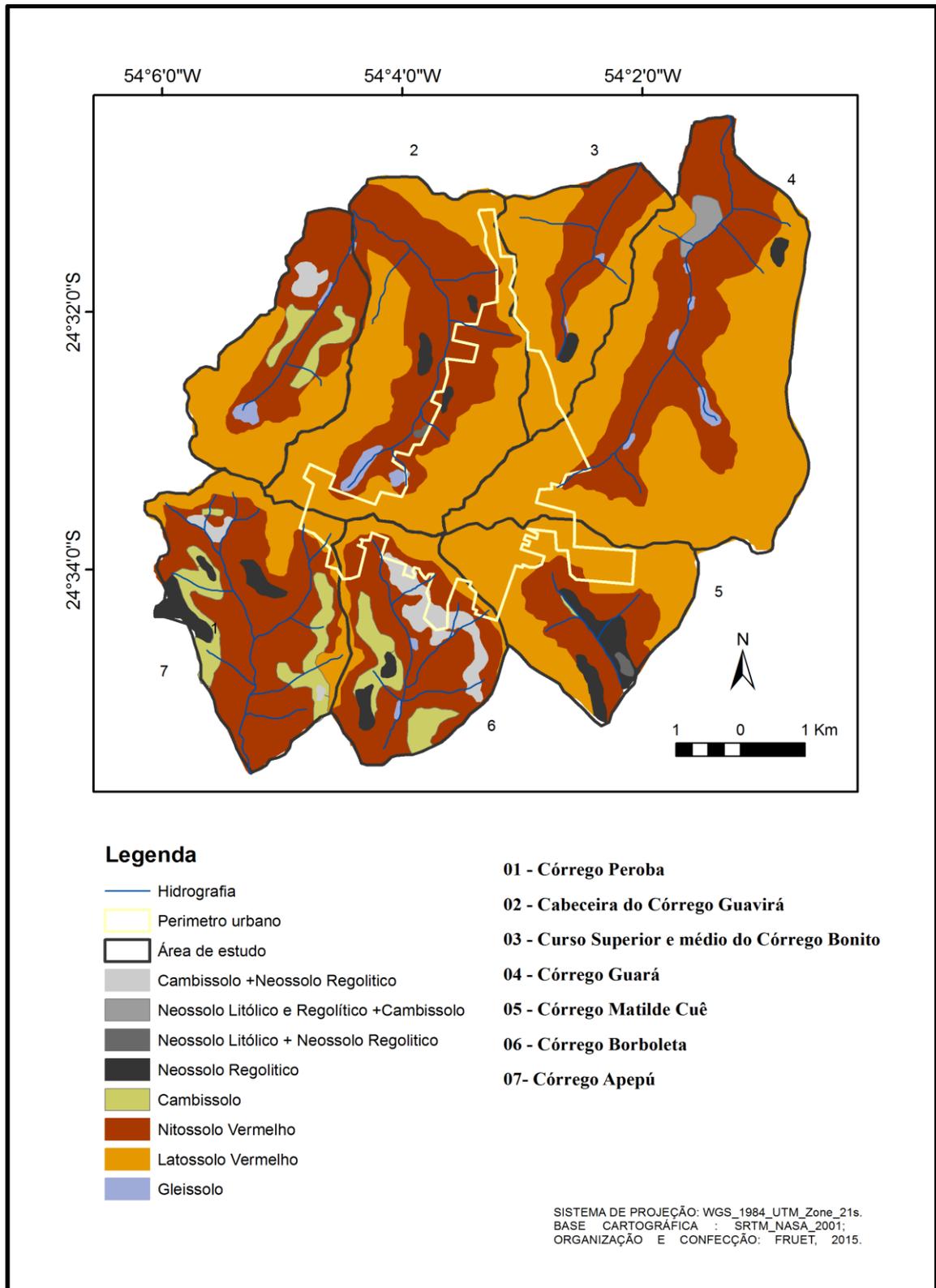


Figura 13 - Mapa das classes de solos da área de estudo.

desenvolvidos em ambientes mal ou muito mal drenados, in situ ou sobre materiais transportados, de constituição argilosa, a muito argilosa. Suas características

Tabela 26 - Classes de solos das bacias hidrográficas periurbanas.

Bacias hidrográficas	Área	Classes de solos (EMBRAPA, 2013)								Total da área por bacia
		CX	CX+RR	CX+R R+RL	G	LV	R	RL+RR	NV	
1 Córrego Peroba	km ²	0,5	0,19	0,0	0,16	2,64	0,0	0,0	2,22	5,54
	%	9,0	3,4	0,0	2,9	47,7	0,0	0,0	40,1	100
2 Córrego Guavirá	km ²	0,0	0,0	0,0	0,24	5,6	0,18	0,02	5,89	11,6
	%	0,0	0,0	0,0	2,1	48,3	1,6	0,2	50,8	100
3 Córrego Bonito	km ²	0,0	0,0	0,0	0,04	3,41	0,08	0,0	1,72	5,01
	%	0,0	0,0	0,0	0,8	68,1	1,6	0,0	34,3	100
4 Córrego Guará	km ²	0,0	0,0	0,31	0,21	9,14	0,08	0	6,49	16,23
	%	0,0	0,0	1,9	1,3	56,3	0,5	0,0	40,0	100
5 Córrego Matilde-Cuê	km ²	0,01	0,0	0,0	0,0	3,89	0,0	0,64	1,78	6,32
	%	0,1	0,0	0,0	0,0	33,5	0,0	5,5	15,3	54,5
6 Córrego Borboleta	km ²	0,84	0,85	0,0	0,04	1,57	0,2	0,0	2,86	6,36
	%	13,2	13,3	0,0	0,8	24,7	3,1	0,0	44,9	100
7 Córrego Apepú	km ²	1,32	0,07	0,0	0,0	2,44	0,55	0,0	3,25	7,63
	%	8,1	0,4	0,0	0,0	15,0	3,4	0,0	20,0	47,0
Total da área das bacias	km ²	2,67	1,11	0,31	0,69	28,6	1,09	0,66	24,2	58,7
	%	4,5	1,9	0,5	1,2	48,9	1,9	1,1	41,2	100,0

CX - Cambissolo Háplico; G – Gleissolo; LV- Latossolo Vermelho; R – Neossolo; NV - Nitossolo Vermelho; RR - Neossolo Regolítico; RL - Neossolo Litólico.

Org.: FRUET (2015)

resultam da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido à presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano. Apresentam horizonte subsuperficial de coloração acinzentada, com mosqueados amarelados ou avermelhados, oriundos da oxidação do ferro na matriz do solo, em consequência dos fenômenos de oxi-redução (EMBRAPA, 2013). Esta classe de solo foi observada na bacia dos Córregos Peroba, Guavirá e Guara sendo utilizado para a piscicultura. Atividade esta que promove importantes alterações dos cursos dos canais entre outros impactos relacionados às escavações e construções dos açudes.



Figura 14 - Latossolo Vermelho na bacia do Córrego Borboleta.
Fonte: Banco de dados do GEA (2014)



Figura 15 - Nitossolo Vermelho Eutroférrico
típico na bacia do Córrego Guavirá.
Fonte: ROCHA (2011).

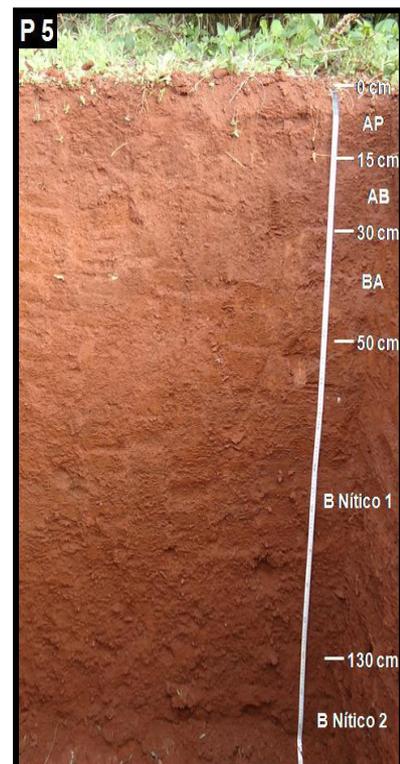


Figura 16 - Nitossolo Vermelho Eutroférrico
típico na bacia do Córrego Guavirá.
Fonte: ROCHA (2011).



Figura 17- Neossolo Litólico na bacia do Córrego Guavirá.
Fonte: ROCHA (2011).

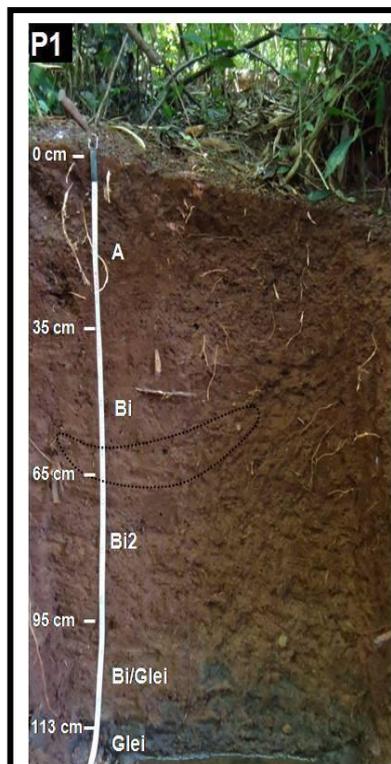


Figura 18 - Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico na
bacia do Córrego Guavirá
Fonte: ROCHA (2011).



Figura 19 - Cambissolo Háptico perférico na
bacia do Córrego Guavirá.
Fonte: ROCHA (2011).

4.7 USO E OCUPAÇÃO

As diferentes formas de utilização que o ser humano realiza sobre o ambiente natural decorrem do processo histórico que condicionou determinado uso e ocupação. Considerando as formas de uso e ocupação das bacias hidrográficas da área de estudo, pode-se afirmar que a ocupação do solo para uso rural está presente na maior parte das bacias, sendo que este tipo de atividade econômica desenvolve-se, predominantemente, nas áreas de média e alta vertente, com cultivos classificados como de ciclo curto ou temporário.

As diferentes formas de utilização do solo nas bacias hidrográficas foram organizadas em classes, considerando as mais representativas. Cada classe representa uma forma de utilização que pode ser mais ou menos prejudicial à fragilidade ambiental da bacia hidrográfica. A partir da fotoidentificação de imagens de satélite (Figura 20) foram delimitadas as seguintes classes de utilização do solo: 1-Matas; 2-Pastagens/campos; 3-Culturas Temporárias; 4-Culturas Permanentes e 5-Área urbana consolidada ou em expansão (Figura 21).

As classes de uso e ocupação do solo estão distribuídas por toda a bacia hidrográfica em percentuais distintos, conforme dados da tabela 27. A classe de uso do solo mais representativa nas bacias hidrográficas é a de cultura temporária, que aparece em 56,1% da área.

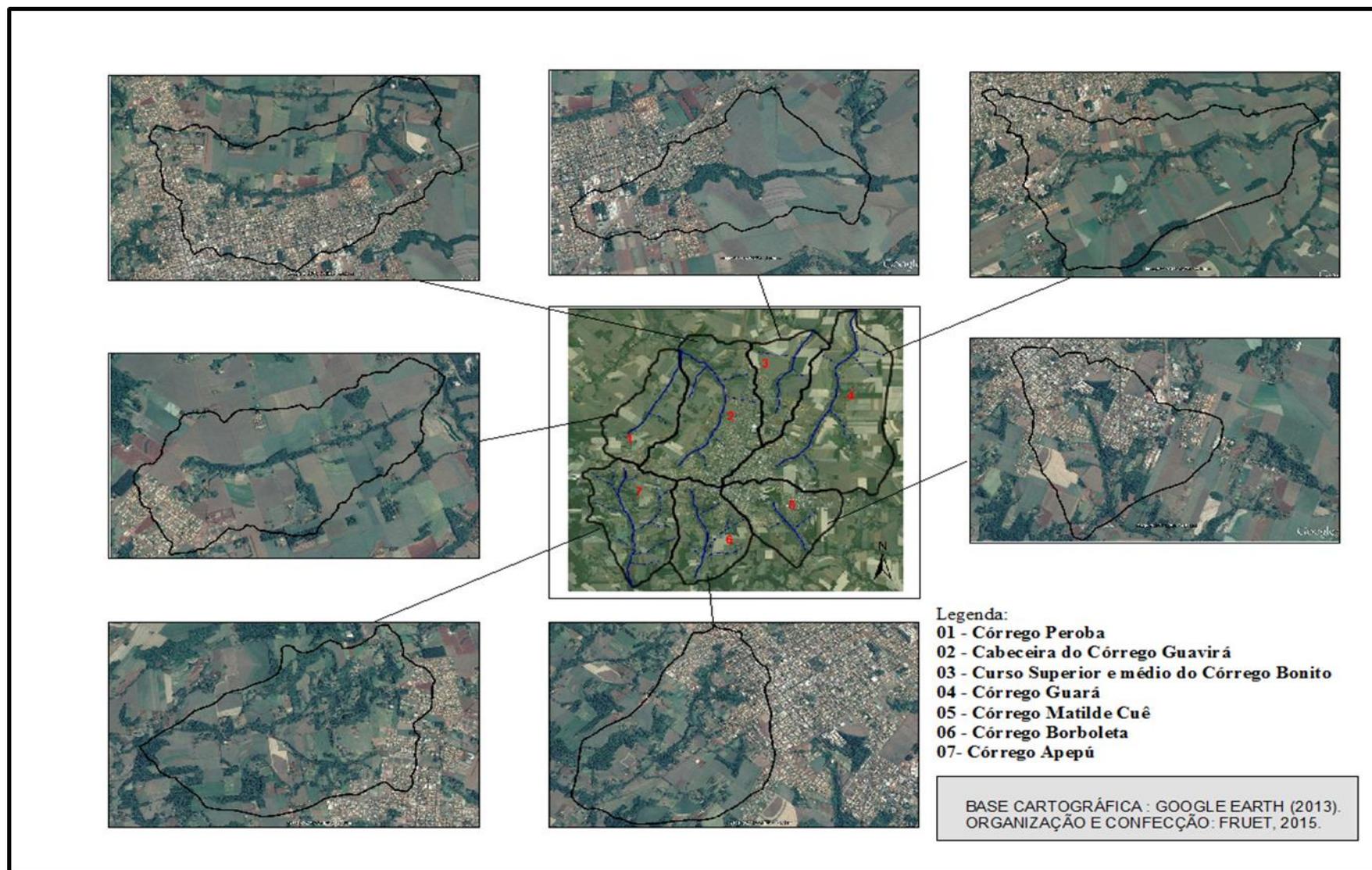


Figura 20 - Imagem de satélite da área de estudo.

