

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**NOVAS CONTRIBUIÇÕES AO MODELO DE FRAGILIDADE
AMBIENTAL À PROCESSOS EROSIVOS: ESTUDO DE CASO
APLICADO AO PERÍMETRO URBANO DE
RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO**

Alesson Pires Maciel Guirra
Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT, novembro de 2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS**

**NOVAS CONTRIBUIÇÕES AO MODELO DE FRAGILIDADE
AMBIENTAL A PROCESSOS EROSIVOS: ESTUDO DE CASO
APLICADO AO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS, MATO
GROSSO**

por

Alesson Pires Maciel Guirra

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Ambiente e Sociedade
Linha de Pesquisa: Geotecnologias Aplicadas à Gestão e Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Caio Augusto Marques dos Santos

Rondonópolis-MT, novembro de 2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
Rodovia Rondonópolis-Guiratinga, km 6 (MT-270) - - Cep: 78735901 -Rondonópolis/MT
Tel : (66) 3410-4020 - Email : mestrado_ppgeo_cur@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO : "NOVAS CONTRIBUIÇÕES AO MODELO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL À
PROCESSOS EROSIVOS: ESTUDO DE CASO APLICADO AO PERÍMETRO URBANO DE
RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO"**

AUTOR : Mestrando ALESSON PIRES MACIEL GUIRRA

Dissertação defendida e aprovada em 24/11/2017.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador	Doutor(a)	Caio Augusto Marques dos Santos
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Interno	Doutor(a)	Normandes Matos da Silva
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Externo	Doutor(a)	Isabel Cristina Moroz Caccia-Gouveia
Instituição :	UNESP - Presidente Prudente	
Examinador Suplente	Doutor(a)	José Adolfo Iriam Sturza
Instituição :	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	

RONDONÓPOLIS, 11/12/2017.


Prof. Dr. Simone Maria Loverde Oliveira
Vice Coordenadora do
Programa de Pós-Graduação em Geografia
ICHS / CUR / UFMG
SIAPE: 1152559

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G965n Guirra, Alesson Pires Maciel.
NOVAS CONTRIBUIÇÕES AO MODELO DE
FRAGILIDADE AMBIENTAL À PROCESSOS EROSIVOS:
ESTUDO DE CASO APLICADO AO PERÍMETRO URBANO DE
RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO / Alesson Pires Maciel
Guirra. -- 2017
169 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Caio Augusto Marques dos Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Programa de Pós-
Graduação em Geografia, Rondonópolis, 2017.

1. metodologia. 2. fragilidade ambiental. 3. planejamento
urbano-ambiental. I. Título.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

Dedico este trabalho ao meu alicerce e porto seguro, a família Maciel Guirra.

“Uma das grandes revelações da era da exploração espacial é a imagem da Terra, finita e solitária, de alguma forma vulnerável, transportando a espécie humana inteira pelos oceanos do espaço e do tempo.” *Pale Blue Dot* (pálido ponto azul), Carl Sagan.

AGRADECIMENTOS

- ✚ Agradeço primeiramente aos meus queridos e amados pais, Maria Angélica Pires Maciel Guirra e Anísio Guirra Camargo Filho, pelo dom da vida e por serem meus guias, sou muito grato por ser filho de vocês.
- ✚ Aos meus irmãos, conselheiros e amigos, Ana Paula P. M. Guirra e Alessandro P. M. Guirra, vocês são luzes no meu caminho, obrigado pela companhia.
- ✚ Aos meus sobrinhos, integrantes novas da família que a cada dia amo mais e mais, Maitê, Enzo, Ayla Sofia e Lara Pietra.
- ✚ Ao meu afilhado Lucas pelos seus recém quatro anos de idade, que sua vida seja de muita saúde e sucesso. Enfim a todos da família Maciel Guirra, vocês são presentes em minha vida.
- ✚ Ao universo pelas inúmeras possibilidades que ele nos dá de aprender e sermos melhores com nós mesmos e para com os outros, a natureza que disponibiliza seus recursos, sustentando a nossa existência nesse pálido ponto azul.
- ✚ As pessoas que durante esta importante etapa pude conhecer, em especial o Prof. Dr. e orientador Caio Augusto Marques dos Santos, pela confiança depositada em minha pessoa, pela serenidade na condução deste trabalho e discussões.
- ✚ Aos membros desta banca, Prof. Dr. Normandes Matos da Silva e Prof. Dra. Isabel Cristina Moroz, pelas sugestões apresentadas para aperfeiçoamento deste trabalho e das possibilidades de publicações de artigos.
- ✚ Aos meus amigos e colegas que aqui pude conhecer e conviver, Patrícia, Rubens, Hemily, Ana Mello, Wérica, Melissa, M. Antônio, Cristiane, Daise, Deleon, Marcelo, Francisco, Adinael, Rodrigo, Simone, Tatiane, Gustavo e Camila.
- ✚ A UDV, pela receptividade, aconselhamentos, e compartilhamento de luz, paz e amor.
- ✚ Aos professores do programa de pós-graduação em geografia desta universidade, principalmente aqueles que nos motivaram, com opiniões, sugestões de bibliografia e na delimitação dos objetivos desta pesquisa: Prof. Dr. Carlo Eugênio Nogueira, Prof. Dr. Jeater Waldemar Maciel Corrêa Santos, Prof. Dr. Jorge Luiz Gomes Monteiro, Prof. Dr. Fábio Angeoletto, Profa. Dra. Anny Keli e a Profa. Dra. Laura Varone da Universidade de Roma.
- ✚ Aos professores que me acompanharam em atividades de estágio-docência e de extensão, Prof. Dr. José Roberto Tarifa, Prof. Dr. Ronei Coelho de Lima e Profa. Dra. Miriam Mundt Demamann.
- ✚ Agradeço a Geologia Empreendimentos LTDA (GEOEMP), nas pessoas de Márcio Roberto Souza Rocha e Thiago Faleiros Santos, pela oportunidade de ter trabalhado nos mapeamentos geológico-geotécnicos de susceptibilidade, aptidão à urbanização e riscos à movimentos de massa e eventos hidrológicos, para o Plano Diretor Municipal de Rondonópolis, agregando informações relevantes para a caracterização e diagnóstico deste ambiente físico-territorial.
- ✚ Agradeço a oportunidade que a geografia me permitiu de ampliar minha visão de mundo, de enxergar e analisar fenômenos naturais e antrópicos de forma holística, em multiescalas, multicritérios e multitemáticas, buscando o entendimento do contexto histórico, para verificar os motivos do desencadeamento de processos no presente.
- ✚ Sem dúvida, a união das geociências (geologia e geografia) será capaz de dar suporte a soluções que se apresentam cada vez mais complexas no nosso cotidiano. Me sinto contemplado de ser um Geólogo com formação humanística a nível de mestrado, e poder ter aplicado esta pesquisa no ambiente urbano de Rondonópolis-MT, que a partir dessa data se torna efetivamente parte da minha história acadêmica e profissional. Obrigado a todos vocês e que venham novos desafios!

“CUM MENTE ET MALLEO”.

NOVAS CONTRIBUIÇÕES AOS MODELOS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL À PROCESSOS EROSIVOS: ESTUDO DE CASO APLICADO AO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO

Alesson Pires Maciel Guirra

Novembro / 2017

Orientador: Caio Augusto Marques dos Santos, Professor Doutor

Área de Concentração: Ambiente e Sociedade

Linha de Pesquisa: Geotecnologias Aplicadas à Gestão e Análise Ambiental

Palavra-chave: Processos Erosivos, Geotecnologias Aplicadas, Fragilidade Urbana-Ambiental

Número: 030

RESUMO

Este estudo aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis-MT, traz novas adaptações e complementações as metodologias e conseqüentemente aos modelos de fragilidades ambientais a processos erosivos, sobretudo aqueles realizados em áreas urbanizadas ou com tendências à urbanização. Avaliou-se as classes e graus das fragilidades ambientais associados a cada tipo de variável geoambiental, sendo elas: relevo (declividade e formas do terreno), erodibilidade das ordens de solo considerando os efeitos da urbanização, elementos climáticos da chuva (intensidade pluviométrica e erosividade), características geológica-estruturais dos grupos de rochas (resistência mecânica a erosão, densidade de descontinuidades geológica-estruturais e densidade destas interseções), sendo possível caracterizar as fragilidades ambientais potenciais deste território. Combinando estas variáveis ao modelo de fragilidades ambientais associadas aos níveis de urbanização e grau de proteção e cobertura do solo, obteve-se as fragilidades ambientais emergentes. Verificou-se que a o modelo de análise proposto, integrando novas variáveis geoambientais, indispensáveis ao diagnóstico holístico dos sistemas urbano-ambientais, caracterizaram de forma mais coerente a perda de material por erosão linear no cenário atualmente vigente, servindo de apoio ao zoneamento ambiental intuito através do Plano Diretor deste município.

Palavras-chaves: metodologia, fragilidade ambiental, planejamento urbano-ambiental.

NEW CONTRIBUTIONS TO THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY MODELS TO EROSION PROCESSES: A CASE STUDY APPLIED TO THE RONDONÓPOLIS URBAN PERIMETER, MATO GROSSO

Alesson Pires Maciel Guirra

Novembro / 2017

Advisor: Caio Augusto Marques dos Santos, Ph.D.

Area of Concentration: Environment and Society

Research Line: Geotechnologies Applied to Environmental Management and Analysis

Keyword: Erosive Processes, Applied Geotechnology, Urban-Environmental Fragility

Number:

ABSTRACT

This study applied to the urban perimeter of Rondonópolis-MT, brings new adaptations and complements to the methodologies and consequently to the models of environmental fragilities to erosive processes, especially those carried out in urbanized areas or with tendencies to urbanization. The classes and degrees of the environmental fragilities associated to each type of geoenvironmental variable were evaluated: relief (slope and terrain forms), erodibility of soil orders considering the effects of urbanization, climatic elements of rainfall (rainfall intensity and erosivity), geological-structural features of the groups of rocks (mechanical resistance to erosion, density of geological-structural discontinuities and density of these intersections), being possible to characterize the potential environmental fragilities of this territory. Combining these variables with the model of environmental fragilities associated to the levels of urbanization and degree of protection and soil cover, we obtained the emerging environmental fragilities. It was verified that to the proposed analysis model, integrating new geoenvironmental variables, indispensable to the holistic diagnosis of urban-environmental systems, characterized in a more coherent way the loss of material by linear erosion in the current scenario, serving as support to the environmental zoning of the Master Plan of this municipality.

Keywords: methodology, environmental fragility, urban-environmental planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Localização do perímetro urbano de Rondonópolis-MT (PUR).....	22
Figura 2.1 – Tratamento de imagem ALOS PALSAR modo FBD para o refinamento da extração de alguns parâmetros morfométricos do relevo.....	29
Figura 2.2 – Blocos diagramas das formas do terreno com o gradiente de atuação dos fluxos no escoamento superficial, sendo a porção esquerda (vermelho) concentradora de fluxos do escoamento superficial, com maior tendência a alterações da morfogênese, e a porção direita, dispersora do escoamento superficial, mais favorável à pedogênese (verde).....	30
Figura 2.3 – Metodologia para correlacionar classes e graus de fragilidade ambiental as formas das vertentes. (PARTE 01).....	31
Figura 2.4 – Metodologia para correlacionar classes e graus de fragilidade ambiental as formas das vertentes. (PARTE - 02).....	32
Figura 2.5 – Combinação entre curvaturas horizontal e vertical, obtenção das formas, correlação com tipo de fluxo resultante e parametrização com classes e graus de fragilidade ambiental associados às formas do terreno.....	33
Figura 2.6 – Relação das formas das vertentes com fluxo superficial resultante.....	34
Figura 2.7 – Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade ambiental dos solos quanto ao nível de urbanização.....	37
Figura 2.8 – Localização das estações pluviométricas com suas respectivas fontes e modelo digital de terreno.....	38
Figura 2.9 – Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade associada à intensidade pluviométrica.....	43
Figura 2.10 – Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade associada à erosividade.....	46
Figura 2.11 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade dos grupos de rochas e demais materiais geológicos quanto à erosão mecânica.....	54
Figura 2.12 – Tratamento da imagem de radar para extração semiautomática das discontinuidades geológica-estruturais evidenciadas em subsuperfície. (PARTE 01).....	56
Figura 2.13 – Algoritmo utilizado na filtragem das discontinuidades geológica-estruturais extraídas da superfície sombreada do terreno. (PARTE 02).....	57
Figura 2.14 – Divisão dos intervalos no diagrama de rosetas pelo histograma de direção das linhas...58	
Figura 2.15 – Esquema do cálculo da densidade de lineamentos, sendo C1 e C2 os comprimentos dos lineamentos inseridos na área do círculo.....	59
Figura 2.16 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade ambiental geológico-estrutural (PARTE 04).....	60
Figura 2.17 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade ambiental geológico-estrutural (PARTE 05).....	62
Figura 2.18 – Aquisição das cenas da imagem CBERS-4 que abrangem a área de estudo. (PARTE 01).....	63
Figura 2.19 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade quanto ao nível de urbanização. (PARTE 02).....	64

Figura 2.20 – Esquema metodológico elaborado neste estudo. Onde: D (%) = declividade, FD (%) fragilidade da declividade, CH (3) = Curvatura horizontal, CV (3) = Curvatura vertical, CS = Carta pedológica, MM = Precipitação média mensal, MA = Precipitação média anual, CG = Carta geológica, CD = Carta de descontinuidades geológica-estruturais, CID = Carta de interseção de descontinuidades geológica-estruturais, CB = Combinação, CC = Coeficiente de chuva, AG = Atributos geotécnicos, DL = Densidade linear, DK = Densidade de Kernel, F [D(%), T (9), Tr (5), R, S, IP, E, L, DD, DID, C, GE, AP, NUa, AE] = Fragilidades de declividade, das formas do terreno, das formas do terreno parametrizadas, do relevo, do solo, da intensidade pluviométrica, da erosividade, das unidades litoestratigráficas, de densidade de descontinuidades geológica-estruturais, de densidade de interseção de descontinuidades geológica-estruturais, climática, geológica estrutural, ambiental potencial, do nível de urbanização adaptada, ambiental emergente.....	67
Figura 3.1 – Relação entre as principais metodologias de análise ambiental aplicada à processos erosivos, desenvolvidas no Brasil, derivadas dos conceitos de Ecodinâmica.....	77
Figura 3.2 – Fluxograma geral da metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico.....	78
Figura 3.3 - Adaptação do diagnóstico de fragilidade ambiental de acordo com a escala e o ambiente.....	80
Figura 3.4 – Adaptação do diagnóstico de fragilidade ambiental de acordo com o ambiente.....	83
Figura 3.5 – Esquematização do nível de relação existente entre escala geográfica e escala cartográfica e as denominações adequadas para os documentos cartográficos emitidos.....	96
Figura 3.6 - Escala geográfica versus cartográfica, em (1) representação do meio físico natural e/ou antrópico induz a necessidade de escolha da dimensão dos dados espaciais, graduando desde o global ao local (2), geograficamente e cartograficamente em escalas graduando de extremamente pequenas a extremamente grandes, o que é possível devido ao efeito de redução (3). Com o uso de geotecnologias o <i>layout</i> digital ativo permite a modificação das escalas com efeitos de <i>zoom in</i> (+) ou <i>zoom out</i> (-), confundindo alguns usuários de geotecnologias com a alteração constante entre a escala geográfica e cartográfica no ambiente computacional/informatizado, necessitando da fixação de uma escala padrão, tal como se faz para representação em folhas com formatos pré-estabelecidos (5).....	97
Figura 3.7 – Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média mensal do PUR.....	101
Figura 3.8 – Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média anual do PUR.....	102
Figura 3.9 – Figura do mapa geomorfológico PUR, identificando até o 4º táxon (Tipos de Formas do relevo), de acordo a hierarquia escalar de observação e detalhamento topográfico, proposta por Ross (1994).....	105
Figura 3.10 – Carta litoestratigráfica da Bacia do Paraná, com destaque no quadrado vazado de borda vermelha para o contexto regional em que se insere o embasamento sedimentar do PUR.....	107
Figura 3.11 – Arenito branco amarelado, fino a grosso, com estratificação plano paralela com camadas diageneticamente silicificadas exposto ao longo de perfil de vertente côncava.....	108
Figura 3.12 – Arenito intemperizado, estratificado, friável e fraturado.....	108
Figura 3.13 – Exposição em planta de arenito quartzoso médio à grosso esbranquiçado intemperizado com lâminas e camadas ferruginosas, situado em superfície de inundação do córrego Lourencinho.....	108
Figura 3.14 - Erosão linear e laminar em siltito intemperizado exposto.....	109
Figura 3.15 – Siltito intemperizado friável em local de baixa declividade de vertente convexa e colina alongada de topo plano.....	109
Figura 3.16 - Siltito fraturado de baixa coesão, com fraturamento persistente e penetrativo em várias direções, em local de declividade média.....	109

Figura 3.17 – Erosão do tipo ravina em solo residual sotoposto a siltito intemperizado em local destinado a lixão irregular, sujeito a fluxo de enxurrada em vertente retilínea com declividade média.....	109
Figura 3.18 – Solo areno-argiloso residual vermelho friável e colapsível em local com incidência forte de sulcos erosivos.....	109
Figura 3.19 – Colúvio detrítico-laterítico inconsolidado e raso sotoposto a siltito intercalado com folhelho intemperizados em local com nível d'água aflorante (próximo a nascente) contaminado por água servida.....	110
Figura 3.20 – Cobertura detrítico-laterítica inconsolidada com sulcos erosivos provenientes do escoamento superficial concentrado em vertente retilínea.....	110
Figura 3.21 – Solo transportado (colúvio) raso friável a pulverulento sotoposto a depósito aluvionar e sedimentos inconsolidados, onde evidencia-se transporte de sedimentos para fundo do canal de drenagem em superfície de alagamento e inundação do córrego da Onça.....	110
Figura 3.22 – Superfície de alagamento e inundação do rio Vermelho (planície fluvial) associada lateralmente à bancos arenosos instáveis e cobertos parcialmente por gramíneas. Largura do rio neste trecho aproximadamente 90 metros.....	111
Figura 3.23 – Argissolos vermelho-amarelos eutrófico abrupticos plintossólicos, evidenciado pelo horizonte diagnóstico mosqueado. Solo sujeito à eventos de compressão e recalque, em área de brejosa na baixa vertente da bacia hidrográfica do córrego Pitaluga.....	112
Figura 3.24 – Contato entre colúvio mal selecionado com cascalho, areia, silte e argila sobreposto à latossolo vermelho-amarelo eutrófico argissólico.....	112
Figura 3.25 – Unidades litoestratigráficas do PUR carta elaborado a partir do mapa geológico da Folha SE-21-X-B.....	114
Figura 3.26 – Latossolo vermelho-amarelo eutrófico típico, friável e exposto em alta vertente de colina suave e topo plano.....	116
Figura 3.27 – Argissolo vermelho-amarelo eutrófico latossólicos, friável, sujeito a recalque, e compactação devido pisoteio de gado.....	116
Figura 3.28 – Argissolo vermelho-amarelos eutrófico plintossólicos, em local de nascente, susceptível a compactação e recalque devido ao pisoteio do gado nas imediações.....	116
Figura 3.29 – Neossolo quartzarênico órtico, friável, com baixa compactidade, observado processos erosivos, pisoteio de gado e remobilização de solo para construção de bacia de contenção a montante.....	116
Figura 3.30 – Alta concentração de matéria orgânica no horizonte superficial do solo, em ambiente de baixa declividade, onde ocorre encharcamento sazonal.....	116
Figura 3.31 – Solo rico em matéria orgânica em local grande porte e baixa declividade. Observação: Não mapeável em escala 1:250.000.....	116
Figura 3.32 – Neossolo quartzarênico órtico, friável desenvolvido sobre arenito quartzoso grosso a muito grosso.....	117
Figura 3.33 – Neossolo litólico com caráter chernozêmico desenvolvido sobre arenito quartzoso grosso da Formação Furnas, situado no talvegue da margem direita do córrego Piscina.....	117
Figura 3.34 – Unidades pedológicas do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.....	118
Figura 4.1 – Carta de fragilidade ambiental associada à declividade (%) do terreno.....	121
Figura 4.2 – Carta de fragilidade ambiental associada à curvatura horizontal da superfície do terreno.....	122

Figura 4.3 – Carta de fragilidade ambiental associada à curvatura vertical da superfície do terreno.....	123
Figura 4.4 – Carta de fragilidade ambiental associada ao relevo considerando a declividade e as formas do terreno.....	124
Figura 4.5 – Carta de fragilidade ambiental associada aos tipos de solo quanto ao nível de urbanização.....	127
Figura 4.6 – Carta de variabilidade espacial do coeficiente de chuva.....	129
Figura 4.7 – Carta da intensidade pluviométrica do PUR, com fragilidade média para esta variável geoambiental.....	130
Figura 4.8 – Carta de erosividade, com predomínio da fragilidade média, e baixa restrita ao extremo noroeste do PUR.....	133
Figura 4.9 – Carta de fragilidade ambiental associada a resistência mecânica a erosão dos grupos de rochas....	136
Figura 4.10 – Família de descontinuidades geológica-estruturais classificadas por intervalos azimutais e considerando a densidade e persistência (comprimento x frequência) dos lineamentos e densidade das interseções.....	140
Figura 4.11 – Carta de fragilidade ambiental associada a densidade de descontinuidades geológica-estruturais do PUR.....	141
Figura 4.12 – Carta de fragilidade ambiental associada à densidade de interseções geológica-estruturais do PUR.....	142
Figura 4.13 – Fotografia de afloramento expondo falha normal de pequeno rejeito, onde a esquerda ocorre arenito pertencente a Formação Furnas, a direita siltito e arenito intercalados da Formação Ponta Grossa, no centro escorregamento e no topo depósito de colúvio detrítico.....	143
Figura 4.14.1 – Esquema representativo da Figura 4.13, demonstrando como regiões com descontinuidades geológica-estruturais impulsionam o desenvolvimento de processos de instabilidade do meio físico. Exposição de afloramento nas margens da BR-163, no PUR.....	143
Figura 4.14.2 – Legenda da Figura 4.14.1.....	143
Figura 4.15 – Movimento de massa de deslizamento rotacional, no talvegue do Córrego Escondidinho, setor extremo centro-oeste do PUR.....	143
Figura 4.16 – Carta de fragilidade ambiental associada ao nível de urbanização e grau de proteção e cobertura do solo.....	145
Figura 4.17 – Mapa de fragilidade ambiental potencial a processos erosivos do PUR.....	147
Figura 4.18 – Mapa de fragilidade ambiental potencial a processos erosivos do PUR.....	148
Figura 4.19 – Representação 3D da fragilidade ambiental emergente a processos erosivos lineares do PUR, visada norte-sul.....	150
Figura 4.20 – Representação 3D da fragilidade ambiental emergente a processos erosivos lineares do PUR, visadas leste-oeste e oeste-leste.....	151
Figura 4.21 – Representação 3D da fragilidade ambiental emergente à processos erosivos lineares do PUR, visada sul-norte.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Paleta de cores consagrada na representação das fragilidades dos ambientes.....	26
Tabela 2.2 – Categorias hierarquizadas de declividade (%), mais adequadas às especificidades do PUR, com atribuições de classes e graus de fragilidade aos processos erosivos. Baseado em Santos e Ross (2012) e ajustados a área de estudo.....	30
Tabela 2.3 – Fragilidade ambiental associada as formas do terreno, parametrizadas conforme o fluxo resultante do escoamento da água em superfície.....	34
Tabela 2.4 – Relação entre classes e graus de fragilidade ambiental dos solos considerando os efeitos da urbanização.....	36
Tabela 2.5 – Compartimentos geomorfológicos de 1º e 2º táxons de acordo Ross (1992) e seus respectivos intervalos altimétricos expressos em superfície.....	39
Tabela 2.6 – Caracterização das estações pluviométricas selecionadas neste estudo para quantificação das fragilidades ambientais associadas à intensidade pluviométrica e erosividade.....	40
Tabela 2.7 – Relação escalar diretamente proporcional entre classes e graus de vulnerabilidade e fragilidade ambientais associados a intensidade pluviométrica, considerando as médias de volume de chuva (mm) registrados durante as estações úmidas.....	41
Tabela 2.8 – Relação entre equações e parâmetros de intensidade pluviométrica e erosividade da chuva.....	45
Tabela 2.9 – Relação escalar entre valores de erosividade e fragilidade de erosividade.....	47
Tabela 2.10 – Tabela com a classificação em das fragilidades ambientais associadas aos tipos de rochas e demais materiais geológicos aos processos erosivos, levando em consideração aspectos mecânicos genéricos relacionados ao grau de coesão e estabilidade no arranjo estrutural dos minerais formadores de rocha.....	50
Tabela 2.11 – Correlação e reclassificação da fragilidade ambiental dos tipos de rocha do perímetro urbano de Rondonópolis, em função da vulnerabilidade à denudação e resistência mecânica a erosão, considerando as principais características geotécnicas.....	53
Tabela 2.12 - Correlação entre os níveis de urbanização e graus de proteção, adaptando-os as características do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.....	66
Tabela 3.1 – Relação de algumas das principais mudanças metodológicas de análise ambiental desenvolvida no Brasil.....	84
Tabela 3.2 - Denominação dos documentos cartográficos em relação à escala operacional e os processos mapeavam.....	98
Tabela 3.3 – Bacia e sub-bacias hidrográficas do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.....	100
Tabela 3.4 – Padrão de formas semelhantes (3º táxon) do PUR e suas respectivas áreas e porcentagem de cobertura no terreno.....	103
Tabela 3.5 – Padrão de formas semelhantes do relevo relacionado com o conjunto de formas do relevo do PUR contida em cada uma das Unidades Morfológicas do relevo.....	104
Tabela 3.6 – Unidades litoestratigráfica do PUR, de acordo com a compilação de dados do mapa geológico 1:250.000 da Folha SE-21-X-B.....	111
Tabela 3.7 – Tipos de solos existentes no PUR, de acordo com a compilação de dados do mapa pedológico em escala de 1:250.000 da SEPLAN-MT (2011). *sedimento.....	115

Tabela 4.1 – Fragilidade ambiental associada a intensidade pluviométrica, a qual informa o caráter do volume médio de chuvas que precipita em determinado terreno durante a estação chuvosa. *Intervalo de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica segundo Crepani et al. (2001)131

Tabela 4.2 – Fragilidade ambiental associada ao potencial de erosividade da chuva no PUR.....132

Tabela 4.3 – Classificação da persistência das descontinuidades geológica-estruturais por intervalo azimutal, considerando o comprimento e a frequência dos lineamentos incidentes no PUR.....138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PUR	Perímetro Urbano de Rondonópolis
ALL	América Latina Logística
ANA	Agência Nacional de Pesquisas Espaciais
ASF	Alaska Satellite Facility
MMA	Ministério do Meio Ambiente
SEPLAN-MT	Secretaria de Estado e Planejamento de Mato Grosso
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
PMR	Perímetro Municipal de Rondonópolis
NASA	Agência Espacial Norte Americana
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JAROS	Japan Resources Observation System Organization
FBD	Fine Beam Dual polarization
TIN	Triangulated Irregular Network
RADAMBRASIL	Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico Integrado do Brasil
SNIR	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
EUSP's	Equação Universal de Perda de Solos
SIG's	Sistemas de Informações Geográficas
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ESRI®	Environmental Systems Research Institute
QGis®	Sistema de Informações Geográficas Quantum
ZEE's	Zoneamentos Ecológico-Econômicos
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
VANT's	Veículo Aéreo Não Tripulado
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
MDE	Modelo Digital de Elevação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Abastecimento

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIV
SUMÁRIO.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1 JUSTIFICATIVA.....	24
1.2 OBJETIVOS.....	25
1.2.1 Objetivo Geral.....	25
1.2.1.1 Objetivos Específicos.....	25
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	26
2.1 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AO RELEVO CONSIDERANDO A DECLIVIDADE E AS FORMAS DO TERRENO.....	26
2.2 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À ERODIBILIDADE DAS ORDENS DE SOLO CONSIDERANDO OS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO.....	35
2.3 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS DA CHUVA.....	38
2.3.1 Fragilidades ambientais associadas à intensidade pluviométrica.....	38
2.3.2 Fragilidades ambientais associadas à erosividade.....	44
2.4 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS ÀS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICA-ESTRUTURIAS DOS GRUPOS DE ROCHAS.....	47
2.4.1 Fragilidades ambientais associadas aos grupos de rochas e demais materiais geológicos quanto à resistência mecânica a erosão.....	47
2.4.2 Fragilidades ambientais associadas à densidade de descontinuidades geológica-estruturais.....	55
2.4.3 Fragilidades ambientais associadas à densidade de interseções de descontinuidades geológica-estruturais.....	60
2.5 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS NIVEIS DE URBANIZAÇÃO E GRAU DE PROTEÇÃO E COBERTURA DO SOLO.....	62
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	68

3.1 DOS CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES SOBRE UNIDADES ECODINÂMICAS.....	68
3.2 DA EVOLUÇÃO METODOLÓGICA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NO BRASIL.....	73
3.2.1 Da construção da transdisciplinaridade em análises ambientais.....	85
3.3 GEOMORFOLOGIA E GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO URBANO AMBIENTAL: CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ESCALAS DE ABORDAGEM.....	86
3.3.1 Considerações sobre a Geomorfologia Aplicada.....	86
3.3.2 Geotecnologias como ferramentas de apoio à Geomorfologia Aplicada ao Planejamento e Gestão Urbana Regional.....	90
3.3.3 Das escalas de abordagem no ambiente físico-territorial.....	93
3.4 CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO.....	99
4. RESULTADOS.....	119
4.1 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AO RELEVO CONSIDERANDO DECLIVIDADE E FORMAS DO TERRENO.....	119
4.2 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À ERODIBILIDADE DAS ORDENS DE SOLO CONSIDERANDO OS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO	125
4.3 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA.....	128
4.4 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À EROSIVIDADE.....	131
4.5 CARTA DE FRAGILIDADE AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS GRUPOS DE ROCHAS E DEMAIS MATERIAIS GEOLÓGICOS QUANTO À RESISTÊNCIA MECÂNICA A EROSÃO.....	134
4.6 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À DENSIDADE DE DESCONTINUIDADES GEOLÓGICA-ESTRUTURAI.....	137
4.7 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À DENSIDADE DE INTERSEÇÕES DE DESCONTINUIDADES GEOLÓGICA-ESTRUTURAI.....	138
4.8 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS NIVEIS DE URBANIZAÇÃO E GRAU DE PROTEÇÃO E COBERTURA DO SOLO.....	144
4.9 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS POTENCIAIS.....	146

4.10 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS EMERGENTES.....	146
5. DISCUSSÕES.....	154
6. CONCLUSÕES.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162

Título: NOVAS CONTRIBUIÇÕES AOS MODELOS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL À PROCESSOS EROSIVOS: ESTUDO DE CASO APLICADO AO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente, construído e natural, das cidades é um espaço que possui uma ocupação política intencional, tanto pelo Estado quanto pela sociedade, inseridos nas estratégias de ocupação e expansão de modo funcional e hierarquizado, nesse sentido, Penna (2002) confirma a natureza como recurso e como valor de uso para a produção de novos espaços, transformando-os em áreas urbanizáveis.

Sobreira e Souza (2012) assumem que a. Dessa forma surgiram vários tipos de análises ambientais aplicadas em áreas urbanas no Brasil, com enfoque no planejamento urbano, tanto em porções territoriais não ocupadas e sem infraestrutura instalada, quanto para locais já ocupados com infraestrutura urbana parcial ou total.

A respeito do entendimento e investigação dos processos de integração da sociedade com o meio físico-natural, oriundas da geomorfologia aplicada, destacam-se algumas metodologias de cartografia das susceptibilidades aos riscos naturais aplicadas no Brasil, entre elas, os diagnósticos de zoneamento geoambiental, vulnerabilidade natural à perda de solos, fragilidade ambiental e o mapeamento geológico-geotécnico, sendo que esta última demanda trabalho de campo com medições. Estas ferramentas de análise integrada geram modelos cartográficos que, de maneira geral, identificam áreas predispostas a processos de instabilidade do meio físico, tais como, eventos de inundação, movimentos de massa, processos erosivos, corridas de lama e detritos, recalques de solo, escorregamentos, abalos sísmicos, etc.

A expansão urbana é um fenômeno que vêm ocorrendo em várias regiões do Brasil, principalmente em municípios que tiveram sua emancipação tardia (a partir da segunda metade do século XX) e foram incentivados à entrada no circuito de produção de *commodities*, voltados, principalmente, ao abastecimento das demandas internacionais, a fim de se atingir um equilíbrio na balança comercial interna. Neste contexto, o município de Rondonópolis assume relevante importância no desenvolvimento da economia agroindustrial brasileira, além de funcionar como polo de oferta de serviços da região sul e sudeste matogrossense.

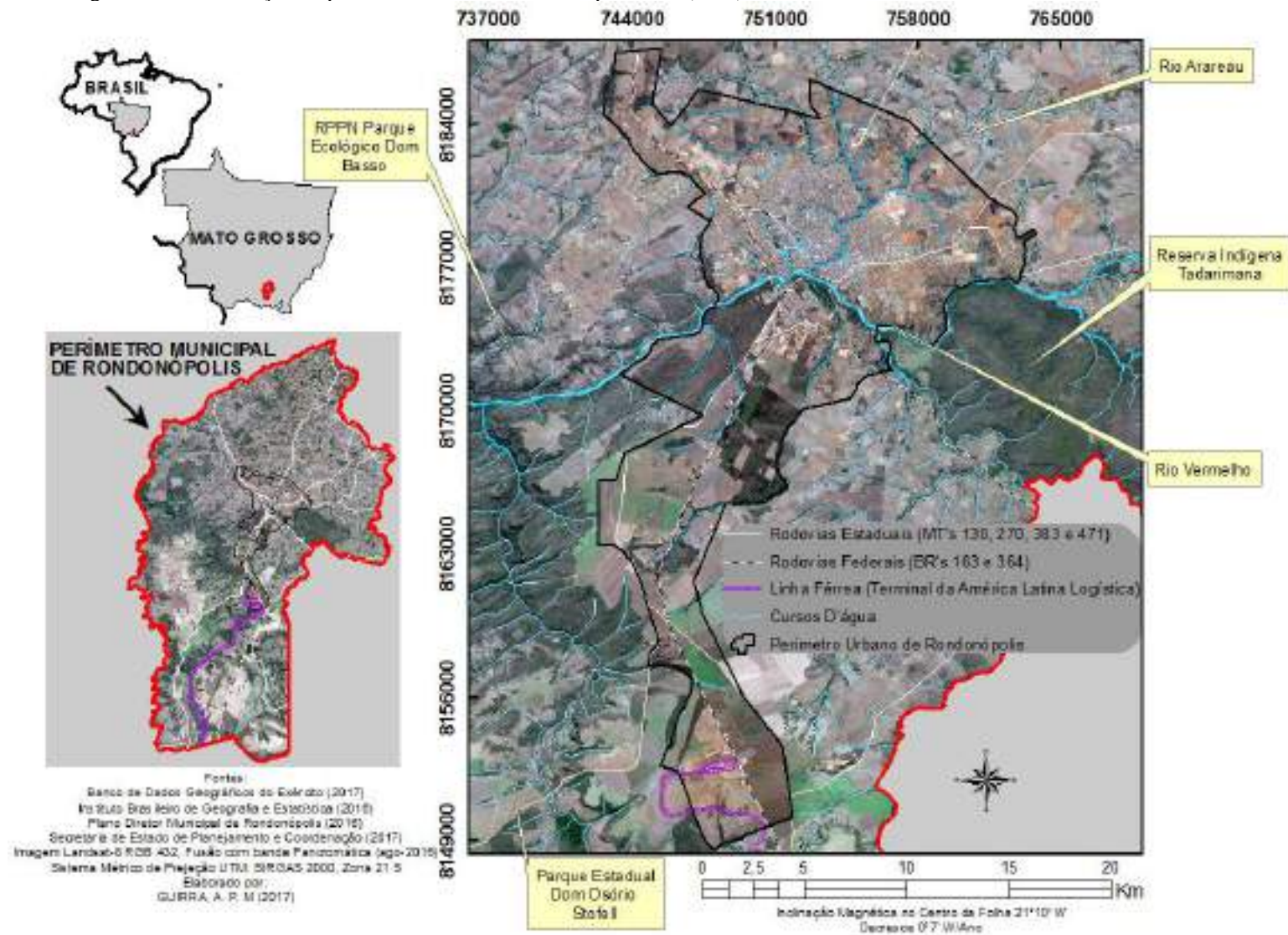
O perímetro urbano deste município situa-se entre as coordenadas geográficas SIRGAS 2000 16°22'30'' e 16°45'00''S e 54°43'30'' e 54°31'30''W, em relação ao meridiano 45° à

oeste de Greenwich, ou ainda 745000 e 8149000 a sudoeste e 765000 e 8186000 a nordeste em coordenadas métricas SIRGAS 2000, conforme demonstra a Figura 1.1.

Á área deste perímetro possui aproximadamente 305 Km², localizado na região sudeste do Mato Grosso, o município dista cerca de 215 Km da capital Cuiabá pela rodovia BR-163/BR-364, fazendo divisa com os municípios de: Itiquira, à sul, Pedra Petra e São José do Povo à leste, Poxoréu e Jucimeira à nordeste e noroeste., e Santo Antônio do Leverger à oeste.

Baseando-se nessa temática, Rondonópolis, cidade brasileira de porte médio, com cerca de 220.000 habitantes (IBGE, 2017), caracteriza-se em um típico exemplo de urbanização pouco ecoeficiente, expandindo-se pelo avanço desmedido do capital imobiliário especulativo sobre áreas verdes não urbanizadas, bem como, pelo escasso controle dos órgãos ambientais (departamentos, secretarias e agências) responsáveis pelo ordenamento de ocupação territorial, imprimindo diversas formas de impactos no ecossistema urbano, sobretudo nos corpos hídricos que perfazem o perímetro urbano, sejam eles superficiais ou subterrâneos (CASARIN, 2003., ALBACETE, 2008., CUTRIM., CAMPOS 2010., SANTOS, 2010).

Figura 1.1 – Localização do perímetro urbano de Rondonópolis-MT (PUR).