Fonte: Google Earth (2013)

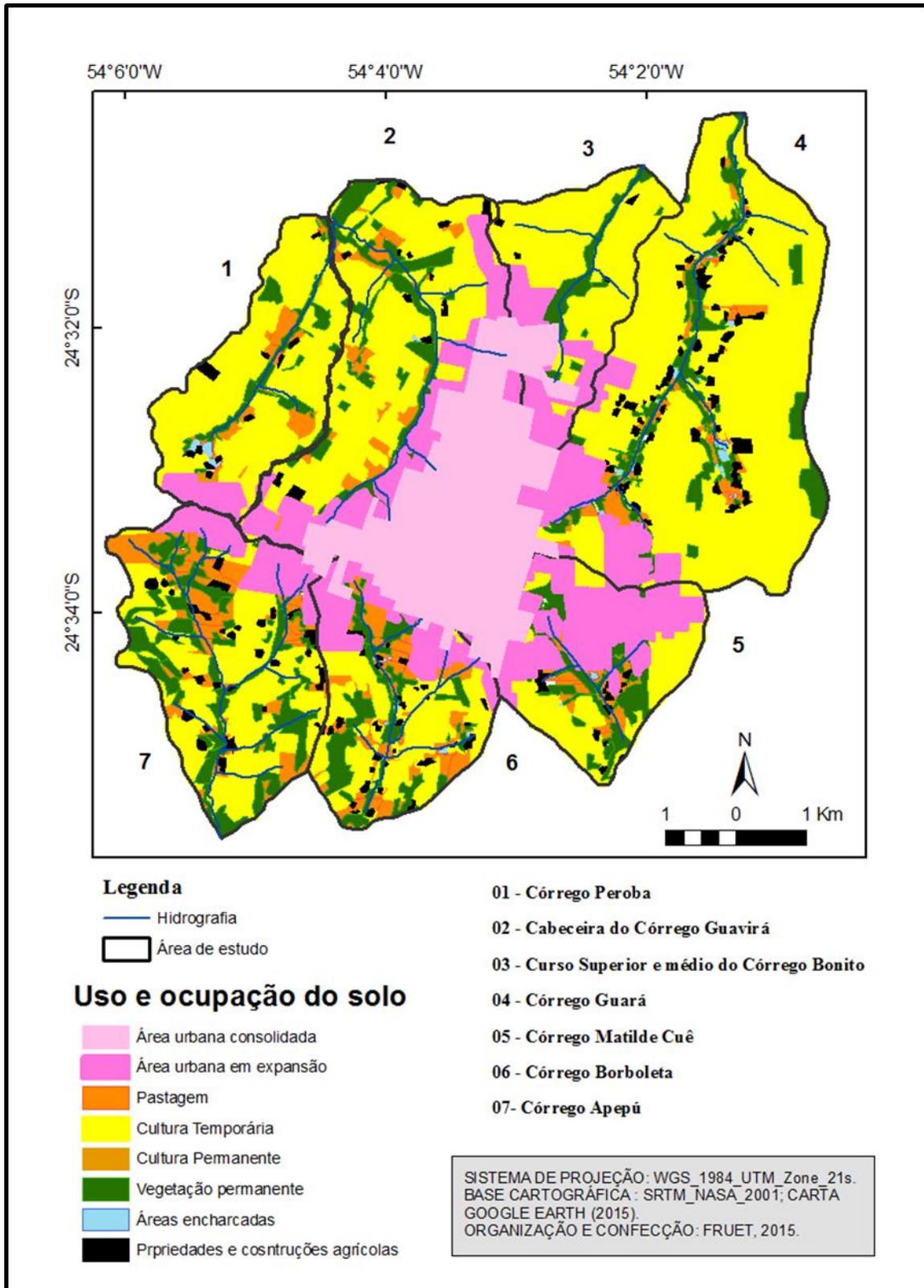


Figura 21 - Mapa de uso e ocupação da área de estudo.

Tabela 27- Uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas

Variável	Bacias Hidrográficas														Área total do uso e ocupação	
	Peroba		Guavirá		Bonito		Guará		Matilde Cuê		Borboleta		Apepú		km²	%
Uso e ocupação	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
<u>Vegetação</u>	<u>0.55</u>	<u>9</u>	<u>0.88</u>	<u>7.6</u>	<u>0.55</u>	<u>11.0</u>	<u>1.8</u>	<u>11.1</u>	<u>0.5</u>	<u>8.1</u>	<u>0.74</u>	<u>12.1</u>	<u>1.81</u>	<u>22.8</u>	<u>6.83</u>	<u>11.7</u>
<u>Pastagem/ campos</u>	<u>0.31</u>	<u>5</u>	<u>0.6</u>	<u>5.2</u>	<u>0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.89</u>	<u>5.5</u>	<u>0.69</u>	<u>11.2</u>	<u>1.53</u>	<u>24.9</u>	<u>1.74</u>	<u>21.9</u>	<u>5.76</u>	<u>9.8</u>
<u>Cultura temporária</u>	<u>3.7</u>	<u>66.8</u>	<u>5.24</u>	<u>45.2</u>	<u>3.5</u>	<u>69.9</u>	<u>10.9</u>	<u>67.3</u>	<u>3.4</u>	<u>55.2</u>	<u>2.91</u>	<u>47.4</u>	<u>3.22</u>	<u>40.5</u>	<u>32.87</u>	<u>56.1</u>
<u>Cultura permanente</u>	<u>0.01</u>	<u>0.2</u>	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.55</u>	<u>11.0</u>	<u>0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.39</u>	<u>6.3</u>	<u>0.02</u>	<u>0.3</u>	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.97</u>	<u>1.7</u>
<u>Área urbana</u>	<u>0.84</u>	<u>15.2</u>	<u>4.88</u>	<u>42.1</u>	<u>0.95</u>	<u>19.0</u>	<u>2.3</u>	<u>14.2</u>	<u>1.06</u>	<u>17.2</u>	<u>0.49</u>	<u>8.0</u>	<u>0.9</u>	<u>11.3</u>	<u>11.42</u>	<u>19.5</u>
<u>Áreas encharcadas</u>	<u>0.05</u>	<u>0.9</u>	<u>0</u>	<u>0.0</u>	<u>0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.14</u>	<u>0.9</u>	<u>0.01</u>	<u>0.2</u>	<u>0.04</u>	<u>0.7</u>	<u>0.0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.24</u>	<u>0.4</u>
<u>Construções agrícolas</u>	<u>0.08</u>	<u>1.4</u>	<u>0</u>	<u>0.0</u>	<u>0.11</u>	<u>2.2</u>	<u>0.2</u>	<u>1.2</u>	<u>0.11</u>	<u>1.8</u>	<u>0.4</u>	<u>6.5</u>	<u>0.28</u>	<u>3.5</u>	<u>1.18</u>	<u>2.0</u>
TOTAL	5.54	100	11	100	5.0	100	16	100	6.1	100	6.1	100	7.9	100	58.7	100

Org.: FRUET (2015).

5.7 FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

A análise das fragilidades dos ambientes naturais envolve um conjunto de informações que, como acrescenta Ross (1994), perpassa pelo inventário do quadro natural à medida que os dados sejam confrontados e, posteriormente, avaliados integradamente. Assim, a fragilidade ambiental potencial é entendida a partir do que se caracteriza pela fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, ou seja, a partir do tipo de solo, declividade do relevo, índice de pluviosidade, entre outros, este local poderá ou não apresentar um equilíbrio natural.

No caso da proposta de operacionalização de Ross (1994), o relevo é utilizado como variável determinante, seguido pelas características de solo para a identificação de áreas com maior e/ou menor fragilidade. Esta escolha se deve senão, pelo fato do relevo encontrar-se intimamente relacionado com o potencial cinético para o escoamento hídrico superficial, e conseqüente instabilidade do ambiente, mediante os processos erosivos, a movimentação de massas, quedas de blocos, dentre outros processos que evidenciem certa instabilidade. Dessa forma, procurou-se identificar e descrever os elementos e variáveis das bacias hidrográficas urbanas de Marechal Cândido Rondon, de maneira inter-relacionada.

Deve-se considerar que cada uma das classes de fragilidade potencial corresponde a certas potencialidades, restrições ou alternativas para o desenvolvimento das atividades econômicas, ou em potencial para o seu surgimento, juntamente ao estabelecimento de adequadas técnicas de manejo do solo. A fragilidade potencial das bacias (Figura 22) foi classificada em cinco diferentes classes de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994) que são: fragilidade muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

A tabela 28 apresenta o percentual e as respectivas áreas de cada classe de fragilidade potencial mapeadas nas bacias hidrográficas periurbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon.

As classes de fragilidade potencial muito fraca a fraca representam o grupo de classes de maior representatividade (Tabela 28), ocorrendo em 65% da área das bacias numa extensão total de 38 km². Estas classes de declividade ocorrem por todas as bacias hidrográficas, destacando as bacias do Córrego Guará e a parte superior do Córrego Bonito, setor norte da área urbana (Figura 6).

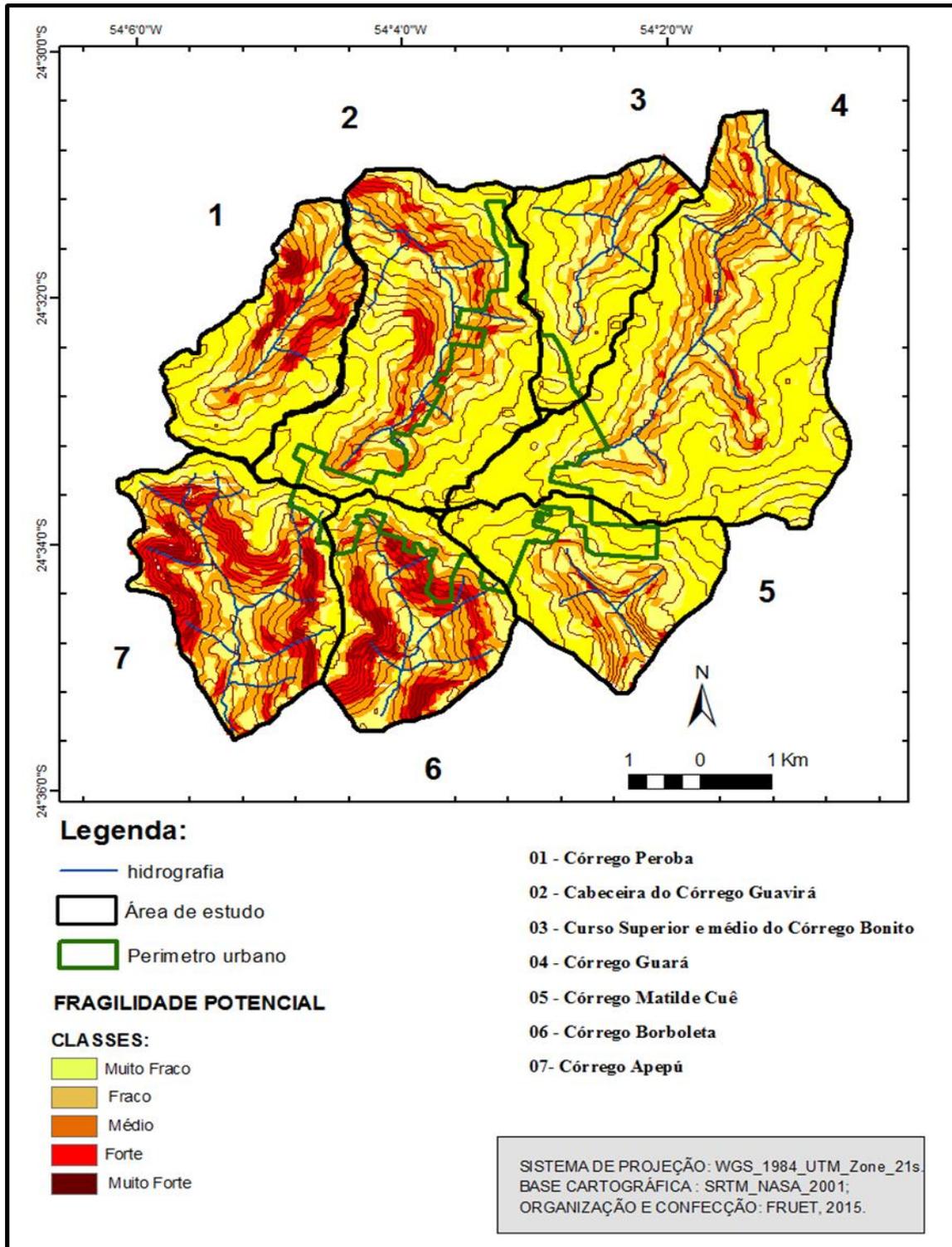


Figura 22 - Mapa da fragilidade potencial da área de estudo.

Tabela 28 - Classes de fragilidade potencial das bacias hidrográficas periurbanas.

Bacias hidrográficas	Área	Fragilidade potencial					Total da área por bacia
		Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte	
1 Córrego Peroba	km ²	1,97	1,31	1,59	0,42	0,25	5,54
	%	35,56	23,65	28,70	7,58	4,51	100
2 Córrego Guavirá	km ²	4,8	3,08	3,14	0,67	0,0	11,6
	%	41,4	26,6	27,1	5,8	0,0	100,
3 Córrego Bonito	km ²	2,83	1,28	0,88	0,02	0	5,01
	%	56,5	25,5	17,6	0,4	0,0	100
4 Córrego Guará	km ²	8,92	3,94	3,21	0,16	0	16,2
	%	55,1	24,3	19,8	1,0	0,0	100,0
5 Córrego Matilde-Cuê	km ²	3,22	1,61	1,17	0,05	0,11	6,16
	%	52,3	26,1	19,0	0,8	1,8	100
6 Córrego Borboleta	km ²	0,83	1,21	2,2	1,18	0,72	6,14
	%	13,5	19,7	35,8	19,2	11,7	100,0
7 Córrego Apepú	km ²	1,08	1,8	2,76	1,63	0,68	7,95
	%	13,6	22,6	34,7	20,5	8,6	100
Total da área das bacias	km ²	23,65	14,23	14,95	4,13	1,76	58,7
	%	40,4	24,3	25,5	7,0	3,0	100

Org.: FRUET (2015).

Nas bacias hidrográficas do Córrego Borboleta (33,2%) e Apepú (36,2%) ocorrem em menor expressão.

A fragilidade potencial de média intensidade abrange 14,95 km², recobrando 25,5% da área das sete bacias hidrográficas. Esta classe é mais expressiva nas bacias do Córrego Apepú (34,7%) e do Córrego Borboleta (35,8%). As classes de fragilidade potencial forte e muito forte abrangem 10% da área total das bacias especialmente nas bacias do Córrego Borboleta e Apepú.