Fonte: GUIRRA, A. P. M (2017)

Nesse contexto, Santos e Ross (2012) ao perceberem a necessidade de desenvolver estudos ambientais integrados para compreender e dimensionar a problemática ambiental urbana, propuseram uma adaptação metodológica baseada nos princípios da ecodinâmica de Tricart (1977) e na análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados (ROSS, 1994), conceitualmente denominada fragilidade ambiental urbana. Este instrumento de análise, para estes autores, constitui-se num aparato técnico-científico que deve ser utilizado na implementação de estratégias e ações visando à redução dos problemas socioambientais urbanos.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo central realizar a análise integrada das fragilidades ambientais do perímetro urbano de Rondonópolis (PUR), considerando a metodologia proposta por Santos e Ross (2012) e adaptando-a ao contexto desta área de estudo, a qual utilizou-se de temas complementares, entre eles: erosividade, geologia, densidade de lineamentos estruturais e densidade de interseções de lineamentos, a fim de ponderar neste diagnóstico, elementos integrantes importantes do meio físico utilizado em outras metodologias de cunho multitemático.

Para cumprir o objetivo exposto, utilizou-se da base de dados espaciais disponíveis em plataformas governamentais, tais como: Agência Nacional das Águas (ANA), Alaska Satellite Facility (ASF), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação (SEPLAN-MT), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), e municipal através da Prefeitura Municipal de Rondonópolis (PMR).

Ressalta-se que a base cartográfica produzida neste estudo alcançou nível de representação regional de 1:250.000, devido uso das cartas de solos e geologia que cobrem a Folha SE-21-X-B (Rondonópolis). Entretanto a resolução espacial trabalhada nas imagens de satélite gratuitas (CBERS-4) e de radar (ALOS PALSAR), após tratamento, alcançaram resolução espacial de 05 metros, o que permitiu o refinamento dos produtos temáticos e sintéticos gerados. Dessa maneira, o diagnóstico de fragilidade ambiental urbana poderá contribuir como ferramenta de auxílio e modelo preditivo de ações mais acertadas do poder público municipal para identificação de terrenos mais instáveis/frágeis e que precisarão de melhor detalhamento cartográfico para aceitar, descartar, refuncionalizar, ou restringir a ocupação e uso destes espaços, com novas instalações e equipamentos, sejam eles públicos ou privados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A importância da viabilidade deste trabalho está apoiada na necessidade de revisão do Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Rondonópolis, estabelecido pela Lei Complementar N° 043, de 28 de dezembro de 2006, a qual, atingida o prazo de 10 (dez) anos, com as mudanças ocorridas neste território, busca-se adequar as demandas por planejamento e gestão, integrando diagnósticos em conformidade com a realidade atual. Este estudo está embasado juridicamente pela Lei N° 10.257, de 10 de julho de 2001, a qual regulamente pelos artigos 182 e 183 da Constituição Federal, diretrizes gerais da política urbana dando outras providências, ente elas podem-se destacar:

- ✓ Capítulo II (Dos instrumentos da política urbana), na seção I, em seu artigo 4º, para fins dessa lei, serão utilizados, entre outros instrumentos: c) zoneamento ambiental o qual contempla tanto o Estudo prévio de impacto ambiental (EIA) e o estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV).

Tal discussão, torna-se relevante para se alcançar práticas de ocupação do espaço geográfico menos degradantes no contexto urbano-ambiental, para que se alcance melhor condição de vida e se estabeleça uso mais racional dos recursos naturais que se dispõe.

Advém do exposto anteriormente, utilizar-se das ferramentas geotecnológicas disponíveis para se atingir tais objetivos, sendo o diagnóstico de fragilidades ambientais um aparato técnico-científico capaz de sintetizar onde e por quais motivos, determinado ambiente, enfrenta riscos de ordem física, estabelecendo classes e graus de fragilidades para os mesmos. Sabendo-se que a geomorfologia é um dos elementos mais importantes que devem ser levados em conta no processo de produção dos espaços e que ela possui forte influência nos estudos de fragilidade ambiental, entende-se que este conhecimento pode contribuir para um ordenamento físico-territorial dos municípios (CHRISTOFOLETTI, 1994., ROSS, 2006., ROSS, 2012., SOBREIRA., SOUZA, 2012).

Ressalta-se que esta metodologia vem sendo amplamente empregada como subsídios ao zoneamento geoambiental e socioeconômico de bacias hidrográficas, áreas de construções de barragens e hidrelétricas, como parte do relatório de estudo de impactos ambientais, além de espaços agrários e urbanizados, podendo apresentar adaptações e/ou fusões em suas aplicações, buscando adequações as realidades que se impõe em cada território, tal como verificado por Guirra, Santos e Nogueira (2016).

Nesse contexto, o presente estudo visa a identificação de áreas potencial e eminentemente frágeis, com diferentes padrões espaciais, contidas no perímetro urbano de Rondonópolis (malha urbana consolidada e não consolidada), tanto de forma qualitativa, como quantitativa. Deste modo, considera-se neste estudo as estruturas e o funcionamento dos ambientes naturais, levando-se em consideração as transformações promovidas pelas atividades humanas, que de acordo Santos e Ross (2012), permitem definir a capacidade de suporte dos sistemas para o desenvolvimento das atividades produtivas e culturais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Tendo em vista os aspectos ressaltados na justificativa, o objetivo geral desta pesquisa é realizar o diagnóstico e análise da fragilidade ambiental do perímetro urbano de Rondonópolis-MT, fixado pela Lei Municipal nº 4.788/2006 (Rondonópolis, 2006), em escala regional de reconhecimento compatível à 1:250.000, visando a qualificação e quantificação das fragilidades potenciais e emergentes através da análise integrada de atributos do meio físico urbano-ambiental.

1.2.1.1 Objetivos Específicos

- a) Realizar o levantamento das características físico-naturais e do uso da terra, através da espacialização das unidades morfológicas, clinográficas e das formas das vertentes, as quais combinadas informaram a fragilidade do relevo, da intensidade pluviométrica e da compilação das cartas pedológica, geológica e uso da terra (quanto aos nível de urbanização), adequando e complementando as propostas de Santos e Ross (2012), bem como o tipo de cobertura vegetal, de acordo Ross (1994), ajustando-se ao contexto das características da urbanização de Rondonópolis-MT, sintetizando as fragilidades intrínsecas de cada tema de forma quali-quantitativa.,
- b) Complementar a análise das fragilidades ambientais, agregando análises de fatores exógenos de erosividade e fatores endógenos, os quais levem em consideração elementos de subsuperfície tais como: geologia (litoestratigrafia) e dados estruturais lineares e pontuais, sendo eles respectivamente, a densidade de lineamentos

estruturais e a densidade de interseção destes lineamentos contidos no perímetro urbano de Rondonópolis-MT.,






- c) Mapear a fragilidade ambiental potencial utilizando a metodologia adaptada para o contexto urbano local, sobrepondo as informações ponderadas dos temas intermediários aos aspectos físico-naturais cartografados nos objetivos anteriores (a) e (b).,
- d) Mapear a fragilidade ambiental eminente/emergente a partir da sobreposição das informações da carta de fragilidade ambiental potencial e do uso da terra/cobertura vegetal que considera os níveis de urbanização.
- e) Discutir a interferência de cada uma das variáveis geoambientais nos níveis de fragilidade ambiental, com vistas a contribuir com o poder público municipal para um modelo preditivo e alternativo ao macrozoneamento ambiental urbano.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AO RELEVO CONSIDERANDO A DECLIVIDADE E AS FORMAS DO TERRENO

Na espacialização de classes e graus de fragilidades dos ambientes, tanto nas cartas temáticas quanto nas sintéticas, adotou-se como artifício semiológico de apreensão do real a representação de cartas/mapas colorpéticos, utilizando-se do gradiente booleano de cores semafóricas, conforme exposto na tabela 2.1 a seguir:

Tabela 2.1 – Paleta de cores consagrada na representação das fragilidades dos ambientes.

FRAGILIDADE				
CLASSE	GRAU DE SATURAÇÃO DA PALETA DE CORES			
	VERM.	VERDE	AZUL	CORES
MUITO ALTA/MUITO FORTE	255	0	0	
ALTA/FORTE	255	192	0	
MÉDIA	255	255	0	
BAIXA/FRACA	146	208	80	
MUITO BAIXA/MUITO FRACA	84	130	53	

GUIRRA, A. P. M. (2017)

Para a caracterização geomorfológica do PUR, de acordo com a proposta original de Ross (1992), utilizou-se de técnicas de geoprocessamento no tratamento de imagens de radar, obtidas através do site oficial da Agência Espacial Norte Americana (NASA) na sua subdivisão de gerenciamento do satélite da Alaska Satellite Facility (UAF/NASA), cadastrando-se gratuitamente no geoportal: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Escolhendo para esta análise a imagem de radar ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) oriunda do projeto conjunto entre a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) e a *Japan Resources Observation System Organization* (JAROS), que segundo Oliveira (2016), operou durante outubro de 2006 a abril de 2011.

Adiante, delimitou-se a área de interesse no mapa-múndi do geoportal, na plataforma ALOS PALSAR escolhendo-se o modo FBD, o qual contém o Modelo Digital de Elevação (MDE). Uma vez obtida as cenas das imagens de radar que cobrem a área de estudo, elaborou-se o mosaico (união das cenas das imagens de radar) e o recorte retangular da região da área de estudo, a fim de melhorar a velocidade no geoprocessamento dos dados morfométricos.

Operou-se o tratamento e correção dos vazios existentes nos *pixels* nulos da imagem, a qual possui originalmente 12,5 metros de resolução espacial. Logo após esta etapa executou-se o fatiamento dos pixels para adequação de 5,0 metros de resolução espacial, objetivando atender a futura álgebra de mapas que utilizará a sobreposição temática, entre eles carta de uso e cobertura da terra quanto aos níveis de urbanização, a qual foi gerada a partir de imagem de média-alta resolução espacial *CBERS-4* (resolução pancromática de 5,0 metros).

A partir desse resultado preliminar, extraiu-se curvas de nível de 1 metro de equidistância, sendo elas a fonte para a criação da rede triangular irregular (TIN, *Triangulated Irregular Network*, na sigla em inglês), tornando possível o modelamento dos parâmetros morfométricos do relevo, tais como: orientação das vertentes, hipsometria, declividade, superfície sombreada do terreno e curvatura das vertentes (horizontal e vertical).

Ross (1994), utilizando-se das imagens de radar, elaborou diagnósticos de fragilidade do relevo, em escalas médias e pequenas, considerando previamente os padrões das formas, as variações dos graus de rugosidade topográfica ou a matriz dos índices de dissecação do relevo, onde este último é calculado pela relação entre a dimensão interfluvial média no plano horizontal e o grau de entalhamento dos talwegues no plano vertical.

Para investigações que exigem um nível de maior detalhamento o autor propõe a utilização de classes de declividade previamente consagradas nos estudos de aptidão agrícola (0-3%., 3-8%., 8-20%., 20-45%, >45%), tal como constata-se em EMBRAPA (1979) apud

Torres et al. (2011), associados com aqueles conhecidos como valores críticos de geotecnia (0-6%., 6-12%., 12-20%., 20-30%., >30%), os quais expressam os riscos intrínsecos de ocorrência de movimentos de massa, tais como: escorregamentos, fluxos de lama e detritos ou inundações frequentes, entre outros (SANTOS e ROSS, 2012).

Nestes casos o autor referiu-se as possibilidades de elaboração de documentos morfométricos possíveis de serem gerados a partir da imagem de radar do PROJETO RADAM BRASIL (MIRANDA, 2005), onde originalmente a resolução espacial é de 90 metros, onde não se previu possibilidades futuras de adequação das classes de declividade, com o aumento desta resolução das imagens de radar e/ou a utilização de interpoladores geoestatísticos adequados ao tratamento de dados morfométricos (planimétricos e altimétricos), como ressaltado por Marcuzzo, Andrade e Melo (2011).

Nesse sentido, este estudo utilizou-se de imagem de radar, ALOS PALSAR modo FBD de 12,5 metros de resolução, as quais possibilitam geração de curvas de níveis equivalentes a cartas topográficas de 1.100.000, como demonstrou Gonçalves (2010), ao analisar a viabilidade de mapeamento topográfico na região amazônica (Serra dos Carajás) através da integração de informações altimétricas SRTM-3 e planimétricas PALSAR.

Sendo assim, a Figura 2.1, demonstra os procedimentos utilizados neste estudo para obtenção dos parâmetros morfométricos do relevo.

Figura 2.1 – Tratamento de imagem ALOS PALSAR modo FBD para o refinamento da extração de alguns parâmetros morfométricos do relevo.

TRATAMENTO DE IMAGEM ALOS PALSAR PARA EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DO RELEVO.

Imagem de Radar (ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial)

Correção dos Modelo Digital do Terreno através da remoção dos valores negativos mediante aplicação da ferramenta Con

Utilizando-se das ferramentas disponíveis no software ArcGIS 10.1 (licenciado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da UFMT/OUR executou-se as seguintes etapas

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Conditional

Reclassify > "preencher espaços vazios na tabela de atributos relativos a altitude" > ArcToolbox > Reclass > Reclassify

No novo raster criado pela ferramenta Con, clique em Unique substituindo NoData da coluna New values pelo valor 0 > nomear > salvar e executar a ferramenta

Para correção do MDE antes de iniciar a Interpolação ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill

Correção do MDT para ajustamento dos pixels de 12,5 metros para 5,0 metros

A partir do raster corrigido executa-se ArcToolbox > Conversion Tools > Raster to Point > Input raster > Field (value) > Output point features > "raster_point.shp"

A partir do conjunto de pontos do vetor denominado raster_point.shp > ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation > Topo_to_Raster > Input feature data > Output surface raster > Output cell size > "Escolha 5 metros de resolução" > COM ENFORCE > Primary/type of input data (SPOT)

Extração das curvas de nível 1 metros de equidistância

Criação do modelo TIN a partir das curvas de nível extraídas do MDE corrigido

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Contour > Input raster > Output polyline features > Contour Interval "Escolha 1 metro" > Base Contour = 0 (nível do mar) > Z fator > 1 (sem exagero vertical)

ArcToolbox > 3D Analyst Tools > TIN > Create TIN > Output TIN > Escolha o sistema de coordenadas em Coordinate System > Input Feature Class em Height Field escolha o campo da tabela de atributos que contém as altitudes > SF Type escolha linhas suavizadas (Soft_Line) e em Tag Field deixe "None" > Executar e aguardar o TIN ser gerado > "TIN" > Edit TIN > Coloque a máscara ou limite da área de estudo para recortar o modelo TIN gerado, a partir deste TIN em Layer Properties pode extrair os seguintes parâmetros morfométricos do relevo, descritos abaixo:

Aspecto das vertentes; Hipsometria, Declividade, Índice de Rugosidade, Curvatura das Vertentes (horizontal e vertical)

Qualificação e Quantificação dos parâmetros morfométricos do relevo > Tabela de Atributos > Adicionar Campo > Área > Calcular Geometria > Área > Plotar Gráfico Modelo Pizze

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Neste contexto, a partir da proposta destes autores, adequou-se os intervalos de declividade às especificidades do sítio urbano, onde as transformações implementadas pela sociedade são mais acentuadas. Traz-se na Tabela 2.2 a relação entre intervalos de declividade

associando-os a classes e graus de fragilidade, sendo estes intervalos representativos das mudanças abruptas do gradiente topográfico do perímetro urbano de Rondonópolis-MT, onde detectou-se que o relevo apresenta padrões de colinas dissecadas amplas, alongadas, podendo ocorrer colinas com topo estreito e alongados, além de vales fluviais e terraços alúvio-coluvionares.

Tabela 2.2 – Categorias hierarquizadas de declividade (%), mais adequadas às especificidades do PUR, com atribuições de classes e graus de fragilidade aos processos erosivos. Baseado em Santos e Ross (2012) e ajustados a área de estudo.

FRAGILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADA AOS INTERVALOS DE DECLIVIDADE ADEQUADOS AO MODELADO DO TERRENO DO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS-MT		
DECLIVIDADE (%)	CLASSE	GRAU
0,0 a 3,0	MUITO FRACA	1
3,0 a 8,0	FRACA	2
8,0 a 16,0	MÉDIA	3
16,0 a 30,0	FORTE	4
> 30,0	MUITO FORTE	5

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Adiante prosseguiu-se com a metodologia de associação de classes e graus de fragilidade ambiental associadas as curvaturas das vertentes (horizontal e vertical), as quais demonstram como os diferentes fluxos do escoamento superficial resultam em potenciais de erosividade distintos no terreno, tal como exposto na Figura 2.2 abaixo.

Figura 2.2 – Blocos diagramas das formas do terreno com o gradiente de atuação dos fluxos no escoamento superficial, sendo a porção esquerda (vermelho) concentradora de fluxos do escoamento superficial, com maior tendência a alterações da morfogênese, e a porção direita, dispersora do escoamento superficial, mais favorável à pedogênese (verde).



Fonte: Adaptado de SILVA NETO (2013) para estudos de fragilidade ambiental associada as formas do terreno. GUIRRA, A. P. M. (2017)

A ferramenta operacional utilizada foi a *Curvature (3d Analyst)*, sendo o arquivo raster de entrada o MNT da ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial na origem, reamostrado para 5,0 metros de resolução pelo método de interpolação *topo to raster*. Na janela

Curvature (Figura 2.3), selecionou-se a criação das curvaturas vertical (profile) e horizontal (plan). Sendo necessário realizar testes de curvatura manualmente, pelo histograma, considerando três intervalos de classificação para cada uma das curvaturas em Symbology>Classified>Classify. Considerou-se os valores mínimos e os máximos do histograma das curvaturas, onde para as superfícies planares e retilíneas, o intervalo de valores são, -0,14 a 0,14 e -0,24 a 0,24 (Figuras 2.3 e 2.4), respectivamente.

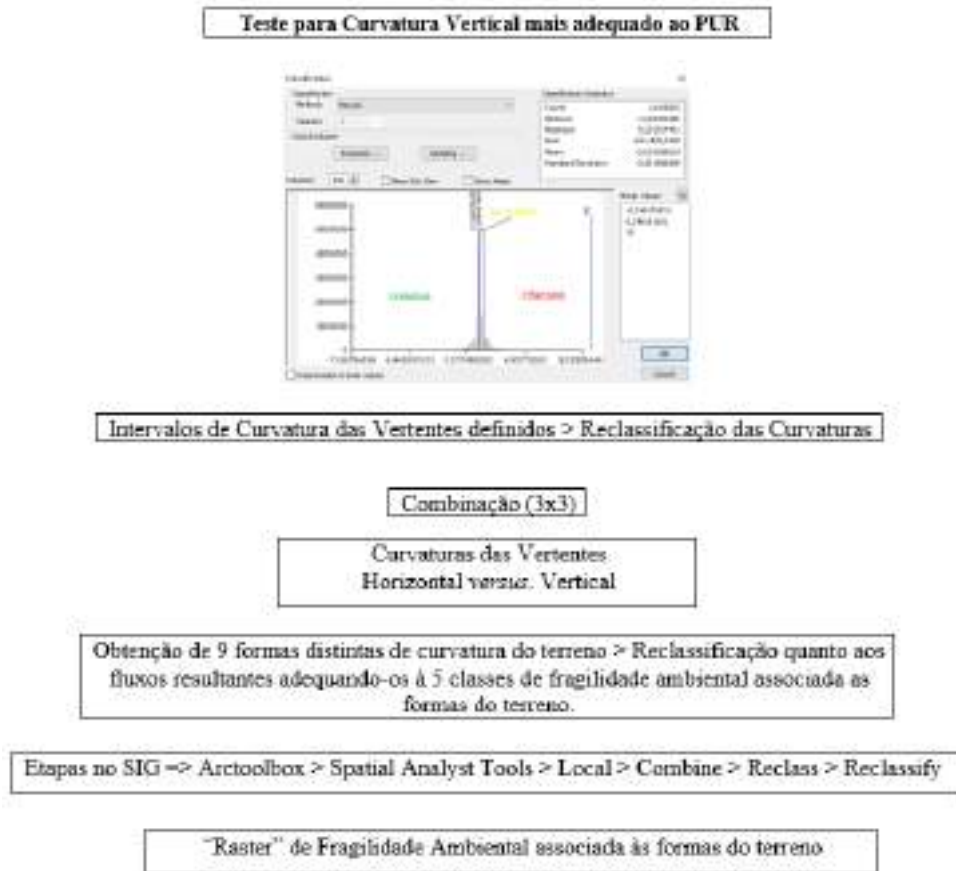
Figura 2.3 – Metodologia para correlacionar classes e graus de fragilidade ambiental as formas das vertentes. (PARTE 01)

Elaboração da Carta de Curvatura das Vertentes do Perímetro Urbano de Rondonópolis, Mato Grosso.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 2.4 – Metodologia para correlacionar classes e graus de fragilidade ambiental as formas das vertentes. (PARTE - 02)



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Após esta etapa, reclassificou-se os intervalos representativos das formas das vertentes (vertical e horizontal), informando os valores 1, 2 e 3 para cada uma delas. Com isso, os dois arquivos matriciais, cada um com três classes foram combinados, fornecendo a indicação da forma do relevo por unidade de célula (pixels), pelo qual obteve-se arquivo raster com 9 classes. Esta etapa foi desenvolvida com uso da ferramenta *Combine* do *3d Analyst*.