5.8 FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

A partir da fragilidade ambiental potencial, foi avaliada a fragilidade ambiental emergente das bacias hidrográficas, evidenciando a relação das condições naturais com as informações relativas ao uso do solo. A interação das informações considerou tanto os graus de proteção dos solos em função da cobertura vegetal,

quanto os possíveis impactos gerados pelas diferentes formas de uso e manejo urbano e rural.

No que diz respeito à análise da fragilidade emergente, segundo a proposta de Ross (1994), ela pode ser entendida como sendo aquela na qual as ações humanas desestabilizaram o equilíbrio dinâmico do sistema geoambiental. A fragilidade emergente das bacias (Figura 23) foi realizada sob a ótica interpretativa dos tipos de uso e ocupação do solo (Figura 21) classificados como: a) área urbana consolidada e área urbana em expansão; b) área de pastagem e campos; c) área de cultura temporária; d) área de mata ciliar e área de reserva legal. Os dados das classes de fragilidade emergente constam na tabela 29.

Tabela 29 - Classes de fragilidade emergente das bacias hidrográficas periurbanas.

Bacias hidrográficas	Área	Fragilidade emergente					Total da área por bacia
		Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte	
1 Córrego Peroba	Km ²	0,5	0,83	2,26	1,9	0,15	5,54
	%	9,0	15,0	40,8	34,3	2,7	100
2 Córrego Guavirá	Km ²	0,54	0,85	7,17	2,97	0,26	11,6
	%	4,7	7,3	61,8	25,6	2,2	100
3 Córrego Bonito	Km ²	0,4	0,09	4,26	0,72	0,06	5,01
	%	8,0	1,8	85,0	14,4	1,2	100
4 Córrego Guará	Km ²	1,82	2	9,68	2,79	0,04	16,2
	%	11,2	12,3	59,8	17,2	0,2	100
5 Córrego Matilde Cuê	Km ²	0,54	0,59	3,38	0,97	0,3	6,14
	%	8,8	9,6	55,0	15,8	4,9	100
6 Córrego Borboleta	Km ²	0,1	0,68	4,07	1,39	0,04	6,14
	%	1,6	11,1	66,3	22,6	0,7	100
7 Córrego Apepú	Km ²	0,27	0,02	5,71	1,88	0,19	7,95
	%	3,4	0,3	71,8	23,6	2,4	100
Total da área das bacias	Km²	4,17	5,06	36,53	12,62	1,04	58,7
	%	7,1	8,6	62,4	21	1,8	100

Org.: FRUET (2015).

As classes de fragilidade emergente fraca e muito fraca abrangem 9,16km² correspondendo a 15,7% da área total das bacias. Nestas classes destacam-se as bacias do Córrego Peroba e Guará. A classe de fragilidade emergente predominante na área em estudo é a fragilidade média. Essa classe ocorre em 62,4% da área total das bacias, representando uma extensão territorial de 36,53 km². A bacia do córrego Bonito é a de maior representação desta classe que ocupa 85% de sua área.

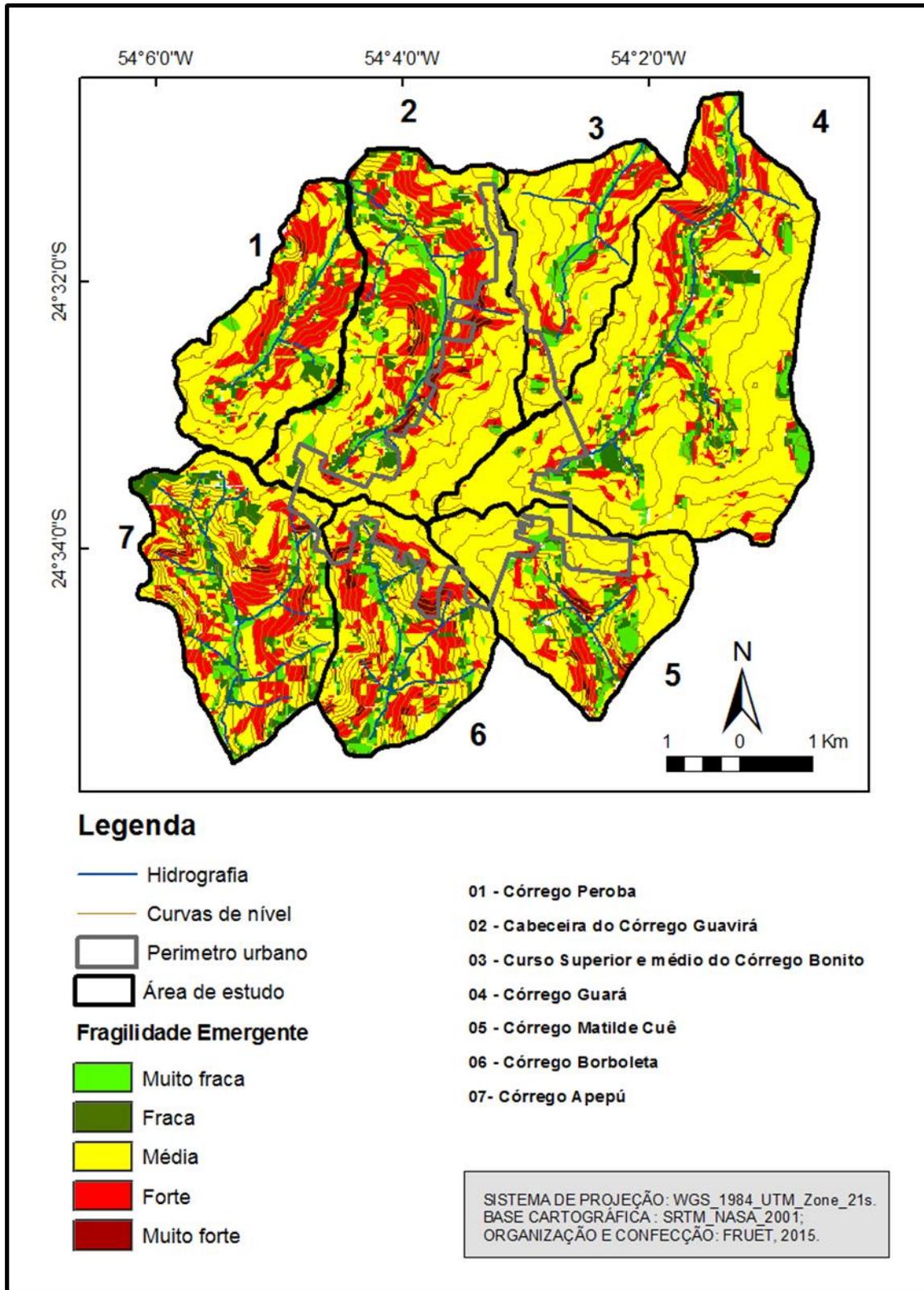


Figura 23 - Mapa da fragilidade emergente da área de estudo.

A fragilidade emergente forte e muito forte representam 22,8% das bacias. Nestas classes podemos destacar as bacias dos Córregos Peroba e Guavirá e Apepú.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os procedimentos metodológicos adotados para a pesquisa permitiram a espacialização de informações geográficas através da elaboração de mapas temáticos sobre a área do estudo contribuindo para o aprofundamento das discussões ambientais nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon. Com base nas classes de declividade adotadas (Tabela 28), na carta de solos e na forma do terreno, elaborou-se uma matriz de integração dos dados e informações (Tabela 30).

Tabela 30 - Matriz de identificação da área de estudo.

Bacias hidrográficas		Declividade (%)		Solos		Uso		Forma do terreno	
<u>Córrego</u>	<u>ID</u>	<u>classes</u>	<u>ID</u>	<u>classes</u>	<u>ID</u>	<u>classes</u>	<u>ID</u>	<u>classes</u>	<u>ID</u>
Peroba	B1	0-3	D1	LV	S1	Vegetação	U1	Convergente côncava	F1
Guavirá	B2	3-6	D2	NV	S2	Pastagem	U2	Convergente retilínea	F2
Bonito	B3	6-12	D3	CX	S3	C. Temp	U3	Convergente convexa	F3
Guará	B4	12-20	D4	CX+RR	S4	C. Perm.	U4	Divergente côncava	F4
Matilde-Cuê	B5	20-30	D5	RR+RL	S5	Urbana	U5	Divergente convexa	F5
Borboleta	B6	>30	D6	CX+RL+R	S6	Áreas encharcadas	U6	Divergente retilínea	F6
Apepú	B7			G	S7			Planar côncava	F7
				R	S8			Planar retilínea	F8
								Planar convexa	F9

Nesta perspectiva, a discussão e a análise dos resultados deste trabalho foram realizadas sob três parâmetros: o mapeamento da fragilidade potencial, emergente e a ocupação do solo no meio rural.

6.1 O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

De acordo com Ross (1990 e 1994), a carta de fragilidade potencial indica os graus de fragilidade, sob a ação dos processos morfogenéticos atuantes na paisagem, resultantes da correlação de alguns dos componentes físico-naturais da

paisagem, ou seja, é a síntese das informações referentes aos aspectos físico-naturais da área de estudo.

A partir deste resultado, pode-se discutir a potencialidade de uso e ocupação do solo a ser realizada na área. Além do cruzamento dos dados de declividade e solos utilizado para o mapeamento, foram incorporadas outras variáveis para fins de análise (forma das vertentes; morfometria, clima e geologia) da fragilidade potencial. Assim, elaborou-se uma matriz, combinando-se as diferentes informações (Tabela 31).

As classes de fragilidade potencial muito fraca e fraca predominam nas bacias (65%) e estão associadas às vertentes de forma convexa-divergente com classes de declividades de 0-6% que caracterizam as margens do rio principal e afluentes e os topos aplainados de alta vertente. Destaca-se que a B3 possui 82% do seu território sob o domínio dessas classes de declividade, seguida pela B4 com 78,4%, depois a B5 com 79,4%, a B2 com 59,06 %, a B1 com 68%, a B7 com 36,2% e B6 33,2%.

No que diz respeito ao solo, nas áreas com fragilidade potencial muito fraca e fraca (B3-58%, B4-56% e B5-29%), o Latossolo Vermelho predomina. Este solo distribui-se por todas as bacias, ocupando as áreas de topo de vertente com declividade fraca a muito fraca. Em função da boa drenagem que possuem e da fertilidade natural, este tipo de solo é utilizado no setor rural, principalmente para cultivos temporários (soja, milho, trigo etc.).

Dessa forma, verificou-se que a interação entre os segmentos de vertentes com declividades muito fraca a fraca (0-6%) e os solos profundos e bem drenados, considerados estáveis do ponto de vista pedológico, são fatores determinantes para que a fragilidade potencial seja classificada como muito fraca a fraca. Assim como as fracas declividades e os solos desenvolvidos, as formas das vertentes contribuem diretamente na intensidade das classes de fragilidade potencial das bacias. As áreas onde ocorrem as vertentes convexas-divergentes são caracterizadas pelas classes de fragilidade muito fraca e fraca, considerando-se a sua capacidade de dispersão das águas pluviais e a do escoamento superficial em transportar e remover as partículas do solo. As vertentes convexas são predominantes nas bacias 1,2,3,4,6. Nas bacias 5 e 7 predominam as formas côncavas .

Tabela 31 - Matriz de Integração da fragilidade potencial da área de estudo.

Classes de Fragilidade potencial	Cruzamento das informações de declividade, solo e forma do terreno nas bacias
<u>Muito fraca</u>	<u>B1D1S1F6F8</u>
	<u>B2D1S1F6F8</u>
	<u>B3D1S1F2F6F9</u>
	<u>B4D1S1F2F6F9</u>
	<u>B5D1S1F2F6F8</u>
	<u>B6D1S1F5</u>
	<u>B7D1S1F4</u>
<u>Fraca</u>	<u>B1D1D2S1S2F6F8</u>
	<u>B2D1D2S1F2F6F8</u>
	<u>B3D1D2S1F2F6F8</u>
	<u>B4D1D2S2F2F6</u>
	<u>B5D1D2S1F2F6F8</u>
	<u>B6D2S1F5</u>
	<u>B7D2S1S2F5</u>
<u>Media</u>	<u>B1D3S2S3S4F2F7</u>
	<u>B2D3D4S2F3</u>
	<u>B3D4S2F1</u>
	<u>B4D3S2F1</u>
	<u>B5D3S2F3F4</u>
	<u>B6D3S2F2F7</u>
	<u>B7D3D4S2F1</u>
<u>Forte</u>	<u>B1D4D5S2S3F2F8</u>
	<u>B2D5D6S8F4</u>
	<u>B3D5S2F1</u>
	<u>B4D5S2S5F1F7</u>
	<u>B5D4D5S2F4F7</u>
	<u>B6D5S3S4S8F4</u>
	<u>B7D5S3S4S5S8F1</u>
<u>Muito forte</u>	<u>B1D5D6S3S4F4F7</u>
	<u>B2 Não consta</u>
	<u>B3 Não consta</u>
	<u>B4 Não consta</u>
	<u>B5D5D6S2S5F1F7</u>
	<u>B6D5D6S3S4S8F1</u>
	<u>B7D5D6S3S4S8F1</u>

A classe de fragilidade potencial média caracteriza cerca de 26% (Tabela 28) dos setores das bacias com declividade de 6-12%, sendo predominante na B6 (35,8%), seguida da B7, B1, B2, B4, B5 e B3.

O Nitossolo Vermelho ocorre associado à classe de média fragilidade potencial, e às declividades de 6-12% em todas as bacias hidrográficas, destacando-se nas áreas de média vertente. Essa Ordem de solo ocupa mais de 40% em área nas bacias B2, B6, B7, B1 e B4 (Tabela 26). Assim como os Latossolos, os Nitossolos Vermelhos também são passíveis de mecanização e apresentam boa fertilidade natural, sendo amplamente utilizados para o plantio de gêneros agrícolas, em especial para o cultivo da soja.

A fragilidade potencial média, em relação às formas das vertentes estão distribuídas, nas bacias B1 e B6 de forma convergente-côncava, na bacia B2 a forma convergente convexa, nas bacias B3 e B4 convergente côncava, na bacia B5 convergente-convexa e divergente-côncava e na bacia B7 convergente-côncava (Tabela 23).

De maneira geral considerando a fragilidade potencial, observa-se que 90% da área estão representadas pelas classes muito fraca, fraca e média (Tabela 28). Isto se deve ao fato das bacias apresentarem declividades de até 12% em cerca de 79,2% (Tabela 20) de sua área total associadas com a ocorrência dos Latossolos e Nitossolos Vermelhos, que cobrem 90,1% do total das sete bacias (Tabela 26).

A fragilidade potencial classificada como forte (Figura 24) está associada às áreas com declividades de 20-30% nas bacias B1 e B2, e com declividade superiores a 30% na B1, B5, B6 e B7 (Tabela 20). Em relação aos solos Na bacia B1, a forte fragilidade potencial está relacionada aos Nitossolos Vermelhos e ao Cambissolo Háplico; na B2 aos Neossolos Regolíticos; na B3 aos Nitossolos Vermelhos; na B4 aos Nitossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos e Regolíticos; na B5 aos Nitossolos Vermelhos; na B6 aos Cambissolos Háplicos e aos Neossolos Regolíticos e, por fim, na B7 ao Cambissolo Háplico, Neossolos Litólico e Regolíticos. Assim, nas áreas caracterizadas pela interação entre as declividades fortes e os solos rasos a fragilidade potencial foi classificada como forte.

A maior parte das áreas de forte fragilidade potencial está relacionada às vertentes com forma convergente-côncava nas bacias B3, B4 e B7 (Figura 10 e Figura 22). Na B1, estão associadas às formas convergente-retilínea e planar

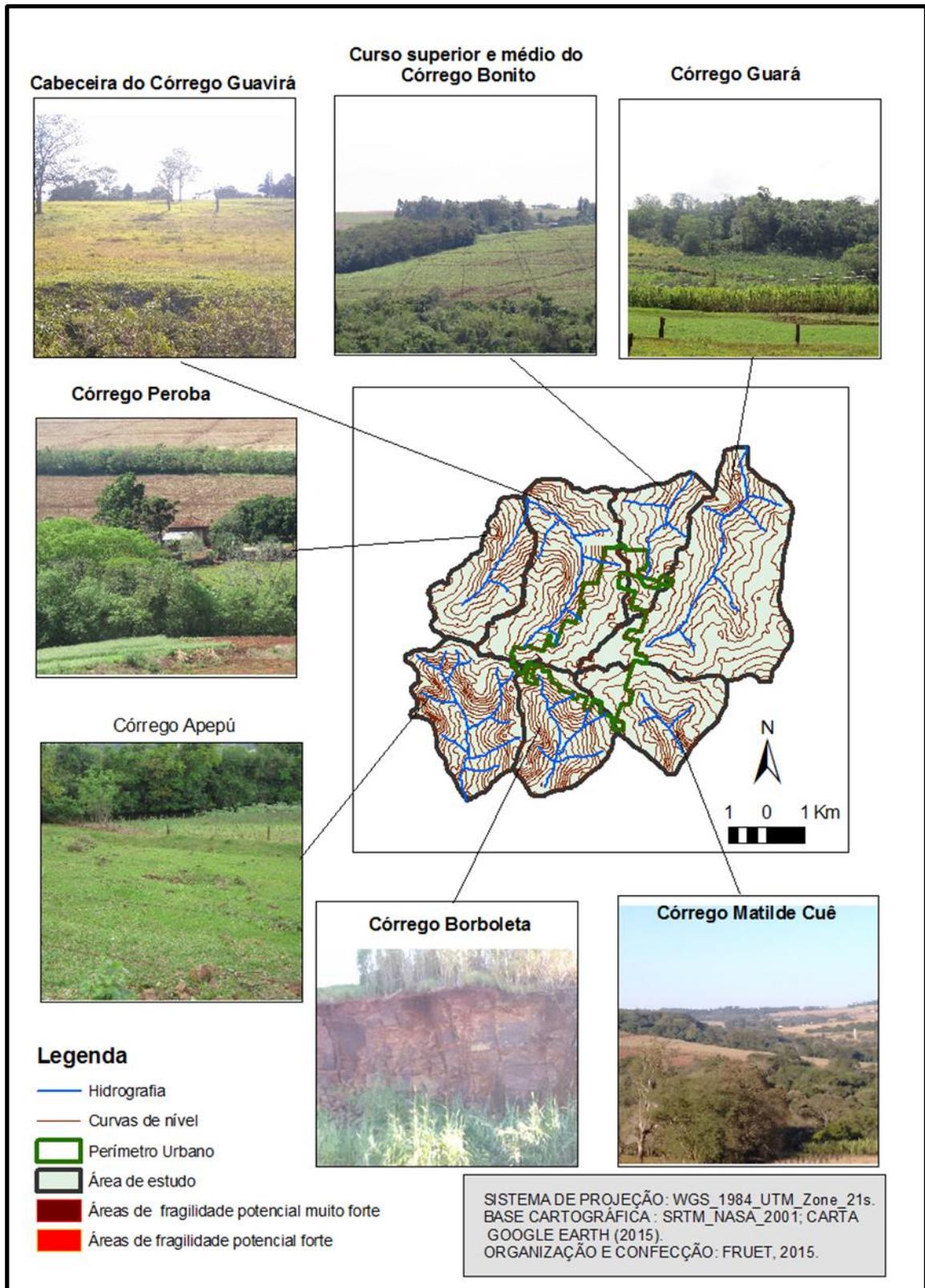


Figura 24 - Mapa dos principais pontos de fragilidade potencial forte e muito forte da área de estudo.

retilínea, enquanto nas bacias B2, B5 e B6 às formas divergente-côncavas das vertentes.

A fragilidade potencial classificada de muito forte foi observada em apenas 3% (1,76 km²) da área total das bacias (Tabela 28) relacionada às declividades superiores à 20%, sobretudo na B6 e B7 (Figura 25 e 26) e, localmente na B1. Quanto aos solos, na B1 essa classe de fragilidade está associada aos Cambissolos Háplicos e aos Neossolos Regolíticos; na B5, aos Nitossolos Vermelhos, aos Neossolos Litólicos e Regolíticos; na B6 e B7 ao Cambissolo Háplico, ao Neossolo Háplico e ao Neossolo Regolítico. A presença dos solos rasos (Figura 27), mesmo quando situados nos setores de declividades menos acentuadas, implica no aumento da fragilidade potencial. Isto porque apresentam forte instabilidade em relação aos processos desencadeados por fenômenos naturais (chuva) e antrópicos (uso e manejo), sobretudo nos segmentos de vertente divergente-côncava (B1), convergente-côncava na B6 e B7, planar-côncava na B5 (Tabela 31). Na B2, B3 e B4 esta classe de fragilidade potencial não foi representada, devido a ausência ou a pouca expressão das declividades fortes e solos rasos.

A classe de fragilidade potencial muito forte aparece associada aos segmentos de vertente divergente-côncava na B1; planar-côncava na B5 e B1 e convergente-côncava na B6 e B7. Nestas últimas bacias, a maior dissecação do relevo e a densidade de drenagem (Tabela 25) explica a morfologia das vertentes, as classes de declividade forte e muito forte, os solos rasos, a ocupação com vegetação (mata) e as classes de fragilidade potencial mais fortes a elas associadas.

Por meio do mapeamento da morfologia das vertentes, podemos diagnosticar as áreas onde há maior possibilidade de ocorrer erosão hídrica ou deposição de sedimentos, de acordo com tendências de concentração/dispersão de fluxos superficiais de água. Constatou-se que na área das bacias estudadas predominam as vertentes convexas em 43,89% do total (Tabela 21), distribuídas ao longo da bacia, influenciando positivamente na fragilidade potencial. As vertentes côncavas (19,99%) e retilíneas (12,96%) se ocupam áreas menores nas bacias.

Para a análise da fragilidade ambiental potencial também se considerou a probabilidade de enchentes das bacias, a partir do índice de compacidade de Gravelius (PORTO *et al.*, 1999), apresentado na tabela 25. De acordo com índice, as bacias dos Córregos Peroba, Guavirá, Bonito e Guará possuem tendência mediana a enchentes, enquanto as bacias dos Córregos Matilde Cuê, Borboleta e Apepú



Figura 25 - Solos rasos e declividade forte na bacia do Córrego Apepú.
Fonte: GEA (2014).



Figura 26 - Solos rasos e declividade forte no Córrego Borboleta.
Fonte: GEA (2014)



Figura 27 - Solos rasos no Córrego Apepú.
Fonte: GEA (2014)

possuem alta propensão a enchentes. As três últimas possuem as maiores áreas com declividades forte e muito forte, fator que exerce relação direta e complexa com a infiltração, o escoamento superficial, com a umidade do solo e a contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso d'água.

A declividade está diretamente relacionada ao tempo do escoamento superficial, tendo relação direta com a magnitude da enchente, conforme destaca Porto *et al.* (1999). Quanto mais íngreme for o terreno na bacia hidrográfica, maior a velocidade do escoamento superficial; o tempo de concentração será menor e, por consequência, os picos de enchente maiores. A bacia hidrográfica do Córrego Apepú apresenta maior amplitude altimétrica, o que indica maior velocidade de escoamento do que nas outras bacias.

As diferenças de declividade entre as sete bacias hidrográficas, pressupõe um escoamento superficial diferenciado. As bacias dos Córregos Apepú e Borboleta possuem vertentes mais curtas e íngremes o que favorece a velocidade do escoamento e o potencial erosivo hídrico. O escoamento rápido implica, também, numa aceleração do processo de retirada do solo, sobretudo nas áreas que não apresentam vegetação, seja na área rural ou urbana.

O estudo de fragilidade potencial realizado por Bade (2011) na bacia hidrográfica do Córrego Matilde Cuê, nos Bairros Marechal e São Lucas, evidenciou o início de processos erosivos relacionados, sobretudo, aos setores com elevado grau de declividade em consequência do escoamento superficial, gerado pelas águas pluviais. A ineficiência e ou a ausência das “bocas de lobo”, atrelada à impermeabilização dos solos contribuem para o aumento do escoamento superficial e da erosão hídrica (Figura 28). Este processo, de acordo com observações em campo, está ligado, sobretudo, à degradação das matas ciliares e à implantação de loteamentos. A impermeabilização do solo na área urbana contribui para a diminuição da infiltração das águas pluviais e a concentração dos fluxos.



Figura 28 - Início de processos erosivos na bacia do Córrego Matilde Cuê.
Fonte: BADE (2011)

Outro índice considerado para o cálculo da propensão à enchentes, é o índice de circularidade. Com base neste índice, a bacia do Córrego Borboleta possui a

forma mais circular, enquanto a bacia do Córrego Guará possui a forma mais alongada, por isso menos suscetível às enchentes.

Em relação ao ndice de rugosidade (Tabela 25), o valor foi estimado baixo para os Córregos Peroba, Guavirá, Bonito, Guará e Matilde Cu e médio para os Córregos Borboleta e Apep, conforme classificação de Sousa e Rodrigues (2012). Os autores estabelecem valores de I_r inferiores a 150m como fracos e de 151 a 550 como valores médios. Considerando que o ndice de rugosidade tem influência no processo de infiltração/escoamento superficial, índices fracos a médios favorecem a infiltração. Dessa forma, quanto mais rugoso for o relevo maior será a capacidade do escoamento superficial, gerando maior possibilidade de enchentes.

A partir da análise conjunta das variáveis consideradas para a determinação no mapeamento da fragilidade ambiental potencial, foi possível perceber a interação que há entre os elementos da paisagem. Com este entendimento  perceptível que há diferenças ambientais entre as bacias, as quais determinam suas respectivas fragilidades (Figura 29). Com base nos critérios utilizados na determinação da fragilidade ambiental potencial, foi possível verificar que as bacias hidrográficas dos Córregos Apep, Matilde Cu e Borboleta são potencialmente as mais frágeis dentre as sete que abarcam este estudo.

Os resultados para o mapeamento da fragilidade potencial permitem considerar que as bacias hidrográficas estudadas apresentam-se em equilíbrio ambiental, visto que as declividades, geralmente fraca a muito fraca, e os solos espessos e bem drenados presentes em grande parte da área das bacias, garantem a estabilidade natural. No entanto, a suposta estabilidade natural das bacias não as isenta de sofrer problemas ambientais como aqueles relacionados à erosão, por exemplo. Isto porque grande parte das bacias não conta com a presença de mata ciliar e vegetação nas áreas de baixa vertente, o que torna o solo mais suscetível  erosão em períodos de precipitação intensa.

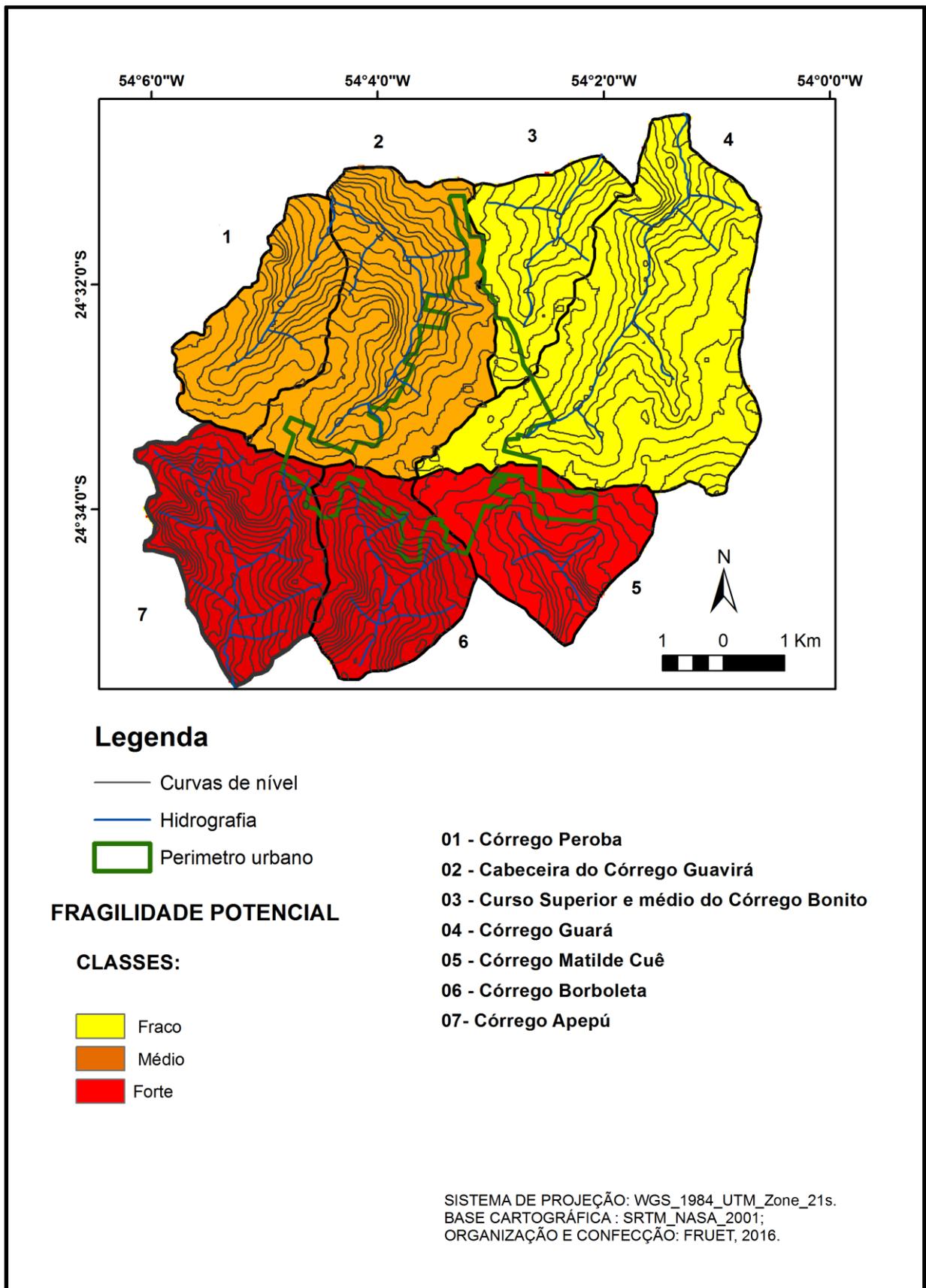


Figura 29 - Mapa de comparação da fragilidade potencial da área de estudo.