Verificou-se na tabela de atributos do novo raster a combinação das vertentes vertical e horizontal, atribuindo-lhes nome as formas, de acordo com a associação dos números 11, 12, 13, 21, 22, 23, 31, 32 e 33. Estes por sua vez foram reagrupados em 5 classes e graus de fragilidade, a qual considera a o padrão do escoamento superficial de acordo com as formas das vertentes, tal como exemplificado na Figura 2.5 abaixo, na tabela de atributos do ArcGis 10.1.

Figura 2.5 – Combinação entre curvaturas horizontal e vertical, obtenção das formas, correlação com tipo de fluxo resultante e parametrização com classes e graus de fragilidade ambiental associados às formas do terreno.

QID	Value	Count	curv_slev1	curv_slev2	vertente	fluxo	fragilidade	grau
2	3	115221	3	2	Côncava planar	Mesoconcentrador Longitudinal	Muito Alta	5
7	8	582718	3	3	Côncava convergente	Hiperoconcentrador	Muito Alta	5
0	1	104174	3	1	Côncava divergente	Hipococoncentrador Longitudinal	Alta	4
8	7	105385	2	3	Retilínea convergente	Mesoconcentrador Radial	Alta	4
4	5	314756	2	2	Retilínea planar	Transição suavizada	Média	3
1	2	162441	1	3	Convexa convergente	Hipodispersor	Baixa	2
5	6	117712	2	1	Retilínea divergente	Mesodispersor Radial	Baixa	2
3	4	119711	1	2	Convexa planar	Mesodispersor Longitudinal	Muito Baixa	1
8	9	607228	1	1	Convexa divergente	Hiperdispensor	Muito Baixa	1

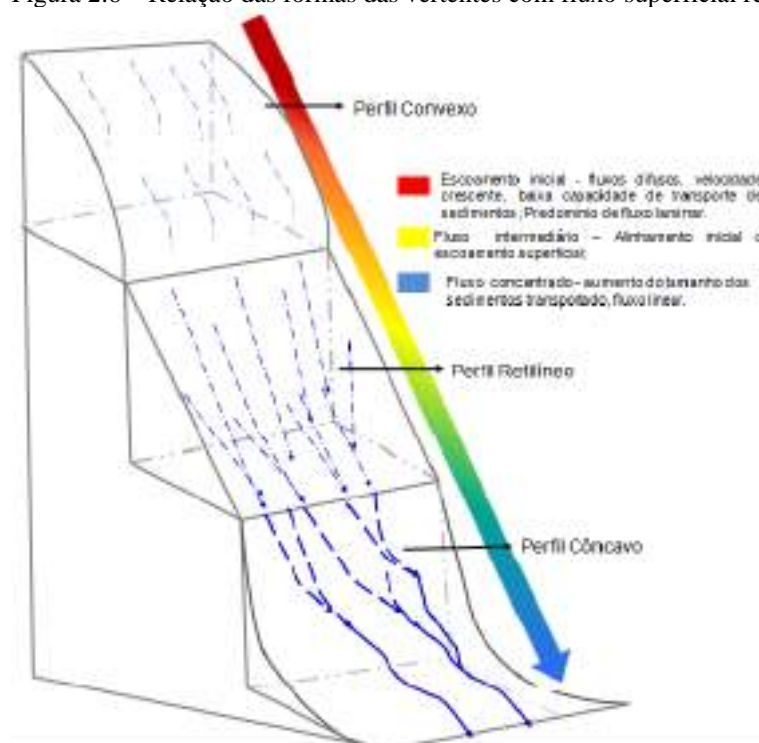
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

A curvatura horizontal realça o caráter de espalhamento ou afunilamento do escoamento superficial da água no terreno (divergente, planar ou convergente), analisando-o em projeção horizontal, sendo as áreas convergentes, as que coletam material particulado com maior energia de transporte, enquanto que as áreas de divergência facilitam a distribuição do mesmo, conferindo menor energia potencial ao transporte, conforme ressalta Silva Neto (2013).

Já a curvatura vertical refere-se ao caráter convexo, retilíneo ou côncavo do terreno, quando analisado em perfil, e está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade, tal como verificado por Valeriano (2003). Associada à exposição de vertentes (aspecto), a curvatura vertical também desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico, como exposto pelo mesmo autor.

Silva Neto (2013), ao avaliar a vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra-MS, com base nas formas do terreno, admite que, apesar destas serem atributos qualitativos, as mesmas são passíveis de ponderação, considerando-se que as dinâmicas e intensidade dos processos erosivos estão diretamente ligadas ao modelado da superfície e aos formatos das vertentes. Neste contexto a Figura 2.6 mostra o comportamento do escoamento superficial da água em relação as curvaturas horizontal e vertical.

Figura 2.6 – Relação das formas das vertentes com fluxo superficial resultante.



Fonte: SILVA NETO, J. A. (2013)

Sendo assim, pode-se realizar as adequações das 9 (nove) formas de terreno acima expostas à 5 (cinco) classes e graus de fragilidade ambientais, seguindo os procedimentos conforme Tabela 2.3 a seguir:

Tabela 2.3 – Fragilidade ambiental associada as formas do terreno, parametrizadas conforme o fluxo resultante do escoamento da água em superfície.

FRAGILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADA AS FORMAS DO TERRENO					
CURVATURA DO TERRENO		COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO NA SUPERFÍCIE DO TERRENO		FRAGILIDADE	
HORIZONTAL	VERTICAL	FLUXO DOMINANTE	FLUXO RESULTANTE	GRAU	CLASSE
CONVERGENTE	Côncava	CONCENTRAÇÃO	Hiperconcentrador	5	Muito Alta
	Retilínea		Mesoconcentrador	5	Muito Alta
	Convexa		Hiporconcentrador	4	Alta
PLANAR	Côncava	TRANSIÇÃO	Mesoconcentrador	4	Alta
	Retilínea		Transição	3	Média
	Convexa		Mesodispersor	2	Baixa
DIVERGENTE	Côncava	DISPERSÃO	Hipodispersor	2	Baixa
	Retilínea		Mesodispersor	1	Muito Baixa
	Convexa		Hiperdispersor	1	Muito Baixa

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

A partir da obtenção das classes e graus de fragilidade das variáveis geoambientais do relevo, declividade e formas do terreno, efetua-se a sobreposição por média simples destes temas, com a ferramenta de álgebra de mapas contida no SIG. O resultado deste procedimento é a carta de fragilidade do relevo, a qual representa por lógica booleana, onde na superfície estará mais propenso ao desenvolvimento de processo erosivos lineares.

2.2 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À ERODIBILIDADE DAS ORDENS DE SOLO CONSIDERANDO OS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO

Para elaboração da carta de solos do PUR, obteve-se juntamente a Secretaria de Estado de Planejamento do Mato Grosso (SEPLAN-MT) os arquivos vetoriais advindos de mapeamento executado em escala 1:250.000. Estes dados foram editados no ambiente SIG do ArcGis 10.1®, onde efetuou-se, a partir da delimitação da área de estudo, o recorte dos polígonos dos tipos de solos existentes no PUR.

Após realizado o procedimento anterior, definiu-se as classes de fragilidade dos solos baseando-se na proposta de Santos e Ross (2012), que consideram como os diferentes estágios de urbanização interferem na classificação da fragilidade intrínseca aos solos. Estes autores justificam esta proposição tendo em vista que em áreas urbanizadas a maioria dos solos tiveram suas características originais modificadas por efeitos, tais como: compactação e impermeabilização asfáltica. Estes fatos implicam na alteração do comportamento mecânico do solo diante de eventos meteóricos da chuva, bem como no suporte aos equipamentos públicos instalados nestes territórios.

Tendo em vista as especificidades elencadas anteriormente, foi elaborada uma proposta de adequação à realidade encontrada no perímetro urbano de Rondonópolis, buscando harmonizar a este tipo de investigação os graus de fragilidade dos solos diante das intervenções no meio físico, tal como pode ser verificado na Tabela 2.4.

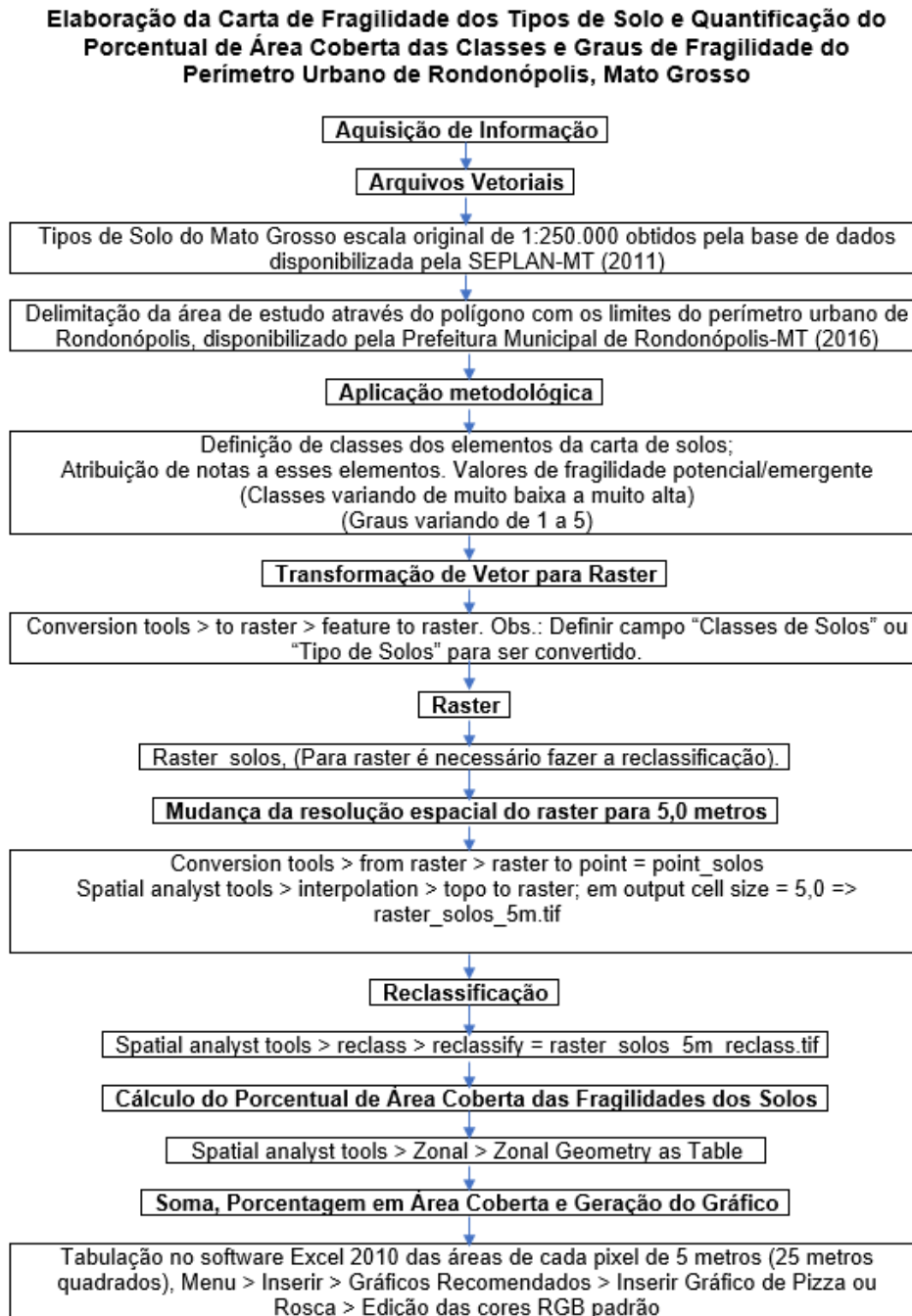
Tabela 2.4 – Relação entre classes e graus de fragilidade ambiental dos solos considerando os efeitos da urbanização.

FRAGILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADA A ERODIBILIDADE DAS ORNDES DE SOLO CONSIDERANDO OS NÍVEIS DE URBANIZAÇÃO		
TIPO DE SOLO E NÍVEL DE URBANIZAÇÃO	CLASSE	GRAU
LEd1 LEd7 - LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos, LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos e LATOSSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Distróficos argissólicos. Solos localizados preferencialmente em setores de baixo grau de urbanização contidos em áreas de baixa à média declividades.	Muito Baixa	1
LEa2 - LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos. Solos localizados em setores de urbanização efetivamente consolidada e locais destinados à atividade industrial, com drenagem medianamente eficiente, com predomínio de impermeabilização por asfaltamento e concretagem, apresentando baixa à média declividades, com baixa à média presença de equipamentos para controle de cheias, infiltração e redução do escoamento nas vias de circulação, nos loteamentos e nos estabelecimentos.	Baixa	2
PVe2 PVe7 - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos latossólicos e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos plintossólicos. Locais de muito baixa a muito alta declividade. Existência de cabeceiras de drenagens no terço superior de colinas dissecadas com vertentes côncavas convergentes. Baixa eficiência na drenagem urbana e elevado índice de vias não pavimentadas com solos compactados. Pode ocorrer pastoreio/pisoteio de gado sendo comum o início de processos de assoreamento e movimentos de massa do tipo rastejo e recalque de solos nas margens dos cursos d'água.	Média	3
NÃO SE APLICA/NÃO É COMPATÍVEL A REALIDADE URBANA DO PUR	Alta	4
Ra1 AQa2 AQa5 - NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos fragmentários. NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos típicos, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos e LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Ácricos húmicos sobrepostos à substratos de arenitos e siltitos, podendo ocorrer afloramentos rochosos, além de depósitos aluvionares, confinados nos vales fluviais dos rios Vermelho e Arareau. Malha urbana não consolidada com solo exposto em área industrial com elevado fluxo de veículos de grande porte. Cultivo de culturas de ciclo curto, predominantemente soja ou milho além de eucaliptal. Solos remobilizados por atividade antrópica e ou movimentos de massa nas margens do Rio Vermelho. Ocorre solos saturados em água (hidromórficos) e ou friáveis/pulverulentos quando secos. Locais de baixa a muito alta declividade.	Muito Forte	5

Fonte: Baseado na SEPLAN-MT (2011), SANTOS e ROSS (2012). Compilado e adaptado por GUIRRA, A. P. M. (2017) ao contexto do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.

Nesse contexto, a Figura 2.7 exprime as principais etapas do procedimento metodológico para obtenção da carta de fragilidade dos solos no ambiente urbano do PUR.

Figura 2.7 – Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade ambiental dos solos quanto ao nível de urbanização.



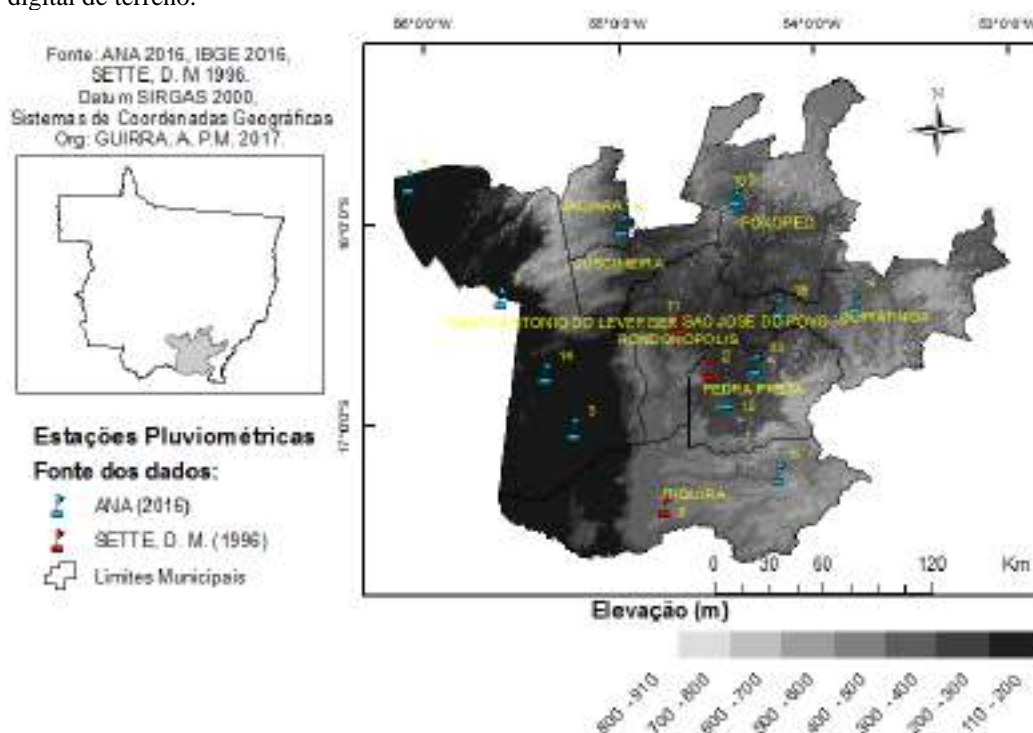
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

2.3 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS DA CHUVA

2.3.1 Fragilidades ambientais associadas à intensidade pluviométrica

Para a caracterização relativa aos aspectos climatológicos da chuva, obteve-se dados gratuitamente disponibilizados pela rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), agregando dados de 12 estações, somando-se aos dados de mais 03 estações pluviométricas coletados por Sette (1996), em sua dissertação de mestrado, totalizando 15 estações pluviométricas, as quais cobrem parte da região sudeste e centro-sul matogrossense, tal como verifica-se na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Localização das estações pluviométricas com suas respectivas fontes e modelo digital de terreno.



Fonte: GUIRRA e SANTOS (2017)

Esta região ocupa área equivalente a 45.499,9 Km² e perímetro de 1.763,9 Km, apresentando transições entre diferentes compartimentos geomorfológicos de 2º táxon (morfoesculturas) representadas por planaltos, depressões interplanálticas e planícies de acordo a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Compartimentos geomorfológicos de 1° e 2° táxons de acordo Ross (1992) e seus respectivos intervalos altimétricos expressos em superfície.

MORFOESTRUTURA	MORFOESCULTURA	INTERVALOS ALTIMÉTRICOS (m)
Morfoestruturas dos Sedimentos da Bacia do Araguaia	Pantanal: Planície Fluvial do Araguaia	100-200
	Pantanal: Áreas de Acumulação Inundáveis do Araguaia	110-200
Morfoestrutura da Borda Setentrional da Bacia do Paraná	Depressão Interplanáltica de Rondonópolis	200-400
	Planalto Taquari-Alto Itiquira	400-910
	Planalto dos Guimarães	400-910
Morfoestrutura do Cinturão Orogênico Paraguai-Araguaia	Depressão Cuiabana	110-300
	Planalto de São Vicente / São Gerônimo	300-400

Fonte: Baseado no atlas de Mato Grosso elaborado pela SEPLAN-MT (2011) compilado e editado por GUIRRA e SANTOS. (2017)

As séries históricas utilizadas abrangem espectro temporal de 03 a 10 anos de observações, abrangendo o período de 1980 a 1990. Ressalta-se que não foi adotado um período-base de estudos para todas as estações, pois ao se analisarem os dados disponíveis, verificou-se não haver registros completos de toda série, não caracterizando um estado médio das precipitações pluviométricas.

Carvalho, Assad e Pinto (2012) avaliam que tanto o setor público como a administração privada têm exigido informações meteorológicas e climáticas mais precisas e confiáveis para estabelecer metas, formular o planejamento estratégico e minimizar custos, entretanto verificou-se pouca disponibilidade de dados, ou sua inexistência, em algumas áreas do país, tal como o estado de Mato Grosso.

A Tabela 2.6 demonstra as especificações de cada estação utilizada para espacialização dos parâmetros climatológicos relacionados à chuva utilizados neste estudo, sendo eles: precipitação média mensal, precipitação média anual, intensidade pluviométrica (Crepani et al., 2001), coeficiente de chuva (fator R_c) e erosividade, respectivamente.

Tabela 2.6 – Caracterização das estações pluviométricas selecionadas neste estudo para quali-quantificação das fragilidades ambientais associadas à intensidade pluviométrica e erosividade.

Estação	Município	Código	Altitude (m)	Latitude (S) graus	Longitude (W) graus	Período	Nº de Anos
Baia Nova	Santo Antônio do Leverger / Barão do Melgaço	1655000	185	-16.356.057	-55.586.397	1987-1990	3
Fazenda São Benedito	Pedra Preta	<i>NULL</i>	347	-16.689.843	-5.454.004	1980-1990	10
Formosa	Santo Antônio do Leverger	1755002	240	-16.999.999	-55.200.257	1980-1990	10
Guiratinga	Guiratinga	1653002	502	-16.352.727	-53.760.844	1980-1990	10
Itiquira	Itiquira	1754000	542	-17.207.469	-54.140.253	1980-1990	10
Jaciara	Jaciara	1554006	281	-15.988.772	-54.968.549	1980-1989	9
Padre Ricardo Remmeter	Santo Antônio do Leverger	1556008	220	-15.783.579	-56.068.726	1980-1989	9
Plantações Michelin	Itiquira	<i>NULL</i>	526	-17.235.516	-54.730.273	1980-1990	10
Poxoréu	Poxoréu	1554004	420	-15.833.258	-54.383.261	1980-1990	10
Poxoréu (Externato São José)	Poxoréu	1554001	486	-15.850.039	-54.383.390	1982-1989	7
Rondonópolis	Rondonópolis	1654000	291	-16.471.399	-54.656.722	1980-1990	10
Santa Escolástica	Pedra Preta	1654004	304	-16.843.095	-54.408.356	1980-1990	10
Santa Terezinha	Pedra Preta	1654001	311	-16.673.827	-54.266.323	1980-1990	10
Taiamã	Santo Antônio do Leverger	1655003	205	-16.727.482	-55.355.914	1980-1989	9
Vale Rico	Guiratinga	1654005	394	-16.390.776	-54.149.825	1984-1990	6

Fonte: Agência Nacional das Águas (2016)., Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (2016), Sette (1996). Compilado e organizado por GUIRRA e SANTOS. (2016)

Crepani et al. (2001) ao propor o diagnóstico de vulnerabilidade natural à perda de solos para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico utilizando imagens de satélites, estabeleceu para o tema clima valores empíricos relativos à intensidade pluviométrica. Ross (1994), ao preconizar a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, discorre sobre o índice de erosividade das chuvas (fator E) como um dos parâmetros que compõe a equação universal de perda dos solos (EUPS), podendo esta ser utilizada para análises regionais de fragilidade, estabelecendo níveis hierárquicos às características climatológicas de acordo com a maior ou menor intensidade de efeito pluviométrico sobre processos morfodinâmicos, tendo como subsídio os principais domínios climáticos que ocorrem no território brasileiro.

Em vista do fato anteriormente exposto, verificou-se que os domínios climáticos do território brasileiro abrangem escala regional de pouca precisão para o diagnóstico da fragilidade ambiental associada à intensidade pluviométrica no cenário do PUR, sendo assim, optou-se neste trabalho pela adaptação metodológica. Dessa forma, a estimativa dos índices de vulnerabilidade associados à intensidade pluviométrica foi correlacionada qualitativa e quantitativa dentro da escala de erosividade da chuva, originalmente definida por Crepani et al. (2001), com as classes de fragilidade ambiental para o mesmo tema. Ambas classes apresentam 5 (cinco) parâmetros qualitativos, sendo que a vulnerabilidade pode variar entre estável a vulnerável, enquanto que a fragilidade gradua de muito fraca a muito forte, tal como se observa na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Relação escalar diretamente proporcional entre classes e graus de vulnerabilidade e fragilidade ambientais associados a intensidade pluviométrica, considerando as médias de volume de chuva (mm) registrados durante as estações úmidas.

RELAÇÃO ESCALAR DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA COM GRAUS E CLASSES DE VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS E FRAGILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADA AO MESMO TEMA			
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Grau de Vulnerabilidade	Grau de Fragilidade	Classes Vulnerabilidade / Fragilidade
>525	3,0	5	Vulnerável / Muito Forte
500-525	2,9	5	
475-500	2,8	5	
450-475	2,7	5	
425-450	2,6	4	Moderadamente vulnerável / Forte
400-425	2,5	4	
375-400	2,4	4	
350-375	2,3	4	Medianamente vulnerável / Média
325-350	2,2	3	
300-325	2,1	3	

275-300	2,0	3	Moderadamente estável / Fraca
250-275	1,9	3	
225-250	1,8	3	
200-225	1,7	2	
175-200	1,6	2	
150-175	1,5	2	
125-150	1,4	2	Estável / Muito Fraca
100-125	1,3	1	
75-100	1,2	1	
50-75	1,1	1	
<50	1,0	1	

Fonte: CREPANI et al. (2001). Correlacionado por GUIRRA e SANTOS (2017) para estudos de fragilidades ambientais. *Grifo do autor

O valor da intensidade pluviométrica segundo Crepani et al. (2001) é obtido dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses), sendo que para o estado de Mato Grosso, Marcuzzo et al. (2011) determinou em 6 meses (outubro a março) a estação úmida.

Efetuuou-se a interpolação geoestatística das intensidades pluviométricas utilizando-se o método das isoetas disponíveis no Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGis 10.1 da ESRI (Environmental Systems Research Institute), a fim de identificar o melhor contorno das isolinhas de cada interpolador, tendo-se em vista os compartimentos morfoesculturais existentes.

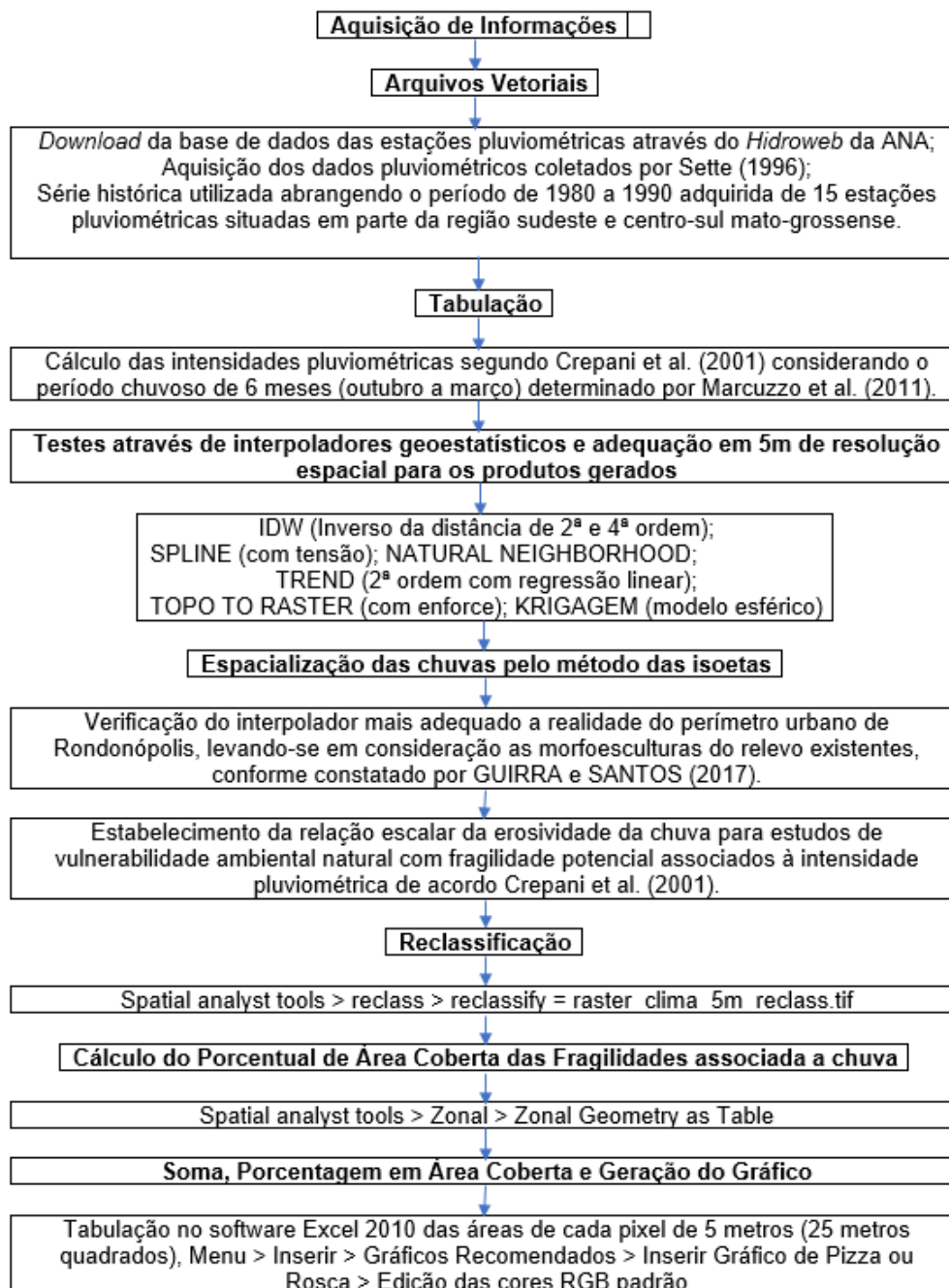
As técnicas de interpolação utilizadas neste estudo foram idw (inverso do quadrado da distância) com potência de 2ª ordem, idw com potência de 4ª ordem, spline (curvatura mínima), trend (tendência) com potência de 2ª ordem, topo-to-raster com enforce e krigagem. Todas as categorias de interpolação foram utilizadas para a espacialização areal de dados pontuais, os quais, nesse caso, estão homogeneamente distribuídos pela área de estudo.

O idw é um dos interpoladores mais utilizados, o qual, segundo Marcuzzo, Andrade e Melo (2011), determina valores dos pontos pela combinação linear ponderada dos pontos amostrados, sendo o peso de cada ponto o inverso de uma função da distância. Para Andriotti (2009) apud Souza et al. (2011) o interpolador spline utiliza polinômio para gerar superfície que minimiza a curvatura das isoetas, suavizando-as. O trend, de acordo Lucas et al. (2013), requer uma análise da tendência direcional dos dados espaciais da superfície, representando as variáveis numéricas a partir de regressão polinomial pelo método dos mínimos quadrados, separando os dados em componentes regionais e locais. Hutchison et al. (2009) apud Marcuzzo, Andrade e Melo (2011) afirmam que o interpolador topo-to-raster pode também ser usado para outros tipos de modelo, além dos de elevação, como os de chuva. Para Vieira (2000) e

Thompson (1992) apud Mello et al. (2003) a krigagem tem capacidade de produzir melhores estimativas de interpolação, porque está embasada em premissas de não tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas. Dessa forma, a Figura 2.9 sintetiza os procedimentos metodológicos anteriormente citados.

Figura 2.9 – Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade associada à intensidade pluviométrica.

Elaboração da Carta de Fragilidade Associada à Intensidade Pluviométrica e Quantificação do Porcentual de Área Coberta das Classes e Graus de Fragilidade do Perímetro Urbano de Rondonópolis, Mato Grosso



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

2.3.2 Fragilidades ambientais associadas à erosividade

Segundo Salton, Comunello e Fietz (2013) um índice bastante aceito e utilizado para mensurar a capacidade da chuva causar erosão foi proposto por Wischmeier e Smith (1958), que considera a erosividade da chuva como resultado da energia cinética e da intensidade máxima ocorrida em chuvas de 30 minutos, sendo este índice denominado de EI30 (Tabela 2.8, Eq. 1, 2,3 e 4).

Lombardi Neto (1977) apud Salton, Comunello e Fietz (2013) propõe a equação do coeficiente de chuva para calcular valores médios mensais e anuais (Tabela 2.8, Eq.5). De acordo com Salton, Comunello e Fietz (2013), Almeida (2009) estimou para a região deste estudo (região pluviométrica homogênea centro e sul de Mato Grosso) duas equações de erosividade (Tabela 2.8, Eq.6 e Eq.7), espacializando-a pelo método da função de base radial.

Dessa maneira, depreende-se uma possível relação existente entre a intensidade pluviométrica proposta por Crepani et al. (2001) (Tabela 2.8, Eq.8), com o coeficiente de chuva, tendo-se em vista que a precipitação média anual é uma variável comum entre estas equações, em que, isolando-se a variável precipitação média anual, obtém-se a Equação 9 da tabela 2.8.

Desta verificação tem-se que a intensidade pluviométrica utilizada nos diagnósticos de vulnerabilidade e fragilidade ambientais se relacionam com o coeficiente de chuva de maneira diretamente proporcional e inversamente proporcional a duração da estação úmida, tal como, demonstra a Equação 10 da Tabela 2.8. Enquanto que, na equação da erosividade estimada para as regiões pluviométricas homogêneas de Mato Grosso, quando se substituiu o coeficiente de chuva pela correspondente de intensidade pluviométrica, obteve-se as equações 11 e 12 da Tabela 2.8, demonstrando que a erosividade é variável dependente da intensidade pluviométrica, relacionando-se com esta em uma função de base radial para ambas as regiões pluviométricas homogêneas matogrossense, centro e sul.

Vale ressaltar que as equações obtidas neste estudo visam demonstrar somente como as equações apresentam relações de proporcionalidade, não assumindo efeito prático para base de cálculo, caso o R_c (coeficiente de chuva) seja substituído pelo resultado da equação 10 da Tabela 2.8, uma vez que a unidade de medida ($\text{mm}^3 \text{ m}^{-2}$) derivada dessa substituição não apresenta significado climatológico.

Tabela 2.8 – Relação entre equações e parâmetros de intensidade pluviométrica e erosividade da chuva.