6.2 O MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

A partir do mapeamento da fragilidade potencial obtiveram-se os dados sobre a fragilidade emergente que possibilita identificar a influência das atividades antrópicas no ambiente (Tabela 32).

Tabela 32 - Matriz de integração da fragilidade emergente da área de estudo.

Classes de Fragilidade emergente	Cruzamento das informações da fragilidade potencial com o uso e ocupação
<u>Muito fraca</u>	<u>B1 P1U1</u> <u>B2 P1U1</u> <u>B3 P1U1</u> <u>B4 P1U1</u> <u>B5 P1U1</u> <u>B6 P1U1</u> <u>B7 P1U1</u>
<u>Fraca</u>	<u>B1 P2U2</u> <u>B2 P2U2</u> <u>B3 P2U2</u> <u>B4 P2U2</u> <u>B5 P2U2</u> <u>B6 P2U2</u> <u>B7 P2U2</u>
<u>Media</u>	<u>B1 P1P2U3U5</u> <u>B2 P1P2U3U5</u> <u>B3 P1P2U3U5</u> <u>B4 P1P2U3U5</u> <u>B5 P1P2U3U5</u> <u>B6 P1P2U3U5</u> <u>B7 P1P2U3U5</u>
<u>Forte</u>	<u>B1 P3P4U3U5</u> <u>B2 P3P4U3U5</u> <u>B3P3P4U3U5</u> <u>B4 P3P4U3U5</u> <u>BP3P4U3U5</u> <u>B6 P3P4U3U5</u> <u>B7 P3P4U3U5</u>
<u>Muito forte</u>	<u>B1 P5U1U2</u> <u>B2 P5U1U2</u> <u>B3 P5U1U2</u> <u>B4 P5U1U2</u> <u>B5 P5U1U2</u> <u>B6 P5U1U2</u> <u>B7P5U1U2</u>

De acordo com os resultados sobre a fragilidade emergente das bacias, nota-se que a área compreendida pela classe muito fraca está relacionada com as áreas de fragilidade potencial muito fraca somadas às áreas ocupadas por vegetação permanente, reserva legal ou mata ciliar. Estas, embora pouco expressivas na área das bacias, promovem maior proteção dos solos. As áreas com vegetação

permanente estão condicionadas por dois fatores principais: o primeiro diz respeito às declividades. De maneira geral, a cobertura vegetal permanente ocorre em declividades acima de 20-30% delimitando as áreas de atividades agrícolas dos setores inadequados para a prática da agricultura. Outro fator condicionante refere-se a sua localização principalmente nas áreas próximas às nascentes, fundos de vale ou nos topos curtos com solos muito rasos (Figura 30).

A classe de fraca fragilidade emergente tem sua ocorrência relacionada às áreas de fraca fragilidade potencial e estão ocupadas com pastagem. Isto também é observado em todas as bacias do estudo. As áreas de pastagens e campos (Figura 31) foram consideradas com fraca fragilidade ambiental emergente, pois, apesar de naturalmente fornecerem menor proteção ao solo do que as áreas compostas por mata ciliar ou reserva legal, desempenham o papel de conter, tanto o impacto das precipitações quanto os sedimentos transportados superficialmente, contribuindo, assim, na redução dos riscos de erosão linear.

A ocupação com pastagem, em geral, está diretamente relacionada às áreas com solos rasos às declividades acentuadas. A representatividade dessa classe de ocupação nas bacias é marcada pela pecuária leiteira e de corte (bovinos).

Em todas as bacias a ocorrência da média fragilidade emergente está intrínseca às áreas de fraca e muito fraca fragilidade potencial, associadas às áreas urbanas consolidadas e em expansão e ao cultivo agrícola temporário. Esta classe de fragilidade está relacionada aos setores com lavouras temporárias, declividades entre 0 e 12%, segmentos de média e baixa vertente em que ocorrem os Nitossolos Vermelhos e, também, aos segmentos de topo em que dominam os Latossolos Vermelhos. Desta maneira, percebe-se a importância da atividade agrícola nas bacias hidrográficas, explicada pelo contexto socioeconômico e geoambiental em que a região Oeste do Paraná está inserida.

Ainda em relação à fragilidade emergente média, nos setores dos principais interflúvios ocupados pela área urbana, a interação entre as declividades e os solos (Latosolos e Nitossolos Vermelhos) converge para ambientes mais instáveis, diminuindo a estabilidade natural dessas áreas. Neste sentido, os setores que apresentam baixas declividades e solos profundos como os Latossolos e, portanto, classificados como áreas de fragilidade potencial muito fraca ou fraca, quando confrontados com o tipo de uso e ocupação, apresentam fragilidade emergente média.



Figura 30 - Áreas de vegetação permanente e cultura temporária no Córrego Borboleta.
Fonte: GEA (2014).



Figura 31 - Áreas com cobertura de pastagem na bacia do Córrego Peroba.
Fonte: GEA (2014).

Este resultado, apesar de indicar que na maior parte da bacia não há prevalência das classes forte ou muito forte de fragilidade emergente, permitiu verificar alterações no equilíbrio ambiental das bacias em comparação aos resultados referentes à fragilidade potencial.

Sobre a influência da fragilidade emergente média a forte, estão as áreas urbanas consolidadas e em expansão e as culturas de lavouras temporárias nas sete bacias hidrográficas. As áreas urbanas ocupam áreas mais frágeis do ponto de vista da susceptibilidade à instalação de processos erosivos de origem natural ou antrópica. Além disso, quando a expansão urbana descumpra as regras planejadas, ou é gerenciada de forma inadequada, as ocupações podem avançar sobre as áreas de proteção ambiental (mata ciliar, por exemplo), além de degradar os córregos e o lençol freático. Tucci (1997) descreve bem os impactos da impermeabilização que causa, além do aumento do escoamento superficial, a redução da evapotranspiração, do escoamento subterrâneo e lençol freático, o aumento da produção de material sólido e a deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas.

O uso e ocupação das atividades urbanas, associadas à suscetibilidade dos solos e as declividades mais acentuadas evidenciam uma realidade de forte fragilidade emergente, sobretudo para os setores situados próximos às nascentes e às cabeceiras de drenagem. De acordo com as pesquisas realizadas por Rocha *et al.* (2009) e Rocha (2011), esse tipo de ocupação têm promovido diversos problemas ambientais, tais como a concentração de água pluvial, a poluição dos solos e das águas, o assoreamento e ainda a instalação e evolução de processos

erosivos ao longo das ruas e estradas, particularmente os lineares do tipo ravinas e voçorocas.

As classes de classe de fragilidade emergente muito forte e forte correspondem a 22,8% da área das bacias (Tabela 29). No perímetro urbano, os segmentos de baixa vertente apresentam forte fragilidade ambiental emergente em função da ocupação que desencadeia a instalação e o agravamento dos processos erosivos. Estas áreas são vulneráveis à perda de material do solo e a formação da erosão. Muitas delas apresentam declividades fortes a muito fortes e solos com alta erodibilidade (Neossolos Regolíticos e Litólicos). A mata ciliar alterada geralmente ocupa áreas restritas ou mínimas ao longo dos cursos d'água nas bacias. Na tabela 33 e na figura 32 estão indicados os principais pontos de fragilidade ambiental muito forte encontrados na área de estudo.

Tabela 33 - Pontos de fragilidade emergente muito forte da área de estudo.

Pontos	Classes de Solos	Declividade (%)	Uso/Ocupação	Fragilidade Emergente
1	Cambissolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
2	Neossolos	20 a 30	Lavoura temporária	Muito forte
3	Neossolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
4	Cambissolos/Neossolos	20 a 30	Pastagem	Muito forte
5	Neossolos	Acima de 30	Pastagem	Muito forte
6	Cambissolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
7	Neossolos	Acima de 30	Pastagem	Muito forte
8	Cambissolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
9	Neossolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
10	Cambissolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
11	Neossolos	Acima de 30	Vegetação	Muito forte
12	Neossolos	20 a 30	Lavoura Temporária	Muito forte
13	Neossolos	20 a 30	Vegetação	Muito forte
14	Neossolos	Acima de 30	Vegetação	Muito forte

Verificou-se que os principais pontos da classe de fragilidade emergente muito forte estão sendo utilizados para pastagem e/ou vegetação permanente, que configuram usos e ocupações menos exigentes e/ou menos impactantes. Isso permite constatar que o resultado do grau de fragilidade destes pontos está mais relacionado à sua fragilidade potencial e não ao seu uso e ocupação, diferente do que ocorreu em comparação com as áreas de fragilidade emergente média.

A fragilidade emergente muito forte representa uma percentagem muito pequena (1,8 %) na área de estudo (Tabela 29), o que não inibe a importância de usar e ocupar o solo adequadamente.

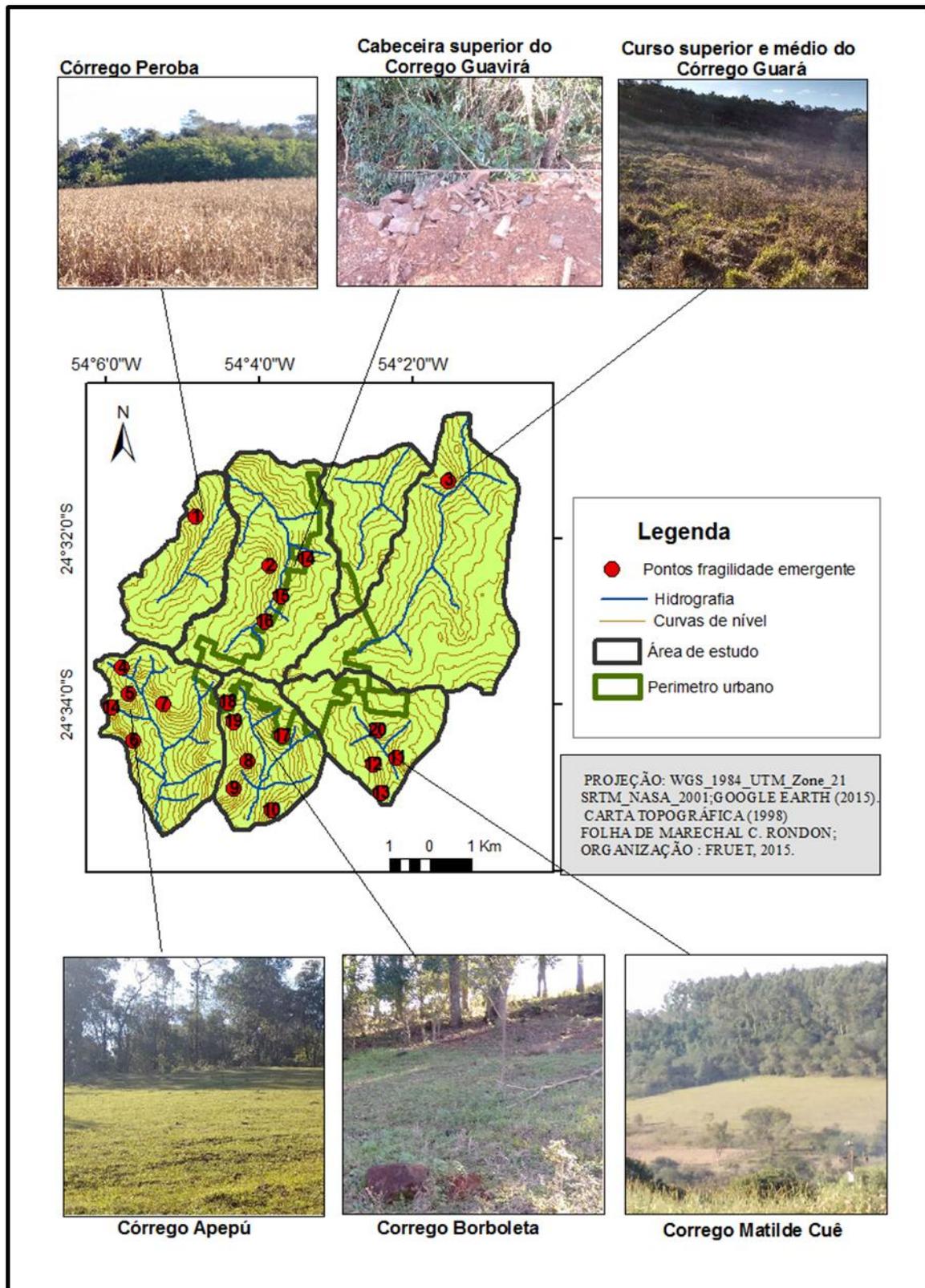


Figura 32 - Mapa dos principais pontos de fragilidade emergente muito forte da área de estudo.

Vale ressaltar que, muitas vezes, a utilização do solo com pastagem ou para fins conservacionistas nas propriedades se dá pelo fato dos proprietários não conseguirem utilizar estes solos para o cultivo devido as suas características naturais ou pela declividade acentuada e, não necessariamente, por preocupação com a conservação dos mesmos.

Quando os resultados do mapeamento de fragilidade potencial são relacionados com a fragilidade emergente, obtém-se uma realidade ambiental diferente das bacias (Tabela 34).

Tabela 34 - Comparação do predomínio das classes de fragilidade da área de estudo.