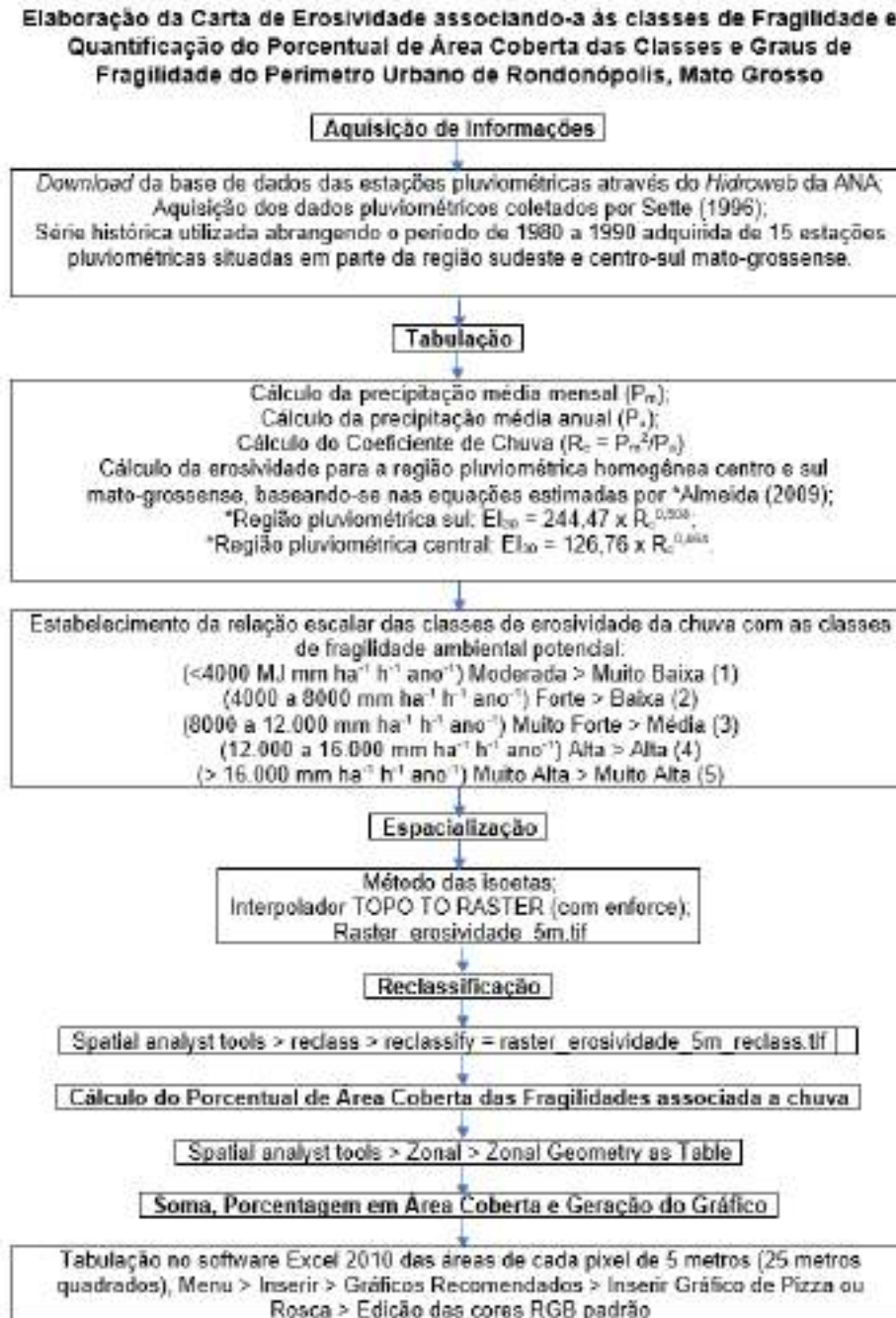
RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DE INTENSIDADE E EROSIVIDADE DA CHUVA		
Parâmetros da erosividade mensal, anual e média e coeficiente de chuva	Parâmetros regionais da chuva segundo outros autores	Significado dos componentes das equações
Energia Cinética da Chuva segundo Wischmeier e Smith (1958)	Equação estimada para a região pluviométrica homogênea do Estado de Mato Grosso segundo Almeida (2009)	E_c = é a energia cinética, MJ ha ⁻¹ mm ⁻¹ ;
(Eq. 1) $EC = 0,119 + 0,0873 \times \log(I_p)$	(Eq.6) $EI_{30} = 244,47 \times R_c^{0,508}$ (Sul) (Eq.7) $EI_{30} = 126,76 \times R_c^{0,464}$ (Centro)	I_p = é a intensidade da precipitação da chuva em mm h ⁻¹ ; EC_s = é a energia cinética no segmento de chuva, MJ ha ⁻¹ ;
Energia Cinética no segmento de Chuva	Duração da estação úmida em Mato Grosso segundo Marcuzzo et al. (2011)	h = é a quantidade de chuva no segmento uniforme, mm;
(Eq.2) $EC_s = EC \times h$	$t_{pu} = 6$ meses	I_{30} = é a intensidade da chuva em 30 min consecutivos, mm h ⁻¹ ;
Intensidade Máxima da Chuva em 30 minutos	Intensidade Pluviométrica segundo Crepani et al. (2001)	i_n = é o valor da intensidade da chuva de ordem n (mm h ⁻¹) ocorrida no intervalo contínuo de 30 min;
(Eq.3) $I_{30} = \sum_{i=1}^n i_{ni} \times t_{ni}$	(Eq. 8) $I_{vps} = P_a / t_{pu}$	t_n = é o tempo de ocorrência da intensidade da chuva de ordem n, ocorrida dentro do intervalo contínuo de 30 min;
Índice de Erosividade da chuva erosiva individual	Relação entre Intensidade Pluviométrica para estudos de vulnerabilidade e fragilidade, o coeficiente de chuva e a erosividade	EI_{30} = é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ;
(Eq.4) $EI_{30} = EC_t \times I_{30}$	Depreende – se neste estudo que: $t_{pu} \gg \gg t_n$;	R_c = é o coeficiente de chuva, mm;
Coeficiente de Chuva para cada mês do ano segundo Lombardi Neto (1977)	$P_a = \frac{R_c}{P_m^2} = \frac{I_{vps}}{t_{pu}}$; (Eq. 9)	P_m = é a precipitação média mensal, mm;
(Eq.5) $R_c = P_m^2 / P_a$	(Eq. 10) $R_c = \frac{I_{vps} \times P_m^2}{t_{pu}}$, dessa forma tem – se que: (Eq. 11) $EI_{30} = 244,47 \times \left(\frac{I_{vps} \times P_m^2}{t_{pu}} \right)^{0,508}$ (Sul) (Eq. 12) $EI_{30} = 126,76 \times \left(\frac{I_{vps} \times P_m^2}{t_{pu}} \right)^{0,464}$ (Centro)	P_a = é a precipitação média anual, mm; I_{vps} = é a intensidade da chuva no intervalo contínuo de duração da estação úmida, estabelecido para uma dada região, mm mês ⁻¹ ;
		t_{pu} = é o tempo de duração da estação úmida estabelecido para uma dada região expressa em meses.

Obs.: Eq. = Equação

Fonte: Compilado de CREPANI et al. (2001)., ALMEIDA (2009)., MARCUZZO, ANDRADE e MELO (2011)., WISCHMEIER e SMITH (1958) apud SALTON, COMUNELLO e FIETZ (2013)., LOMBARDI NETO (1977) apud SALTON, COMUNELLO e FIETZ (2013). Organizado e correlacionado por GUIRRA e SANTOS. (2017)

Dessa forma, a Figura 2.10 sintetiza os procedimentos metodológicos anteriormente citados:

Figura 2.10 – Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade associada à erosividade.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Advindo da correlação entre intensidade pluviométrica e erosividade da chuva, e sabendo-se que ambas possuem 5 (cinco) classes quali-quantitativas, propõe-se neste estudo a relação escalar gradativa entre seus valores, onde a erosividade moderada equivalerá a fragilidade de erosividade muito baixa e a erosividade forte corresponderá, consequentemente,

a fragilidade de erosão pela chuva baixa, assim, sucessivamente, até atingir em ambas modos de análises a classe muito alta, tal como poder ser verificado na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Relação escalar entre valores de erosividade e fragilidade de erosividade.

CLASSE DE EROSIVIDADE	INTERVALOS DE EROSIVIDADE (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	CLASSE DE FRAGILIDADE QUANTO À EROSIVIDADE	GRAU DE FRAGILIDAD E
Moderada	0-4000	Muito fraca	1
Forte	4000-8000	Fraca	2
Muito Forte	8000-12000	Média	3
Alta	12000-16000	Forte	4
Muito Alta	16000-20000	Muito forte	5

Fonte: Compilado de Ross (1994)., Crepani et al. (2001)., Salton, Comunello e Fietz (2013). Correlacionado por GUIRRA, A. P. M. (2017)

2.4 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS ÀS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICA-ESTRUTURIAS DOS GRUPOS DE ROCHAS

2.4.1 Fragilidades ambientais associadas aos grupos de rochas e demais materiais geológicos quanto à resistência mecânica a erosão

As Formações geológicas são unidades litoestratigráficas fundamentais na nomenclatura estratigráfica formal, caracterizadas por corpos rochosos com características líticas e posição estratigráfica bem definida, mapeáveis em superfície ou subsuperfície. Originalmente, Ross (1994) não estabeleceu parâmetros empíricos de análise para os tipos de rocha, uma vez que a metodologia visa indicar a fragilidade dos ambientes em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, tal como salienta Franco, Hernandez e Lima (2013).

Contudo, julga-se relevante para o diagnóstico das fragilidades do ambiente urbano de Rondonópolis considerar características de subsuperfície, como os tipos de rocha e a geologia estrutural desta área, tendo em vista que há estudos (CASARIN, 2003., ALBACETE, 2008., CUTRIM e CAMPOS, 2010), que apontam a necessidade de avaliação dos fatores que fragilizam o aquífero Furnas nesta região, bem como a evidência de rochas aflorantes no terreno, a qual não se poderia correlacionar a unidades de solo, caso avaliássemos a fragilidade em escala de detalhe.

Outra justificativa surge pela necessidade de aproximar a validação do diagnóstico de fragilidade ambiental como indicativo de áreas prioritárias para o detalhamento progressivo, através do mapeamento geológico-geotécnico, o qual em sua avaliação contempla dados geológicos e estruturais onde se conformam determinado território, como condicionantes físicos indicadores de áreas de aptidão à urbanização.

Visando compilar informações relativas às unidades de rochas existentes no PUR, obteve-se informações advindas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), através do qual foi disponibilizado o mapa geológico na escala de 1:250.000 referente a Folha SE-21-X-B (Rondonópolis) em formato vetorial editável e em *portable document format* (.pdf).

Executou-se a delimitação da área de estudo para posterior recorte dos polígonos relativos à litoestratigrafia, através dos quais operou-se a avaliação das classes e graus de fragilidade tendo por base a escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns, estabelecidas por Crepani et al. (2001). Estes autores estabeleceram como parâmetro a resistência dos constituintes minerais e a estabilidade química e textural do arranjo estrutural dos cristais que compõe as rochas, agrupando-as em uma sequência decrescente de resistência ao intemperismo.

Para as rochas ígneas estes autores levaram em consideração o grau de saturação em sílica como um fator relevante para diagnosticar a tendência destas rochas resistirem ao intemperismo, estabelecendo a seguinte ordem para estas rochas:

➤ *ácidas > intermediárias > básicas > ultrabásicas*
(resistência ao intemperismo)..

Em relação às rochas metamórficas os autores estabeleceram a ordem de resistência ao intemperismo de acordo com a composição química e do grau de metamorfismo regional das principais rochas metamórficas, ordenando-as numa sequência empírica, tal como exposto na sequência:

➤ *quartzito > granulito > migmatitos > gnaisses > milonitos > xistos > anfibolitos > filitos > ardósias > mármore*
(resistência ao intemperismo)..

Para as rochas sedimentares Crepani et al. (2001) ressaltam que além da composição química dos minerais que constituem os fragmentos detríticos e os precipitados químicos, seja levado em consideração outras características, tais como: granulometria, seleção, maturidade, diagênese e litificação, a fim de se estabelecer um ordenamento relacionado à resistência ao intemperismo e à erosão. Nesse sentido, o autor sugere a seguinte sequência decrescente:

➤ *arenito quartzoso > conglomerados > subgrauvaca > grauavaca > siltitos > argilitos > folhelho > margas > dolomito > calcários > evaporitos > sedimentos*
inconsolidados

(resistência ao intemperismo e à erosão),.

O ordenamento da vulnerabilidade das principais rochas que afloram na superfície terrestre, efetuado por estes autores, portando segue a seguinte sequência:

➤ *rochas ígneas > rochas metamórficas > rochas sedimentares*
(resistência mecânica à erosão)

Contudo, considerando que em regiões de clima tropical úmido a maioria das rochas encontram-se não aflorantes em superfície, possuindo manto de intemperismo predominantemente espesso, o qual cobre total ou parcialmente as mesmas, verificou-se a necessidade de readequar a chave de classificação das vulnerabilidades à denudação dos tipos de rochas aos modelos de fragilidade ambiental.

A categoria de coberturas detrito-lateríticas inconsolidadas, superfícies peneplanizadas cobertas por solos residuais bem desenvolvidos, saprolitos e regolitos em geral, estão mais predispostos a processos erosivos, porém são menos friáveis do que sedimentos inconsolidados, os quais podem ser facilmente carregados tanto por fluxo aquoso quanto pelo fluxo eólico, sendo assim, propõe-se neste estudo a seguinte configuração:

➤ *rochas ígneas > rochas metamórficas > rochas sedimentares > depósitos lateríticos, saprolitos e regolitos > sedimentos*
(resistência mecânica à erosão)

Depreende-se do exposto acima que as classes de fragilidade devem ser ajustadas da esquerda para a direita, ou seja, da classe muito fraca até a classe muito forte. Entende-se que em solos residuais, no geral, possuem menor estabilidade mecânica, arranjo cristalino menos coeso/menos compactado, maior proporção de vazios internos (porosidade e permeabilidade), prevalecendo a morfogênese sobre estas unidades, contudo é comum haver cimentação com elevado conteúdo de óxido de ferro ou alumínio hidratados na forma de minerais como goethita (FeO (OH)) e gibbsita (Al(OH)₃), principalmente, os quais dão bom grau de compacidade ao depósito residual. Outro fator relevante na distinção da ocorrência destes materiais na superfície é que estes ocorrem geralmente em áreas de topo, em terrenos com baixa a média declividade majoritariamente, o que os agrupariam em situações de maior estabilidade a processos erosivos.

Entretanto, a Tabela 2.10 sintetiza as informações compiladas acima, considerando apenas o caráter mecânico intrínseco e genérico dos principais grupos de rochas e demais materiais

geológicos que ocorrem em superfície, buscando classificar e atribuir graus de fragilidade aos mesmos, de acordo com a proposta originalmente instituída por Crepani et al. (2001) ao sintetizar 21 classes de vulnerabilidade à erosão dos principais tipos de rochas.

Tabela 2.10 – Tabela com a classificação em das fragilidades ambientais associadas aos tipos de rochas e demais materiais geológicos aos processos erosivos, levando em consideração aspectos mecânicos genéricos relacionados ao grau de coesão e estabilidade no arranjo estrutural dos minerais formadores de rocha.

FRAGILIDADE AMBIENTAL DOS GRUPOS DE ROCHAS E DEMAIS MATERIAIS GEOLÓGICOS ASSOCIADA A RESISTÊNCIA MECÂNICA À EROSÃO		
GRUPOS LITOLÓGICOS	CLASSE	GRAU
Sedimentos inconsolidados, depósitos coluvionares e aluvionares	Muito Alta	5
Coberturas detrito-lateríticas inconsolidadas, saprolitos e regolitos	Alta	4
Rochas Sedimentares	Média	3
Rochas Metamórficas	Baixa	2
Rochas Ígneas	Muito Baixa	1

Fonte: Compilado e adaptado de Crepani et al. (2001) para estudos de fragilidade ambiental. Correlação e complementação elaborada por GUIRRA, A. P. M. (2017)

Uma vez identificado os tipos de rochas aflorantes no território do PUR e, balizando-se pelos dados adquiridos em campo, levando-se em consideração os aspectos texturais e estruturais das unidades geológicas, compartimento do relevo em que ocorrem e características geotécnicas gerais, objetivou-se uma reclassificação das fragilidades associadas aos grupos de rochas cartografadas em escala regional, conforme tabela 2.1

- a) Os arenitos esbranquiçados de textura média a grossa, pertencentes à Formação Furnas, estão posicionados preferencialmente em locais onde ocorrem latossolos vermelho-escuro distróficos de textura argilosa a muito argilosa, bem como em regiões onde há presença de neossolos quartzarênicos. Situados em locais onde o relevo apresenta padrão em colinas amplas com vertentes longas, colinas alongadas com topo plano e colinas com topo estreito e aplainado. A declividade nestes compartimentos geomorfológicos pode variar desde muito fraca a muito forte. O uso e ocupação nos locais de ocorrência deste arenito possuem baixo adensamento, sendo destinados aos setores industriais, plantações de eucalipto, soja e milho, condomínios e setores de chácaras. Neste contexto, valida-se o grau de vulnerabilidade para este tipo de rocha em 2,2 (medianamente estável/vulnerável), o que corresponderá à classe média de fragilidade (3).
- b) Os siltitos e folhelhos ferruginosos intemperizados, com intercalações de arenitos finos a muito finos, geralmente fraturados, pertencentes a Formação Ponta Grossa,

posicionam-se preferencialmente em locais onde ocorre latossolo vermelho-escuro álico de textura argilosa e muito argilosa, com perfil bem desenvolvido/espesso. Encontrando-se em sua maior parte na região do perímetro que apresenta maior adensamento populacional, no setor de malha urbana consolidada, com presença de asfaltamento e impermeabilização do solo. Condicionado aos compartimentos geomorfológicos com padrões de colinas com topo estreito e aplainado, colinas com topo estreito e morrotes e colinas suaves alongadas e vertente curta. As declividades nestes locais podem variar desde muito fraca a forte. Sendo assim, interpreta-se o grau de vulnerabilidade para este tipo de rocha em 2,7 (moderadamente vulnerável), o que equivale a classe alta de fragilidade (4).

- c) As coberturas detrito-lateríticas inconsolidadas, pertencentes a Formação Pantanal, encontram-se compactas à semi-compactas com elevado teor de ferro cimentante, diminuindo os vazios internos do solo alterado e do regolito, favorecendo o aparecimento de horizontes mais resistentes a erosão e sustentando o topo do relevo no patamar escalonado do Planalto do Taquari Itiquira. Aflora em grande parte do setor sul do PUR, em regiões de baixo adensamento populacional, nos locais destinados ao desenvolvimento da agricultura mecanizada com cultivo de soja, milho e eucalipto, além do setor destinado às atividades industriais. Encontram-se em compartimentos do relevo que apresentam predominantemente padrões em colinas alongadas de topo plano, colinas suaves alongadas e vertentes curtas e, em menor abrangência, padrões em terraços fluviais. Ocorrem em regiões com declividade variando desde muito fraca a média. Nesse sentido, estabelece-se o grau de vulnerabilidade em 1,6 (moderadamente estável), configurando fragilidade baixa (2).
- d) Os depósitos aluvionares constituídos de sedimentos inconsolidados de areias quartzosas finas a grossas, com níveis de cascalho e material silto-argiloso encontram-se subordinados aos vales fluviais encaixados do Rio Vermelho e Córrego Arareau, correspondendo a depósitos de acreção lateral, formando barras arenosas que migram constantemente de posição na direção a jusante. Estas áreas apresentam forte pressão demográfica, utilizadas pelos setores comercial e residencial. Pouca proteção de suas margens devido ao uso e ocupação irregular, com predomínio de vegetação ripária caracterizada por mata ciliar. Possuem historicamente registros de inundações e enchentes. A declividade gradua desde

muito fraca a muito forte. Devido a estes fatores anteriormente elencados, diagnostica-se a vulnerabilidade em 3,0 (vulnerável), grau mais elevado, o que corresponde a fragilidade alta (5), em consonância a proposta original de Crepani et al. (2001) para esse tipo de material geológico.

Sendo assim, a Tabela 2.11 dispõe a relação entre as classes de vulnerabilidade e a correlação e reclassificação da fragilidade adaptada à realidade física que se verifica no PUR.

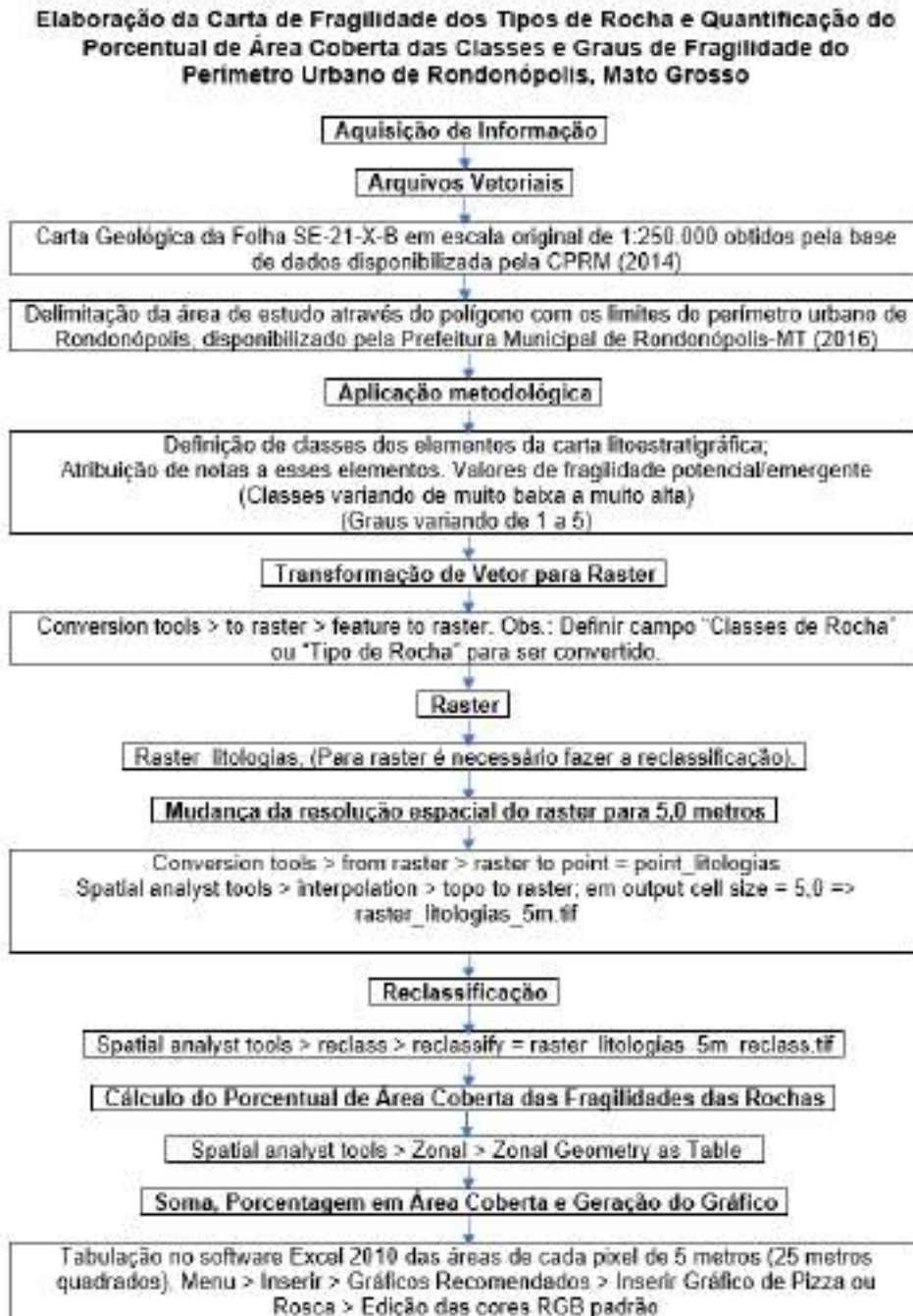
Tabela 2.11 – Correlação e reclassificação da fragilidade ambiental dos tipos de rocha do perímetro urbano de Rondonópolis, em função da vulnerabilidade à denudação e resistência mecânica a erosão, considerando as principais características geotécnicas.

Classe de vulnerabilidade	Litologia	Parametrização	Características Geotécnicas	Reclassificação	Classe de Fragilidade	Grau de Fragilidade
	Tipos de Rochas	Grupo de Rochas	Grupo de Rochas deste estudo	Formação Geológica / Litologia		
VULNERÁVEL	Sedimentos inconsolidados: Aluviões, Colúvios, etc.	Sedimentos inconsolidados, depósitos coluvionares e aluvionares.	Friável a pulverulento, raso, textura média a grossa, mal selecionado, sujeito a recalque.	Sedimentos Quaternários inconsolidados e *Coberturas detrito-lateríticas e regolitos	MUITO ALTA	5
VULNERÁVEL	Calcáreos, Dolomitos, Margas, Evaporitos					
VULNERÁVEL	Folhelhos					
VULNERÁVEL	Siltitos, Argilitos					
MODERADAMENTE VULNERÁVEL	Grauvacas, Arcózios	Coberturas detrito-lateríticas inconsolidadas e regolitos	Rocha alterada, residual, compacta a semi-compacta, com cimento ferruginoso e silicoso, com fragmentos de cascalhos e areias mal selecionadas	*Formação Ponta Grossa, siltitos, argilitos e arenitos intercalados	ALTA	4
MODERADAMENTE VULNERÁVEL	Conglomerados, Subgrauvacas					
MODERADAMENTE VULNERÁVEL	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos					
MODERADAMENTE VULNERÁVEL	Mármore					
MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	Ardósia, Metargilito	Sedimentares	Fraturnadas em várias direções, com estratificações cruzadas, plano-paralelas, dobras convolutas, estruturas de escorregamento, com falhas penetrativas, físsil, semi-compacto a compacto.	Formação Furnas, arenitos e siltitos intercalados	MÉDIA	3
MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	Filito, Metassilito					
MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	Estaourolita-Xisto, Actnolita-Xisto					
MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	Hornblenda-Tremolita-Actnolita-Xisto					
MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito					
MODERADAMENTE ESTÁVEL	Milonitos, Quartzo-Muscovita-Biotita-Clorita-Xisto	Metamórficas	Não ocorrem		BAIXA	2
MODERADAMENTE ESTÁVEL	Anortosito, Gabro, Peridotito					
MODERADAMENTE ESTÁVEL	Andesito, Diorito, Basalto					
MODERADAMENTE ESTÁVEL	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	Ígneas	Não ocorrem	Não se aplica	MUITO BAIXA	1
ESTÁVEL	Migmatitos, Gnaisses					
ESTÁVEL	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos					
ESTÁVEL	Riolito, Granito, Dacito					
ESTÁVEL	Quartzitos ou metaquartzitos					

Fonte: CREPANI et al. (2001). Compilado, correlacionado e adaptado por GUIRRA, A. P. M. (2017) *reclassificados

Diante do panorama anteriormente exposto, a Figura 2.11 ilustra as principais etapas para elaboração da carta de fragilidade ambiental litoestratigráfica, ou fragilidade ambiental dos tipos de rocha.

Figura 2.11 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade dos grupos de rochas e demais materiais geológicos quanto à erosão mecânica.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

2.4.2 Fragilidades ambientais associadas à densidade de descontinuidades geológica-estruturais

Vários trabalhos apontam que a análise de lineamentos geológicos estruturais servem como subsídio para caracterização morfoestrutural, na compartimentação de subzonas geoambientais, na determinação de trechos ou faixas mais sensíveis a impactos por processos de instabilidade ambiental, na identificação da susceptibilidade do terreno a eventos erosivos, tectônicos ou gravitacionais, no condicionamento do lineamento das drenagens e na estruturação do relevo, permitindo identificar zonas mais sensíveis a eventos de cisalhamento e ruptibilidade, ou ainda como parte da caracterização hidrogeológica de aquíferos (CORREA e FONSECA, 2010., MOURA, MATTOS, JIMÉNEZ-RUEDA, 2012., CONCEIÇÃO e SILVA, 2013., GUIMARAES, JIMÉNEZ-RUEDA, 2016., MENDES, SOUSA, FILHO, 2016).

Nesse sentido, propõe-se neste diagnóstico das fragilidades ambientais do PUR a inserção dos condicionantes geológico-estruturais (elementos de subsuperfície) como atributos de análise do meio físico deste território, considerando a densidade de lineamentos e a densidade de interseção entre estes lineamentos, previamente determinados com o auxílio de imagem de radar. Permitindo identificar os principais tensores e as principais direções de faturamento, falhamentos ou contatos litoestratigráficos, indicando ainda a direção preferencial e subzona que apresenta maior deformação tectônica rúptil neste setor do município, sabendo-se que estas áreas são mais facilmente atacadas por processos meteóricos e erosivos, favorecendo a incisão de linhas de escoamento superficial, como ressalta Soares (1978) apud Messias e Ferreira (2017).

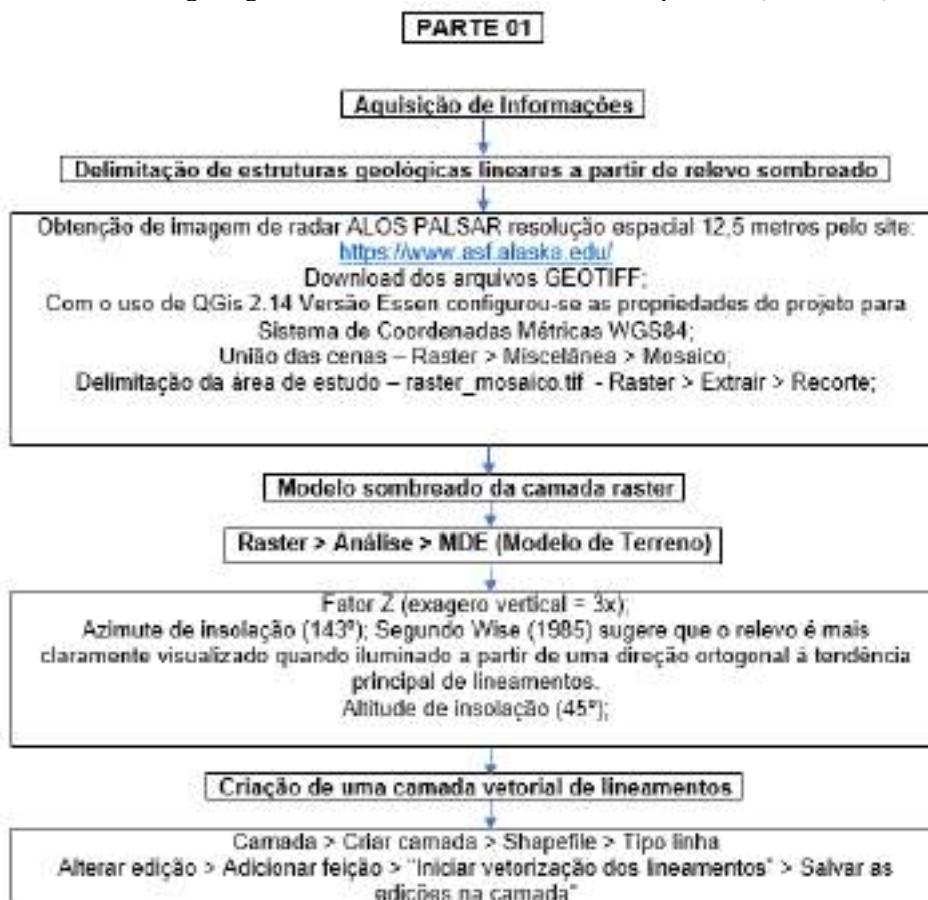
Para execução desta etapa de trabalho foram utilizadas quatro imagens do sensor PALSAR/ALOS no modo polarização dupla FBD (*Fine Beam dual polarization: HH + HV*), órbita ascendente, originalmente em pixels de resolução de 12,5 x 12,5 metros geocodificados em formato GEOTIFF (WGS84 UTM), coletadas em abril de 2010 e janeiro de 2011. Este sensor imageador permite a aquisição de dados topográficos reais da superfície terrestre, uma vez que não sofre interferências de nuvens e possui facilidade em ultrapassar o dossel vegetal. Estas imagens foram adquiridas através da disponibilização gratuita pela Alaska Satellite Facility (<https://www.asf.alaska.edu/>).

Os softwares utilizados foram o QGIS 2.14.14 LTR e o ArcGis 10.1, empregados para a extração semiautomática de lineamentos através da geração da imagem de superfície topográfica sombreada, para obtenção do diagrama de rosetas e filtragem dos azimutes das famílias de lineamentos geológico-estruturais. Efetuou-se o mosaico entre as imagens

adquiridas, em seguida utilizou-se o polígono da área de estudo como referência de corte, reprojutando para o sistema UTM datum Sirgas 2000 Zona 21S.

Sabendo-se que o *trend* estrutural dos lineamentos da área de estudo é NE/SW, avaliou-se a imagem da superfície topográfica sombreada, aplicando-se correção da altitude, denominada “fator z” com exagero vertical de 3x (vezes), sendo necessário devido à diferença entre as unidades, em graus, da superfície horizontal e a unidade de elevação (z, em metros). Atribuiu-se o azimute de 143°, orientando-se a visada do terreno perpendicularmente ao *trend* estrutural da área de estudo e ângulo de iluminação de 45° na vertical, verificado como o mais adequado. A partir da etapa anterior habilitou-se a criação de arquivo vetorial do tipo linha no formato *shapefile* (.shp), denominada lineamentos, por meio da qual delimitou-se, de maneira semiautomatizada, as regiões de incidência dos traços estruturais realçados na superfície do terreno, conforme demonstra a Figura 2.12.

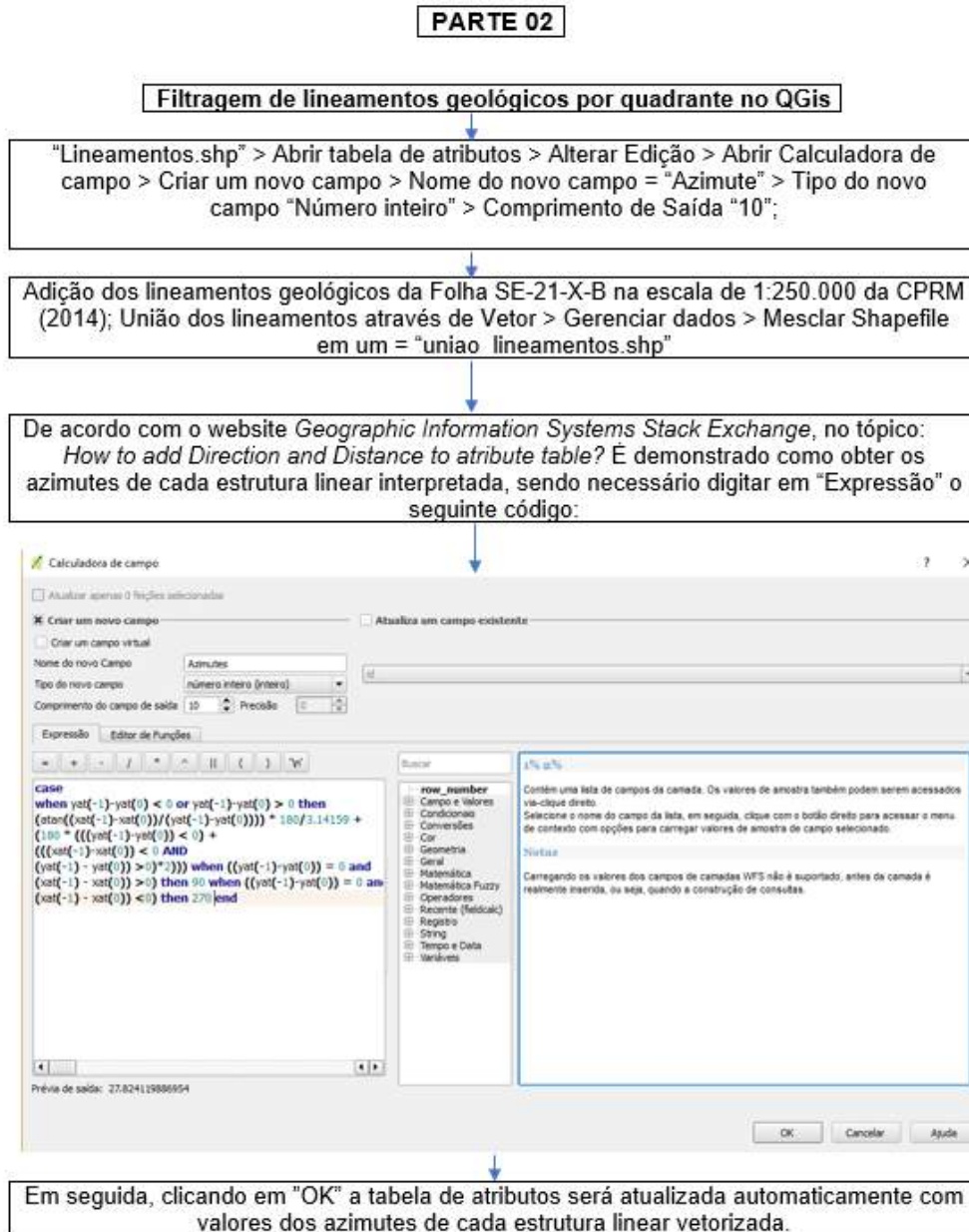
Figura 2.12 – Tratamento da imagem de radar para extração semiautomática das discontinuidades geológica-estruturais evidenciadas em subsuperfície. (PARTE 01)



Fonte: <http://qgisbrasil.org/blog/2016/11/07/interpretacao-de-estruturas-geologicas-lineares-partir-de-relevo-sombreado/>

Na criação do diagrama de rosetas utilizou-se da ferramenta complementar do QGIS 2.14.14 LTR, denominada *Line direction histogram*, por meio da qual selecionou-se a camada vetorial de lineamentos. Para realização da filtragem de lineamentos utilizou-se de algoritmo específico inserido na calculadora de campo do SIG, desenvolvido pelo website *Geographic Information Systems Stack Exchange*, conforme a Figura 2.13.

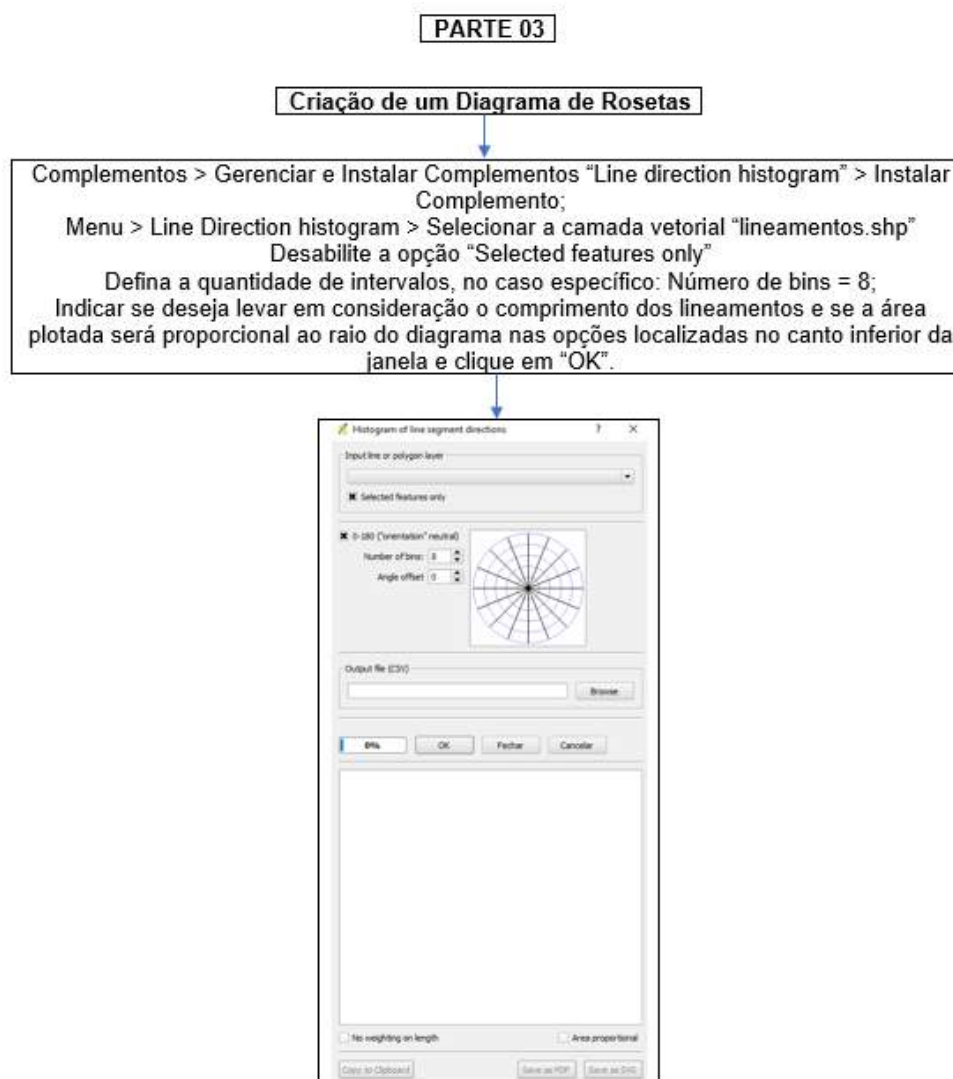
Figura 2.13 – Algoritmo utilizado na filtragem das discontinuidades geológica-estruturais extraídas da superfície sombreada do terreno. (PARTE 02).