Bacias Hidrográficas	Fragilidade potencial	Fragilidade emergente
1- <u>Peroba</u>	Muito fraca/fraca	Média/forte
2- <u>Guavirá</u>	Muito fraca/media	Média/forte
3- <u>Bonito</u>	Muito fraca/fraca	Media/forte
4- <u>Guara</u>	Muito fraca/fraca	Média/forte
5- <u>Matilde Cuê</u>	Muito fraca/fraca	Média/forte
6- <u>Borboleta</u>	Média/fraca	Média/forte
7- <u>Apepú</u>	Média/fraca	Média/forte

As classes de fragilidade potencial fraca e muito fraca predominam nas bacias hidrográficas B1, B2, B3, B4 e B5 e as classes fraca e média nas bacias B6 e B7. Quando se analisa as classes resultantes do mapeamento da fragilidade emergente, a realidade é outra, ocorrendo o predomínio das classes média e forte em todas as bacias. Assim constata-se que o uso e ocupação do solo modifica a paisagem e influencia no estado ambiental do meio.

6.3 DISCUSSÕES E PROPOSTAS SOBRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A Constituição Federal estabelece que as cidades que possuem mais de 20 mil habitantes devem instituir um Plano Diretor. O Plano Diretor é o instrumento básico da política urbana dos municípios, tendo por função promover o adequado ordenamento territorial, bem como o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do bem-estar de seus habitantes, de acordo, com o

planejamento e controle do uso do parcelamento e da ocupação do solo, observando as diretrizes da Lei Federal nº 10.257/01 - Estatuto da Cidade.

Nesta perspectiva, as características físico-naturais do meio definem e condicionam o uso e ocupação do solo. Do ponto de vista econômico, explora-se as possibilidades de investimentos e expansão do espaço, diante dos processos de concentração e desconcentração, prevalecendo um planejamento e uma dinâmica de uso e ocupação almejados para um município. Por isso, este trabalho procurou demonstrar, de forma sucinta, que o adequado ordenamento territorial das áreas que estão e serão ocupadas, principalmente as que apresentam as maiores fragilidades, é um assunto que deve ser tratado de forma responsável, no sentido de promover as mais diversas discussões, elaborar estudos e planejamentos sustentáveis para as bacias hidrográficas, neste caso as periurbanas.

As bacias hidrográficas podem sofrer alterações socioambientais por meio da ação antrópica como o uso e a ocupação do solo, desenvolvimento urbano e a retirada da vegetação. Segundo Benedetti (2006), é importante analisar o uso da terra como subsídio básico de planejamento, pois a identificação de diferentes paisagens possibilita a previsão e a ampliação de áreas cultiváveis, seus problemas e soluções, determinando áreas prioritárias. Possibilita, também, os mais diversos usos e ocupação do solo, como por exemplo, agropecuária, silvicultura, entre outros.

A classe de uso e ocupação predominante na área de estudo é das atividades econômicas de caráter agrícola temporária, sobretudo o binômio soja/milho, que estão presentes, principalmente, nas áreas do alto e médio curso das bacias. Nestes setores, principalmente na estação do inverno, entre a colheita e o plantio, grandes áreas permanecem com solos expostos (Figuras 33 e 34). Sendo assim, a falta de cobertura densa destes solos os torna mais suscetíveis à erosão, Além dessas áreas permanecerem mais vulneráveis, quanto menos densa for a cobertura do solo, menor é a capacidade de absorção do mesmo, o que contribui para o aumento do escoamento superficial, acelerando os processos erosivos (Figura 33 e 34).

Observa-se na figura 35 que o manejo inadequado do solo potencializou o transporte e acúmulo de sedimento após um evento de intensa precipitação. As partículas (sólidas) transportadas pelo escoamento superficial têm origem, principalmente, na erosão superficial do solo. As gotas de chuvas caem na superfície do solo, o desagrega, removendo-o e transportando-o. Esse processo é mais intenso quanto menos protegido estiver o solo pela cobertura vegetal; maior for

a intensidade da chuva; maior o grau de declive e maior for a susceptibilidade do solo à erosão (RANIERI *et al.*, 1998).

Em períodos em que o solo não está totalmente exposto, ou seja, quando está ocupado por culturas como o milho e a soja, a fragilidade ambiental é reduzida, o que não isenta a área de problemas erosivos (Figura 36). Para Guerra (1994), a erosão antrópica resulta da ocupação inadequada dos solos por atividades agrícolas ou urbanas, que aceleram e intensificam os processos erosivos devido às condições induzidas ou modificadas pelo homem. As condições mais favoráveis para a erosão estão presentes em solos sem cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados pelo preparo motomecanizado. Estas características ocasionam o aumento na desagregação do solo, diminuição da capacidade de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, o aumento do escoamento superficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Para evitar a exposição do solo, sugere-se o cultivo de gêneros agrícolas como o trigo e a aveia, associado com o plantio direto, para garantir a proteção do solo. Essas técnicas conservacionistas favorecem o acúmulo de palha (matéria orgânica) no solo e contribuem com sua agregação, minimizando o impacto das gotas de chuva e as perdas de solos pela erosão hídrica.

No que se refere às áreas de pastagens, elas naturalmente fornecem maior proteção ao solo do que as áreas ocupadas pelas culturas temporárias. Isso ocorre porque elas desempenham a função de conter os sedimentos transportados superficialmente dos setores de montante, contribuindo, assim, para a redução dos riscos de erosão principalmente nas áreas de baixa vertente (Figuras 37 e 38). Pesquisas realizadas sobre a fragilidade emergente no Córrego Guavirá (ROCHA, 2011) demonstraram que as áreas de pastagens, quando encontradas sobre as vertentes predominantemente planas, com matas ciliares situadas à jusante, contribuem para a preservação da dinâmica hidrológica do mesmo. Essa contribuição atribuída às pastagens (quando manejadas adequadamente) pode ocorrer no sentido de minimizar os impactos desencadeados pelas águas concentradas no perímetro urbano, reduzindo a deposição de material no leito do córrego.



Figura 33 - Solo exposto na bacia do Córrego Guavirá.
Fonte: GEA (2014)



Figura 34 - Solo exposto na bacia do Córrego Apepú
Fonte: GEA (2014).



Figura 35 - Acúmulo dos sedimentos na bacia do Córrego Peroba.
Fonte: GEA (2014).



Figura 36 - escoamento na bacia do Córrego Peroba.
- Fonte: GEA (2014).



Figura 37 - Áreas de pastagem com pecuária do Córrego Borboleta.
Fonte: GEA (2014).



Figura 38 - Processos erosivos no Córrego Peroba.
Fonte: GEA (2014).

Por outro lado, as pastagens voltadas à pecuária extensiva, quando não manejadas adequadamente, principalmente nos setores com declividades mais acentuadas, ou áreas de solos rasos, podem desencadear processos de rastejo e compactação, aumentando o escoamento superficial e ocasionando a evolução rápida dos processos erosivos. Nestes casos, para evitar a degradação do solo, deve haver o controle de permanência e o rodízio do gado nas áreas de pastagem, além de cuidados para manter uma boa cobertura ao solo. Nas bacias analisadas, as pastagens, em geral, se restringem às áreas com condições topográficas e pedológicas não recomendadas às práticas agrícolas.

As áreas ocupadas por vegetação ao longo dos canais fluviais resultaram em muito fraca fragilidade emergente. Contudo nas sete bacias hidrográficas as dimensões da mata ciliar, apresentam inadequações em relação ao Código Florestal (2012). A ausência ou degradação da mata ciliar vegetal nas margens dos Córregos reduzem a proteção dos cursos d'água em relação aos processos de erosão fluvial e pluvial, ocasionando a perda de solo e/ou deposição de sedimentos ao longo dos canais. Nestes casos a recomendação possível seria a adequação da extensão das matas em 30 m como mencionada na tabela 33.

De acordo com a Lei n.º 4.771/65, os córregos devem apresentar mata ciliar equivalente à largura do rio. Neste caso, em que os canais fluviais são menores que 10m, estes deveriam apresentar 30m de mata ciliar em cada uma das duas margens. No entanto, de maneira geral, todos os cursos de água das bacias hidrográficas estão abaixo do valor recomendado. Apenas alguns pontos isolados estão em conformidade a referida Lei (Tabela 33).

A questão do descumprimento do Código Florestal atual tem suas raízes no período de colonização da região, que sofreu com a degradação intensiva e generalizada. Magalhães e Cunha (2005) relataram que o governo financiou o desmatamento e não exigiu o cumprimento das leis ambientais, as quais já existiam na época. Ou seja, o governo financiou e estimulou a degradação ambiental, ancorado na necessidade de aumentar a produção agropecuária a qualquer custo. Exemplos de descumprimento à preservação das matas ciliares e das nascentes são comuns nas áreas agrícolas das bacias, que avançam sobre os segmentos de vertente com solos rasos, como os exemplos retratados na bacia hidrográfica do Córrego Peroba (Figura 39).

Tabela 35 - Largura necessária de Mata Ciliar conforme a lei nº4,771/65.

Largura do Rio	Largura de mata ciliar
Nascente	Raio de 50 metros
Menor que 10 metros	30 metros de cada margem
10 a 50 metros	50 metros de cada margem
50 a 200 metros	100 metros de cada margem
200 a 600 metros	200 metros de cada margem
Maior que 600 metros	500 metros de cada margem

Fonte: Disponível em <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=75545>

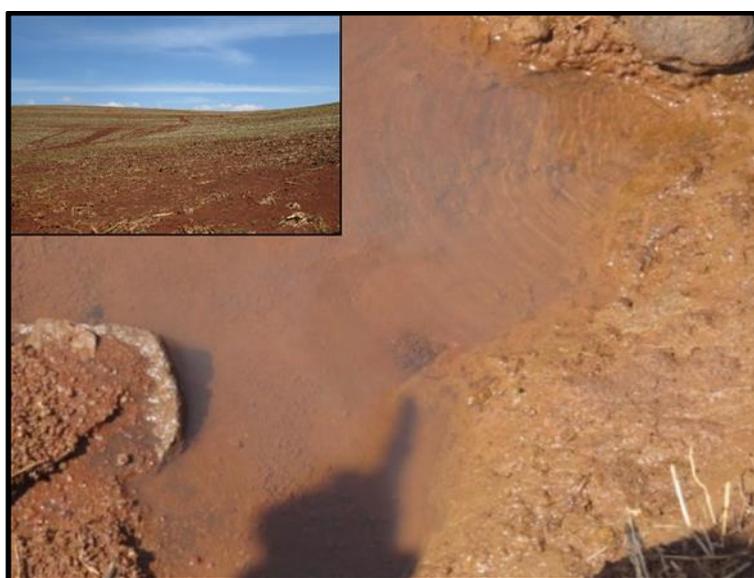


Figura 39 - Nascente em meio a área agrícola (cultivo de soja) na bacia do Córrego Peroba.
Fonte: GEA (2014)

Segundo a resolução nº 303 (BRASIL, 2002), em seu artigo terceiro, as áreas ao redor de nascentes ou olho d'água, ainda que intermitente, constituem Áreas de Preservação Permanentes (APP's), devendo ser considerado um raio mínimo de 50m para sua preservação.

A preservação de nascentes não impactadas pode ser realizada com a construção de cercas, a fim de isolar um raio de 50m, evitando a compactação do solo e a destruição de mudas pela presença de animais. No caso das áreas de nascentes degradadas, como aquelas identificadas na área da bacia hidrográfica do córrego Peroba, deve-se adotar procedimentos para sua recuperação, sendo utilizados alguns sistemas como a regeneração natural. Neste caso, é indicado o

isolamento da área para garantir a autorrecuperação da cobertura vegetal e a implantação de comunidade florestal, técnica utilizada na composição de áreas altamente impactadas, com pouca ou nenhuma vegetação remanescente (SILVA *et al.* 2008).

As áreas urbanas em expansão ocupam áreas mais frágeis do ponto de vista da susceptibilidade à instalação de processos erosivos de origem natural (topográficas e pedológicas) ou antrópica. Conforme visualizado na carta de uso do solo (Figura 23), os loteamentos em fase de implantação e/ou construção têm ocupado áreas de cabeceiras de drenagens e fundos de vale nas bacias hidrográficas, principalmente dos córregos Guavirá, Bonito e Guará, Matilde Cuê e Borboleta. Além disso, quando a expansão urbana descumpra as regras planejadas, as ocupações podem degradar áreas de proteção ambiental, como de mata ciliar, além de poluir córregos e o lençol freático. Tucci (1997) descreve sobre os impactos da impermeabilização que causa, além do aumento do escoamento superficial, a redução da evapotranspiração, do escoamento subterrâneo e lençol freático, o aumento da produção de material sólido e a deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas.

De acordo com as pesquisas realizadas por Rocha *et al.* (2009) e Rocha (2011), esse tipo de ocupação têm promovido diversos problemas ambientais, tais como a concentração de água pluvial, a poluição dos solos e das águas, o assoreamento e ainda a instalação e evolução de processos erosivos ao longo das ruas e estradas, particularmente os lineares do tipo ravinas e voçorocas.

Sobre o processo de expansão urbana de Marechal Cândido Rondon, Oliveira e Dias (2013) descrevem que este, segue direcionado e fortemente influenciado pelos interesses das incorporadoras imobiliárias, com base na horizontalidade e no capital rentista. Os autores destacam que essa expansão urbana horizontalizada, realizou-se com o auxílio da dinâmica de transformação da terra rural em urbana. Ainda segundo os autores, é possível verificar que as áreas que constam no mapa de evolução urbana e tendência de crescimento (Figura 40) estão localizadas em áreas de declividade acentuada, com tendência natural às inundações, o que é agravado devido à impermeabilização, com riscos ambientais aos moradores.

O uso e a ocupação inadequada do solo têm ocasionado diversos problemas ambientais, tais como, a concentração de água pluvial, a poluição dos solos e das

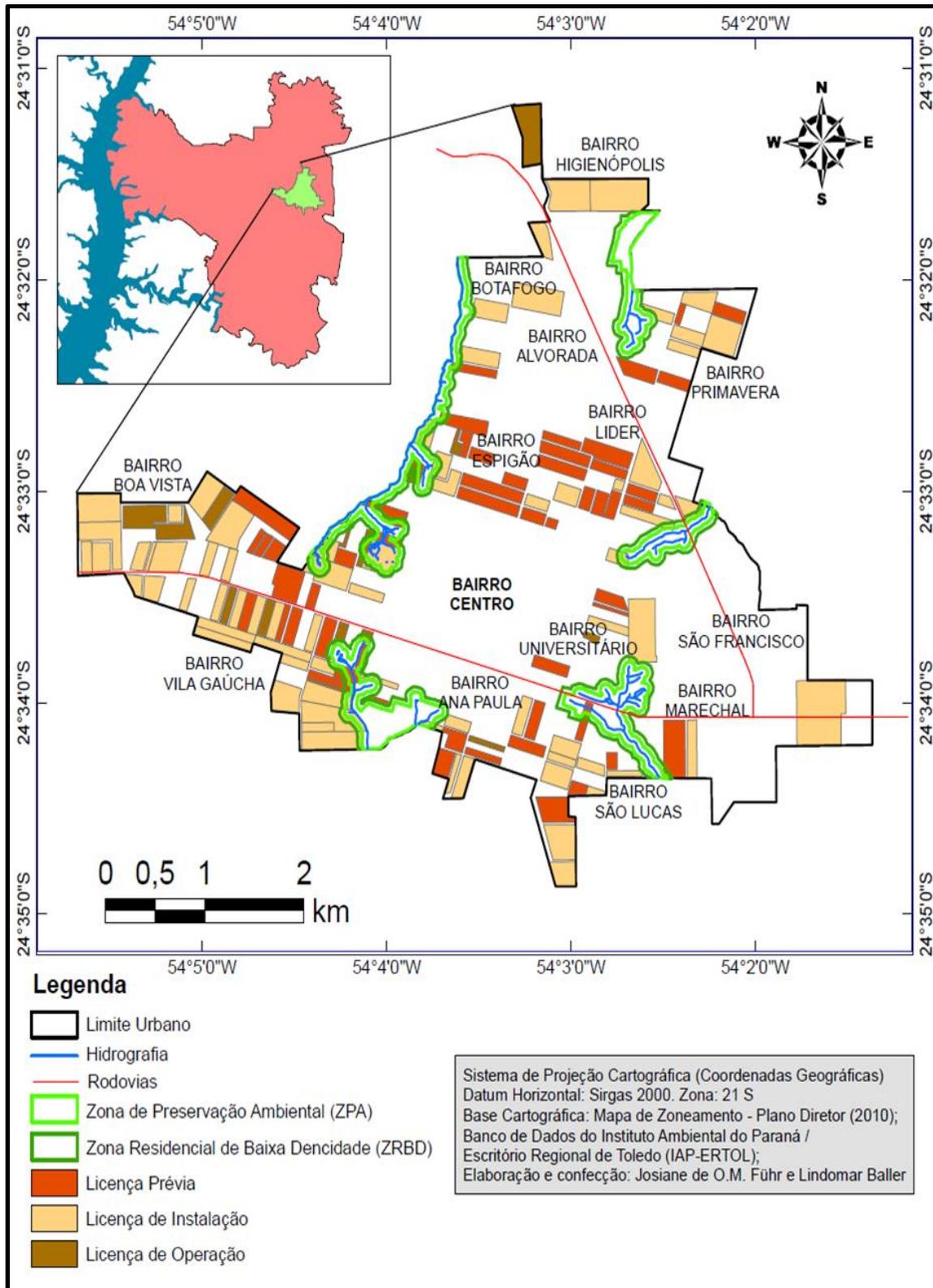


Figura 40 - Mapeamento da tendência de crescimento de Marechal Cândido Rondon
 Fonte: Oliveira e Dias (2013).

águas, o assoreamento dos córregos e ainda a instalação e evolução de processos erosivos ao longo das ruas e estradas, particularmente os lineares do tipo ravinas e voçorocas, além desmoronamentos e a inundações de casas (ROCHA et al., 2009; ROCHA , 2010; BADE, 2011; TIZ & CUNHA, 2014),

Nesse sentido, os autores Iwasa e Prandin (1996) destacam a necessidade de: manter desocupadas as cabeceiras e linhas de drenagem natural, utilizando-as como áreas verdes; conduzir o escoamento das águas pluviais; evitar ruas longas situadas perpendicularmente às curvas de nível; haver previsão de sistemas provisórios de drenagem e implantação de estruturas de dissipação de águas pluviais. A expansão urbana descontrolada, o traçado inadequado do sistema viário e um sistema de drenagem deficitário são as causas de uma série de problemas relacionados ao uso e ocupação urbana.

Para tanto, é necessário um planejamento com conjunto de ações integradas, coordenadas, orientadas e empregadas para diagnosticar a realidade, avaliar as perspectivas e estruturar as medidas a serem executadas, considerando prazos e espaços (PHILIPPI JR. *et al.*, 2004). Para o planejamento de bacias hidrográficas é necessária uma visão integrada da ação antrópica sobre os recursos naturais. No caso das bacias hidrográficas em estudo, há uma pressão para ampliar as áreas urbanas e das culturas concomitantemente, para as quais se necessitam de técnicas e práticas específicas (mas não isoladas conceitualmente e espacialmente) visando à conservação e/ou a preservação dos recursos naturais (ANA, 2004).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fragilidade ambiental de um local está relacionada com a dinâmica natural bem como a antropização do ambiente. Com relação ao equilíbrio ambiental das bacias em estudo, os resultados demonstram que a mesma está submetida a uma fragilidade ambiental tanto potencial quanto, emergente que varia entre baixa e média, respectivamente. Quando considerada a fragilidade potencial das bacias hidrográficas periurbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon, predominam as classes muito fraca e fraca. Com relação à fragilidade emergente, ocorre a predominância da fragilidade ambiental média. No último caso, a associação do uso e ocupação do solo com a fragilidade potencial nas bacias explica o grau de fragilidade estabelecido.

O estudo e mapeamento da fragilidade ambiental das bacias hidrográficas periurbanas pode trazer uma nova contribuição para o conhecimento da realidade ambiental da área. Neste sentido, pode auxiliar na adoção de práticas conservacionistas e de minimização de impactos ambientais mais consistentes com a sua realidade durante as etapas de planejamento e de gestão do uso do solo. Assim, a utilização da bacia hidrográfica, como unidade territorial de planejamento, apresenta-se vantajosa na medida em que podem ser obtidos os dados integrados da qualidade ambiental demonstrada por meio da identificação dos graus de fragilidade ambiental potencial e emergente.

Nas áreas abrangidas pelos setores de topo das vertentes, verificou-se a presença de fragilidades fracas e muito fracas, que estão associadas aos Latossolos Vermelhos. Nas áreas situadas nas médias e baixas vertentes constatou-se principalmente fragilidades médias, declividades entre 6 e 12% e solos do tipo Nitossolos Vermelhos. Em menor proporção verificou-se médias a fortes fragilidades nas áreas com declividades acima de 20%, com predomínio dos solos Neossolos Litólicos e Regolíticos e Cambissolos.

Em relação à fragilidade emergente, foram identificadas classes muito baixas nos setores recobertos por vegetação, seguidas de fragilidades baixas, nas áreas com vegetação e pastagens, próximas aos canais fluviais das bacias. As áreas de média fragilidade emergente foram encontradas em quase toda a extensão das bacias hidrográficas, particularmente nos setores de topos e médias vertentes, ocupados por atividades agrícolas e urbanas. Já as consideradas de forte

fragilidade, estão associadas à forte declividade, solos rasos e a expansão da área urbana.

Nas áreas urbanas consolidadas e em expansão seria necessário, em pesquisas futuras, abordar estudos mais detalhados, considerando as diferenças que estes setores apresentam, tais como áreas mais edificadas do que outras, áreas com a presença de vegetação e áreas onde não ocorre a impermeabilização do terreno, por exemplo.

No que diz respeito à metodologia utilizada, com base nos trabalhos de Ross (1990; 1992; 1994), apresentou-se satisfatória em relação ao mapeamento da fragilidade potencial e emergente nas áreas rurais das bacias. Isto porque foi possível aferir as diversas formas de uso e ocupação a partir dos tipos de solos e declividades encontradas nas áreas.

Quanto ao mapeamento da fragilidade emergente, houve maior dificuldade em adequar o peso das classes da variável de uso e ocupação do solo, considerando que originalmente a proposta utilizada é destinada para áreas rurais e não urbanas. Outra dificuldade que surgiu ao aplicar a metodologia, diz respeito ao peso das variáveis, que considera maior peso para a variável declividade. Assim o mapeamento final recebeu maior influência da declividade.

É válido destacar a utilização das técnicas de Geoprocessamento para o desenvolvimento do trabalho. Atualmente elas são consideradas ferramentas essenciais para estudos ambientais, pois reduzem o tempo da pesquisa e facilitaram a atualização de dados. Diante disso, é interessante ressaltar que os resultados desta pesquisa não constituem a única fonte referencial para as ações de controle ambiental a serem utilizadas para o adequado uso e ocupação das bacias, na medida em que o gerenciamento ambiental de uma bacia hidrográfica implica em análises muito mais complexas e elaboradas.

Neste sentido, cabe salientar que, além dos dados produzidos pela presente pesquisa, outras foram e estão sendo realizadas pelo GEA na área contemplada. Assim, os resultados desse trabalho oferecem interessantes subsídios e questionamentos que, porventura, venham a impulsionar ou motivar outras pesquisas sobre as bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon, juntamente às próprias ações de cunho conservacionistas e alternativas para o desenvolvimento e planejamento regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Legislação básica**. 2. ed., Brasília: ANA, 2007. 336 p.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicação na Agricultura**. Brasília: Embrapa – SPI, 1998.

BADE, Maicol. R. **Definição e caracterização das unidades de paisagem das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/Paraguai)**. Marechal Cândido Rondon, 2014, 114p. Dissertação de Mestrado em Geografia.

BERNARDO, N.R., **Análise de fragilidade ambiental com técnicas de geoprocessamento remoto aplicada aos municípios de Petrópolis e Teresópolis**, RJ. Monografia do curso superior de engenharia ambiental da UTFPR, campus Londrina, 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI. F.N. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1999, 4ª edição.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.

BIGARELLA, J. J.MAZUCHOWSKI, J.Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. In: SIMPOSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Maringá: ABGE/ADEA. 1985, V.1,P. 89-167. Engenharia, 1985, 329p.

BIGARELLA, J. et al.; **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol. II. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996.

BONATO F.; SANTOS, L.J.C.; **Análise de Bacias Hidrográficas em meio Urbano – Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Padilhas – Curitiba/PR**. Monografia de conclusão de curso do programa de Especialização em Análise ambiental, promovido pelo Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná. Trabalho concluído em 2008.

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

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. In: VITTE, A. C; GUERRA, A.J.T. (org). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

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

BOULET, R. **Existence de systèmes a forte différenciation laterale em milieu ferrallitique guyannais: un nouvel exemple de couvertures pédologiques en deséquilibres**. Science du Sol, v. 2, p. 75-92, 1978.

BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia**. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais. Soc. Bras. de Ci. Solo, Campinas, 1988. p. 79-90.

BOULET, R., CHAUVEL, A. e LUCAS, Y. Les systèmes de transformation en Pedologie. Paris, AFES, Livre Jubilaire du Cinquantenaire, p. 167-179, 1984.

BOCQUIER, G. (1973) Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation biogéodynamique. Mém.ORSTOM, v. 62, 351 p.

CABRAL, J.B.P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO, H. F. E.; BECEGATO, V. A. 2011. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. *In.*: GeoFocus (Artículos), nº 11, p. 51-69.

CALVAZARA, S. Uso e Ocupação do Solo e Escoamento Superficial nas Bacias Hidrográficas Urbanas de Marechal Cândido Rondon-Pr – UNIOESTE, 2015.

CAMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. *In.*: ASSAD, E., SANO, E., ed. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 1993.

CARMO J.P. de A.; SILVA, P.D. D'Ouvidio. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. Universidade Federal de São Carlos/Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. Porto Alegre, 2010.

CASSETI, Valter. Geomorfologia. [S.l.];Disponível em :<<http://www.funape.or.br/geomorfologia/index.php>>.2005

CAVALCANTE, M.; O uso de tecnologia no ensino de Geografia: experiência na formação de professores/UNIR-RO/UFPR/LABOGEOPA/UNIR. Porto Alegre, 2009.

CHAUVEL, A. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques de la zone tropicale à saisons contrastées. Paris, 1977. 532 p. Tese - Université de Strasbourg.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CREPANI, et al. (1996) “Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico”. INPE, São José dos Campos, São Paulo.

CREPANI, et al. (2001) “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial”. INPE, São José dos Campos, São Paulo.

CRUZ, L.M.; JUNIOR, J.F.P.; RODRIGUES, S.C. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória-MG. Universidade Federal de Uberlândia.-UFU/Instituto de Geografia. Revista Brasileira de Cartografia No 62/03, 2010.

CUNHA, J.E. da; MORESCO, M.D.; MARTINS, V.M.; NOBREGA, M.T. Distribuição espacial dos solos do trecho superior do Córrego Guavirá Marechal Candido Rondon - PR. *In.*: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2004, Santa Maria - RS. Anais da XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2004.

CUNICO, C. Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi – PR: Perspectiva para a Análise e Avaliação das Condições Sócio-Ambientais. 176 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFPR, Curitiba, 2007.

CURRAN, P. J. Principles of Remote Sensing. London: Longman, 1985.

DIAS, C. C. PEJON, COLLARES. Osni José Eduardo Goulart. Uso de geotecnologias para produção de carta de potencial geomorfométrico ao

escoamento superficial. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n.1, p.175-181, 2006.

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

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3º Ed. rev. Ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 212.

EWALD, K. H. LIMBERGER, L. Caracterização do regime pluviométrico no município de Marechal Cândido Rondon - PR entre os anos 1941 a 2008. Seminário internacional dos espaços de fronteira – UNIOESTE, 2011.

FACCO, R.; NASCIMENTO, V.; WERLANG, M; AITA, R. Propriedades físicas e cobertura pedológica de uma topossequência numa secção de vertente no distrito de Pains, município de Santa Maria-RS. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.2, N.4, p.634 – 645, 2012.

FAIRCHILD, T. R. Terra: passado, presente e futuro In: Decifrando a Terra. Editora Oficina de Textos, 1ª Ed., 558p, 2000.

FERNANDES, M. R. e SILVA, J. C. Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias - Belo Horizonte: EMATERMG. 24p. 1994.

FERNANDEZ, O.V.Q. e SOARES, R. (2002) Análise preliminar da relação entre mata ciliar e estabilidade do canal no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, PR. In: Simpósio Regional de Mata Ciliar, 1, Marechal C. Rondon, PR, 2002. Anais... p. 15-20.

FERRARI, W. J. A expansão territorial urbana de Marechal Cândido Rondon – PR: a produção da cidade a partir do campo. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Dourados, MS: UFGD.

FERRARI, W. J. A especulação imobiliária na “urbanização” de Marechal Cândido Rondon. 2006. 47 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Colegiado do curso de Geografia, Universidade do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.

FERREIRA, F. R. B. (2003). Métodos e técnicas de geoprocessamento aplicados à obtenção de parâmetros geomorfológicos fluviais. Rio Claro: Geografia, v. 28, n.1, p. 45-62.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3ª ed. Ampliada e atualizada. São Paulo: editora Oficina de Textos, 2011.

FUHR, J.; DIAS,E.S.; Impactos Socioambientais Provocados Pelo Processo De Expansão Urbana De Marechal Cândido Rondon- Revista Perspectiva Geográfica-Unioeste, PRV.8, N.9 2013

FLORENZANO, T.G. (2002) Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo, Oficina de Textos.

- FREITAS, A.R. A repercussão da legislação na dinâmica do uso da terra na bacia do rio Cará-Cará, Ponta Grossa – PR, no período de 1980 a 2007. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.
- GALETI, Paulo Anestar. Conservação dos solos – reflorestamento - clima. 2 ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrônomo, 1989.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.
- GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (orgs). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996, 394p.
- GUERRA, A.J.T. A erosão de solos no contexto social. Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 17, 1994.
- GOODCHILD, M. F. Geographic Information Science and Systems for Environmental Management. Annual Reviews Resource Environmental, 2003, pp. 493-519.
- IAPAR (Fundação Instituto Agrônomo do Paraná). Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná. Curitiba, 1994.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manual técnico de geomorfologia. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manual técnico de uso da terra. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Download dos dados SRTM. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em março de 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: março de 2015
- ITCG – Instituto de Terras, Cartografias e Geociências. Carta de Solos e Hidrografia disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>.
- IWASA, O. Y; PRANDINI, F. L. Diagnóstico da origem e evolução de Boçorocas: condição fundamental para a prevenção e correção. Simpósio sobre Controle de Erosão. Curitiba, 1980.
- JANJAR, C. Estudo morfopedológico do município de Marechal Cândido Rondon, Região Oeste do Estado do Paraná. Francisco Beltrão, 2010. 99p. Dissertação (Mestrado em Geografia) –Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- KAMPF, N. e CURI, N.. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, F. R.; ALVAREZ, V. H. e SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 107-138. 2000.
- KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Goiânia, Brasil, 2005, p. 2203-2210.

LACERDA, M. P. C.; QUEMÉNÉUR, J. J. G.; ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. Estudo da relação pedomorfogeológica na distribuição de solos com horizontes B textural e B nítico na paisagem de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 271-284, 2008.

LEPSCH, Igor F. "Formação e Conservação dos Solos". Oficina de Textos, São Paulo. 2002.

LIMA, S. do C. Aprendendo pedologia com arte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8, 1999, Belo Horizonte. *Uso Múltiplo dos Recursos Naturais*. Belo Horizonte, Editora Gráfica Ana Pontes, 1999.

LOCH, R. E. N. Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2006.

MAACK, R. Geografia física do Paraná. Curitiba: Pap. Max. Roesner, 1981.

MAGALHÃES, V. L. Os sistemas pedológicos e paisagem na bacia da Sanga Clara Marechal Cândido Rondon-PR. UEM. Maringá. 2008. 93 p. (Dissertação de Mestrado).

MAGALHÃES, V. L. e CUNHA, J. E. O solo como base da sustentabilidade agrícola: estudo de caso no município de Marechal Cândido Rondon-PR. - *RA´E GA*, Curitiba, n. 12, p. 179-193, 2006. Editora UFPR.

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

MARINHO, V. L. F. e MORETTI, M. E. C. Os caminhos das águas: As políticas públicas ambientais e criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas Geosul, Florianópolis, v. 28, n. 55, p 123-142, jan./jun. 2013.

MASSA, E. M. ROSS, J. L.S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, Volume 24 (2012), p. 57-79.

MENEGUZZO, P. M.; THOMAZ, E. L. Uso da terra na Bacia do Arroio da Ronda (Ponta Grossa/PR) e sua influência nos processos geomorfológicos no período de 1980 A 2009. *RA´E GA*, Curitiba, n. 20, p. 67-79, 2010. Editora UFPR.

MEZZOMO, M. M. Vulnerabilidade ambiental do município de Marechal Cândido Rondon-PR. *Anais do IV Encontro de produção científica e tecnologia, Geografia, UFPR 20 a 23 de outubro de 2009*.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for Eats Africain soils. *Soil Research*, suppl. Proc. Int. Soc. Soil Sci. v. IV(3), p. 183-198, 1935.

MILNE, G. Normal erosion as a factor in soil profile development. *Nature*, v. 26, p. 548-549, 1936.

MILNE, G. Soil reconnaissance journey through parts of Tanganika territory, December 1935 to February 1936. *The Journal of Ecology* XXXV (1 e 2), reprinted on Amani Memoirs, p. 192-265, 1942.

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S.A. Projeto Riquezas Minerais – Avaliação do Potencial Mineral e Consultoria Técnica no Município de Marechal Cândido Rondon. Relatório Final, 2001.

MORESCO, M. D. Estudos de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon- PR. UEM. Maringá. 2007. 137p. (Dissertação de Mestrado).

MORESCO, M. D. Indicadores de Risco a erosão em uma topossequência de solos trecho superior do Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon-PR. 2004 48p. (monografia em Geografia) CG, CCHEL, UNIOESTE, Marechal Candido Rondon.

NASA. Instituto de Tecnologia da Califórnia. Jet Propulsion Laboratory. 2005. Disponível em <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>>. Acesso em: abril de 2015.

NETO, J.C.A.S. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. Geografia (Londrina), v. 22, n. 1.p.05-25 jan/abr. 2013.

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

OLIVEIRA, P. C. A. Fragilidade ambiental e uso do solo da bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia – MG, Brasil. Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 3 n. 1 2008.

OLIVEIRA, J. B. de. Pedologia aplicada. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2005, 574p.:il.

PASCALE, J. Factores formadores del suelos. In: CONTI, M. princípios da edafologia: em ênfasis em suelos argentinos. 2 ed. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000.

PENTEADO, M. M. Fundamentos de geomorfologia. Rio de Janeiro:Fundação IBGE, 1974.

PENTEDO, M. M. Fundamentos de Geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 154p.

PFLUCK, L. D. Mapeamento geo-ambiental e planejamento urbano: Marechal Cândido Rondon-PR / 1950-1997. Cascavel, PR: Edunioeste, 2002. 128 p.

PFLUCK, L. D. Riscos ambientais: enxurradas e desabamentos na cidade de Marechal Cândido Rondon – PR, 1980 e 2007. Santa Maria 2009, tese de doutorado – UFSM.

PHILIPPI, A., JR., ROMÉRO, M. A., e BRUNA, G. C.. Uma Introdução à Questão Ambiental. In: A. Philippi Jr., M. A. Roméro, e G. C. Bruna (Orgs.). Curso de Gestão Ambiental (p. 3-16). Barueri: Manole. 2004.

PINESE, J. P. P.; NARDY, A. J. R. Contexto geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense. In: I ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE, 2003, Maringá, Anais... Maringá: UEM, 2003. 1CD-ROM.

PORTO, R. L. A L; ZAHED, F. K. Bacias Hidrográficas, Escola Politécnica da USP, PHD 307, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 1999. Disponível em:http://www.ufmt.br/ppgrh/ementas/rh/Apostila_Bacias_Hidrograficas-USP.pdf

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. IN: CONGRESSE BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 1988. Campinas: SBSCS, 1988.

QUEIROZ NETO, J. P. de. Pedogênese e evolução das formas de relevo no Planalto Ocidental Paulista: o exemplo da região de Marília. *In: Anais do V Simpósio de Geografia Física, São Paulo, p. 505-510, 1993.*

QUEIROZ NETO, J. P. de. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Uma Experiência de Ensino e Pesquisa. *Revista do Departamento de Geografia, p. 77-90, 2002.*

QUEIROZ NETO, J. P. de. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra. 2010. p.02-19.

QUEIROZ NETO, J. P. de ; PELLERIN, J. (1994) Solos e relevo no alto vale do rio do Peixe – Oscar Bressane (S. Paulo, Brasil). *Rev. Dep. Geogr. 777:25-34.*

RANIERI, S.B.L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M.P.; DOURADO NETO, D. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.4, p.751-60, 1998.*

RESENDE, M. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.

RESENDE, M.: et al. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 4.ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338P. : il.

ROCHA, A. S.; TIZ, G. J.; CUNHA; J. E.. Caracterização dos processos erosivos em cabeceiras de drenagens da área periurbana da cidade de Marechal Cândido Rondon-Pr. *In: 8º SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 2009, São Paulo.*

ROCHA, A. S. Morfopedologia e fragilidade ambiental nos fundos de vale do trecho superior do córrego Guavirá Marechal Cândido Rondon-PR. *Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Francisco Beltrão, 2011.*

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. - O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, n.º 6, 17-29, 1992.*

ROSS, J. L. S. “Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados”. *In: Revista do Departamento de Geografia, nº 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.*

ROSA, R. (2005). Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia, p. 81-90.*

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R.; Cartografia Temática: uma contribuição na análise geográfica do município de Barão de Cotegipe/RS. *Ateliê Geográfico Goiânia-GO v. 6, n. 2 ago/2012, p. 33-54.*

RUELLAN, A. Pedologia e desenvolvimento: a ciência do solo ao serviço do desenvolvimento. *In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Campinas, SBCS, 1988. p. 69-74.*

RUELLAN, A.; DOSSO, M. Regards sur le sol.Paris: Les Éditions Foucher, 1993. 192p.

- SALOMÃO, F. X. T. (1994) Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização e cartografia aplicada ao controle preventivo urbano e rural. 1 v. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SAMPAIO, T. V. M. Índice de Concentração da Rugosidade (ICR): uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de geotecnologias. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, SBGFA. Anais Viçosa, MG, 2009. On-line: Acesso em: 02/abril. 2012. Disponível em: Silverman, B. W.
- SANTOS, A. Pedogênese e alterações geoquímicas em topolitossequências na bacia do ribeirão do cachimbal na região do médio vale do Paraíba, RJ. Tese de doutorado. UFRRJ / Biblioteca Central / Divisão de Processamentos Técnicos, 2009.
- SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 7, p. 03-11, 2006.
- SAYDELLES; A. P; SARTORI, M.G.B; Análise da Insolação Direta nas Vertentes do Bairro Centro da Cidade de Santa Maria-RS. X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADAUFMS, Santa Maria-RS, 2007.
- SCHWERTNER, R. W. Identificação e mapeamento de processos erosivos lineares nas principais cabeceiras de drenagem da área periurbana da cidade de Marechal Cândido Rondon-PR. 2003. 60f. Monografia (Graduação em Geografia) –Colegiado do curso de Geografia, Universidade do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.
- SEBUSIANI, H. R. V. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, GeDR • Taubaté, SP, Brasil, v. 7, n. 1, p. 256-285, jan./abr. 2011.
- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. C.; “Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Agência Nacional de Energia Elétrica; Agências Nacionais de Águas, 3ª ed., Brasília, 2001.
- SILVA, A. M. Princípios Básicos de Hidrologia. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras-MG. 1995.
- SILVA, A. M. et al. Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. 2. ed. São Carlos: RIMA, 2007.
- SILVEIRA, G.L.; Gerenciamento de recursos hídricos no Rio Grande do Sul – Histórico e Proposta de Sistema Estadual. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica. Rio de Janeiro, 1991.
- SIMON, A.A. e POMEIO, C.A.; Teorias dos Sistemas em microbacias: Subsídios Teóricos. Mestrado em Utilização e Conservação dos Recursos Naturais. UFSC: Florianópolis, 1993.
- SOUSA, F.A. de S.; RODRIGUES, C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. Mercator, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012. Universidade Federal do Ceará.
- SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.15-20, nov./dez. 2000.

- SPORL, C. Análise de fragilidade ambiental solo-relevo com a aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari – Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão do Prata. Dissertação de mestrado. USP, FFLCH, São Paulo 2001.
- SPÖRL, C. Metodologia para Elaboração de Modelos de Fragilidade Ambiental Utilizando Redes Neurais Artificiais. Tese Doutorado. USP – São Paulo. 2007.
- SPÖRL, C. ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, nº 15, p.39-49, 2004.
- STOLLE, L. Simulação e espacialização da fragilidade ambiental em relação às atividades florestais. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Florestal, UFPR, 2008, 91 p.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. Geological Society of America Bulletin, v. 63, p.1117-1142, 1952.
- STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, Ven Te (Ed.). *Handbook of applied Hidrology*. New York:McGraw-Hill, 1964. p. 4.39-4.76.
- TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Revista Uniara, n.20, p.137-156, 2007.
- TIZ, G. J. Caracterização da fragilidade a processos erosivos das Unidades de paisagem do município de marechal Cândido Rondon – Paraná. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Francisco Beltrão, 2009.
- TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In:
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. p. 139-166.
- TRICART, J. Mise en point: l'évolution des versants. L'information géographique, (21):108-15, 1957.
- TRICART, J. Classificação ecodinâmica do meio ambiente. In: Ecodinâmica. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.
- TUCCI, Carlos. A água no meio urbano IN: Água doce. UFRS, 1997.
- VALERIANO, M. de M. Topodata: Guia Para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008, 75 p.
- WERLANG, M.K. et al. Cobertura pedológica em topossequência de vertentes na área experimental do departamento de solos/ campus da Universidade Federal de Santa Maria - Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM -Ciência e Natura, Santa Maria, ISSN: 2179-460X, v. 35 n. 2 dezembro, 2013, p. 190-205.
- XAVIER, J. O que é Geoprocessamento? Revista do Crea RJ, Rio de Janeiro, v.79, p. 42 - 44, 30 out. 2009.

APÊNDICES

1- Parâmetros morfométricos relativos à drenagem das bacias hidrográficas de Marechal Cândido Rondon:

Parâmetros morfométricos	Classificação Ponderada	Parâmetros Empregados
Área de drenagem (km ²)	Tamanho	ArgGis 9.3
Perímetro (km)	Traçado	ArgGis 9.3
Comprimento do canal principal (km)	Tamanho	$L_c = \sum(l_{nu})$ (Horton, 1945)
Comprimento total da rede de drenagem (km)	Tamanho	$L_t = \sum(l_{nu}, nu+1)$ (Horton, 1945)
Ordem do canal principal	Ordem da Bacia	Método de Strahler (1952)
Declividade média (%)	Rampa	$D_m = (l_p - D_{min}) \cdot 100$ (Strahler, 1958)
Densidade de drenagem (km/km ²)	Tipo de Drenagem	$D_d = L_t/A$ (Horton, 1945)
Densidade de rios (Dr)	Capacidade de gerar novos cursos	$D_r = N/A$ (Christofolletti, 1980)
Coeficiente de compacidade (Kc)	Forma geométrica	$K_c = \{(0,282 \cdot P)/\sqrt{A}\}$
Índice de circularidade (IC)	Forma geométrica e tipo de escoamento	$I_c = \{(12,57 \cdot A)/P^2\}$
Índice de rugosidade (Ir)	Tipo	$I_r = D_d/H_m$ (Strahler, 1958)