Fonte: <http://qgisbrasil.org/blog/2017/01/30/filtragem-de-lineamentos-geologicos-por-quadrantes-no-qgis/>

Uma vez obtido o algoritmo, executou-se a filtragem dos lineamentos segundo a divisão em oito intervalos iguais (bins) de $22,5^\circ$ ($180^\circ/8$) cada um, mostrando as direções preferenciais orientadas em relação ao norte, quadrantes NE e NW, levando-se em consideração o comprimento dos lineamentos e a área plotada no diagrama de rosetas (Figura 2.14) com raio proporcional, onde exportou-se os resultados da seleção para o formato .csv (*Comma Separated Value*), editável em tabela Excel®. Na quali-quantificação dos elementos geológicos estruturais lineares, segmentados previamente por quadrantes, verificou-se parâmetros tais como: comprimento, frequência e persistência, os quais são indicadores dos azimutes preferenciais de incidência de falhas, fraturas, acomodação e incisão de drenagens, ou ainda de contatos litológicos.

Figura 2.14 – Divisão dos intervalos no diagrama de rosetas pelo histograma de direção das linhas.



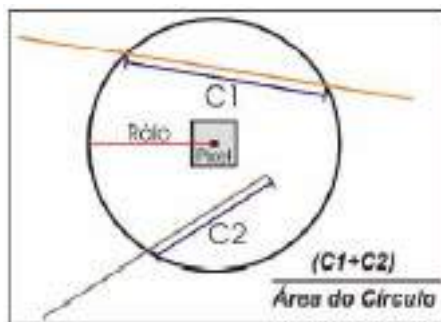
Fonte: <http://qgisbrasil.org/blog/2017/01/30/filtragem-de-lineamentos-geologicos-por-quadrantes-no-qgis/>

Na seleção dos lineamentos por quadrante, selecionou-se na tabela de atributos da camada vetorial “lineamentos” os intervalos de cada grupo de 22,5° de azimuth, segmentando-os em relação as direções NE/NW. Depois de selecionados lineamentos de interesse exportou-os para uma camada individual, salvando-o em formato *shapefile* (.shp).

Para espacialização da densidade de descontinuidades geológica-estruturais e densidade de interseção das mesmas, operacionalizou-se em ambiente SIG (ArcGis 10.1) o estimador de densidade linear (*Line Density*) para o vetor de lineamentos, representado em linhas e o estimador de densidade Kernel (*Kernel Density*), para o vetor de interseções, demarcado pontualmente.

O *Line Density* calcula a densidade de cada forma linear nas redondezas de cada célula (pixel) do raster de saída, tal como verifica Oliveira et al. (2009). A densidade é calculada neste caso foi calculada em unidades de comprimento por área, ou seja (Km/Km²). Segundo estes mesmos autores, o cálculo funciona primeiramente, desenhando ao redor de cada célula da imagem um círculo com 4,0 Km de raio (valor arbitrário informado na ferramenta), onde a porção do comprimento de cada descontinuidade linear que esteja contida na área circular é somada e o total é dividido pela área do círculo, tal como exemplificado na Figura 2.16.

Figura 2.15 – Esquema do cálculo da densidade de lineamentos, sendo C1 e C2 os comprimentos dos lineamentos inseridos na área do círculo.



Fonte: ESRI (2008) apud Oliveira et al. (2009).

Uma vez executado o estimador, obtendo-se a camada rasterizada da densidade total e filtrada dos lineamentos, classificou-se pelo método de quebras naturais as densidades 5 (cinco) intervalos representativos, os quais foram reclassificadas em graus e classes de fragilidade ambiental graduando de muito baixa a muito alta densidade. Em tabela Excel® operou-se a geração de gráfico representativo das porcentagens de cobertura de cada uma das fragilidades, conforme Figura 2.16.

Figura 2.16 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade ambiental geológico-estrutural (PARTE 04).



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

2.4.3 Fragilidades ambientais associadas à densidade de interseções de descontinuidades geológica-estruturais

Na estimativa utilizada na espacialização da densidade de interseções geológica-estruturais (pontos) utilizou-se o método Kernel Gaussiano, onde a função K é expressa da seguinte forma:

$$K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2}$$

O estimador Kernel é comumente utilizado em análises exploratórias de processos pontuais, onde, segundo Wanderley (2013), estima a intensidade de ocorrências do processo em toda região de estudo, ou seja, gera uma superfície cujo valor é proporcional à intensidade de eventos por unidade de área. De acordo está autora, este interpolador é capaz de estimar a intensidade do evento mesmo naquelas regiões onde o processo não tenha gerado nenhuma ocorrência real. Sendo elucidado pela seguinte expressão:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

Onde:

x – Sequência com comprimento n.,

K – Kernel simétrico.,

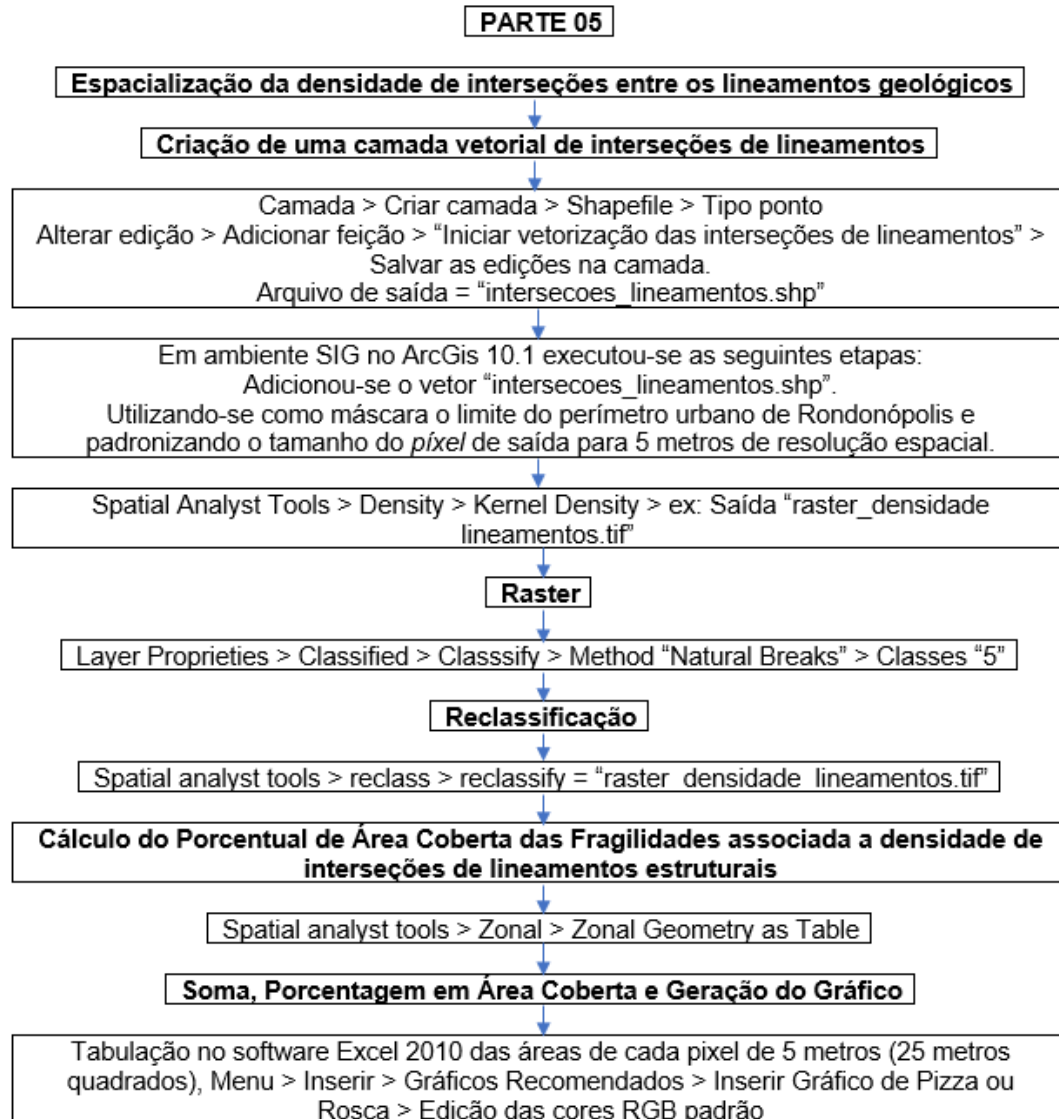
H – Intervalo, parâmetro de uniformização.

Para elaboração da carta de fragilidade associada a densidade de interseções de lineamentos estruturais criou-se camada *shapefile* (.shp) do tipo ponto denominada “intersecao_lineamentos.shp”, por meio da qual habilitou-se a edição da camada dando *zoom in* nos locais onde havia encontro entre lineamentos. Concluída a etapa anterior e utilizando como camada máscara o limite do PUR, executou-se o interpolador densidade de Kernel, obtendo-se o raster e classificando-o em 5 (cinco) intervalos de quebras naturais (natural breaks) de densidade.

Executou-se a reclassificação do raster anterior e quantificou-se os valores de fragilidade associados a densidade de interseção entre lineamentos estruturais, com a ferramenta de geometria zonal e o programa Excel®, tal como demonstra a Figura 2.17.

Sendo assim, a carta de fragilidades ambientais geológica-estruturais é obtida através da sobreposição algébrica por média simples entre as cartas de fragilidades ambientais associadas aos grupos de rochas e demais materiais geológicos quanto à resistência mecânica a erosão, fragilidades ambientais associadas a densidade de interseções de descontinuidades geológica-estruturais e fragilidades ambientais associadas a densidade de interseções de descontinuidades geológica-estruturais.

Figura 2.17 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade ambiental geológico-estrutural (PARTE 05).



Fonte: GUIRRA, A. P. M (2017)

2.5 FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS NÍVEIS DE URBANIZAÇÃO E GRAU DE PROTEÇÃO E COBERTURA DO SOLO

Na determinação da fragilidade quanto aos níveis de urbanização utilizou-se 4 cenas de imagens ortorretificadas do satélite sino-brasileiro, CBERS-4, do dia 28 de julho de 2017, disponibilizado gratuitamente no Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente. Quatro cenas do sensor WFI com resolução espacial de 10 metros (bandas 1, 2 e 3), e outras quatro cenas complementares as cenas anteriores, a banda pancromática com 5 metros de resolução espacial

(banda 4), necessária para operar a fusão das imagens e melhorar a resolução da composição de bandas. As características específicas do sensor podem ser vistas na Figura 2.18, abaixo:

Figura 2.18 – Aquisição das cenas da imagem CBERS-4 que abrangem a área de estudo. (PARTE 01).



Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> (2017)

Após aquisição destas imagens, operou-se o georreferenciamento em relação a imagem pancromática, logo após se executou, no ambiente SIG, o mosaico entre as cenas, recorte através do *buffer* de 100 metros do limite do PUR, de cada uma das cenas. Após esta etapa, efetuou-se a composição falsa cor RGB:342 e fusão com a banda pancromática de 5 metros, através da ferramenta do ArcGis 10.1, *Create Pan-sharpened Raster Dataset*, efetuando o mosaico com o algoritmo *Esri*.

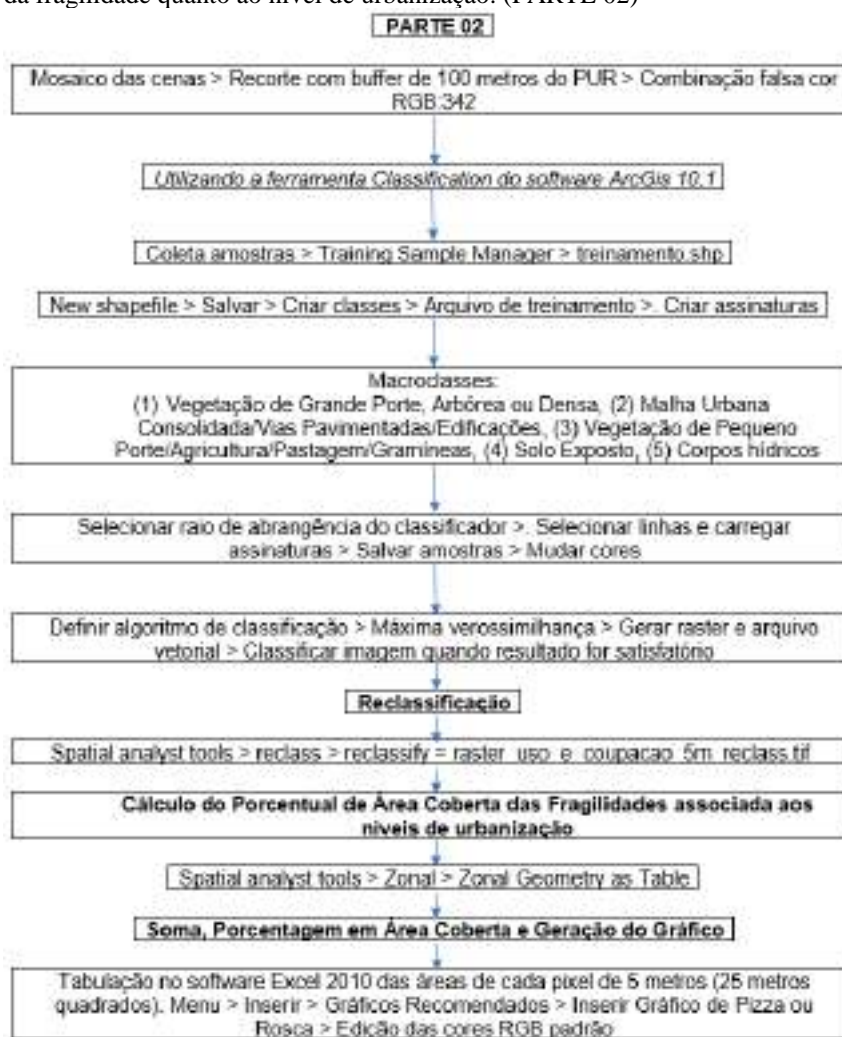
Com o limite definido da área de estudo e a imagem pronta para a classificação supervisionada, executou-se com a ferramenta *Classification*, a obtenção de 300 amostras para cada classe de uso e ocupação de solo, segmentando-as em:

- ✓ Vegetação de grande porte (arbórea ou mata ciliar densa),

- ✓ Malha urbana consolidada/Vias pavimentadas/Edificações.,
- ✓ Vegetação de pequeno porte (agricultura/pastagens/gramíneas em geral).,
- ✓ Solo exposto/Estradas vicinais/Vias não pavimentadas.,
- ✓ Corpos hídricos (rios).

Salvaram-se as amostras coletadas no treinamento na forma de *shapefile* (.shp), verificou-se a resposta espectral das amostras agrupadas em cada classe pelo histograma e as assinaturas foram salvas na extensão .gsg, pela qual, se executou o método de classificação por máxima verossimilhança, onde foi possível extrair tanto o arquivo raster quanto o vetor, que foram reclassificados, editados e calculados as formas de cada classe de fragilidade ambiental quanto aos níveis de urbanização e grau de proteção/cobertura do solo, considerando as características da área de estudo, conforme procedimentos verificados na Figura 2.19.

Figura 2.19 - Esquema metodológico para obtenção, qualificação e quantificação da fragilidade quanto ao nível de urbanização. (PARTE 02)



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Devido ao fato do perímetro urbano de Rondonópolis não possuir características de malha urbana totalmente consolidada, com elevado adensamento de áreas edificadas, sendo comum o desenvolvimento de atividades ligadas à agricultura e pecuária, houve a necessidade de se correlacionar os graus e classes de fragilidade ambiental tanto no que se refere aos níveis de urbanização, segundo critérios firmados por Santos e Ross (2012), quanto pelo tipo de cobertura vegetal, baseando-se na metodologia de Ross (1994), ao estabelecer os graus de cobertura e proteção do solo.

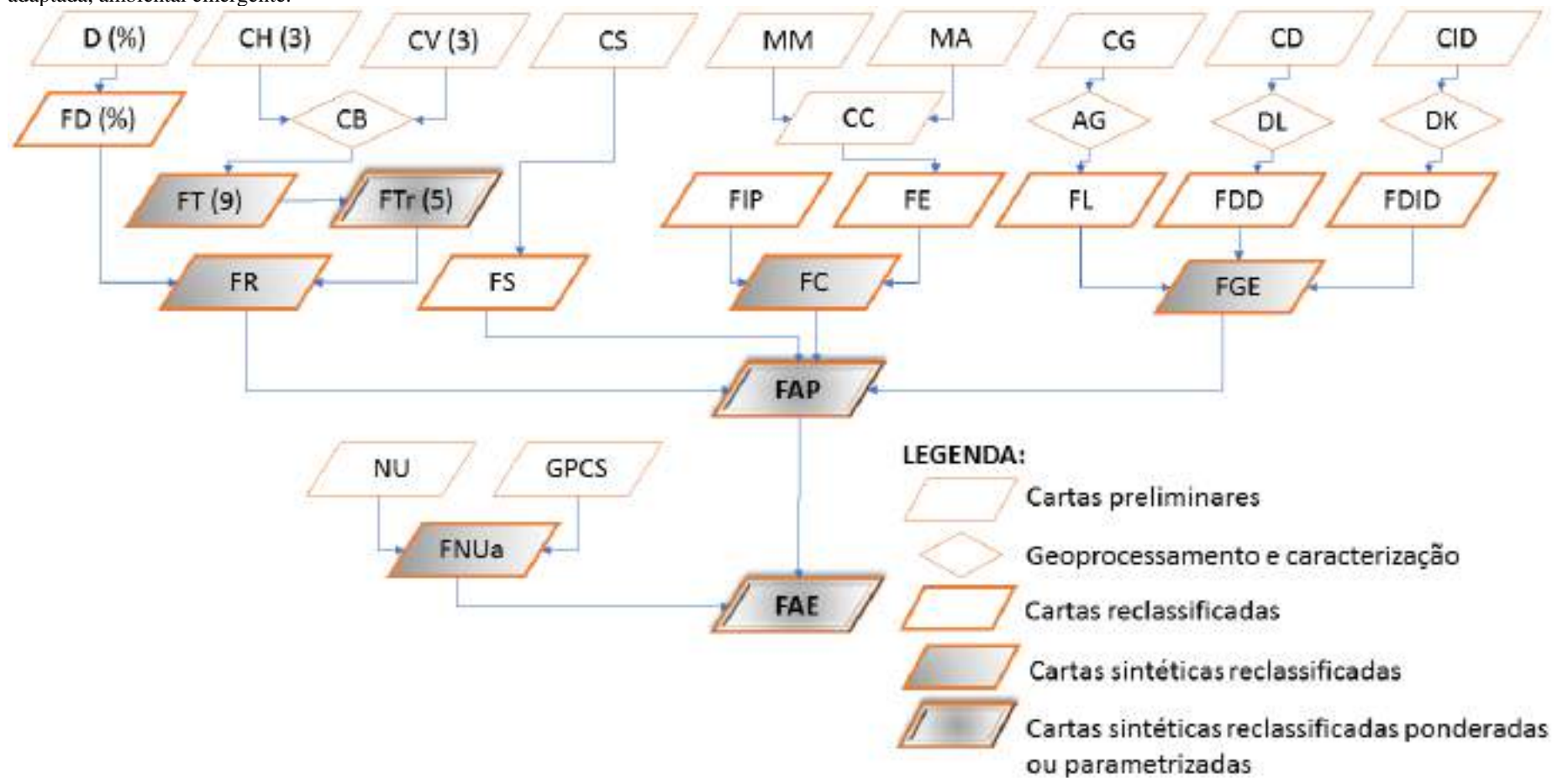
Sendo assim, elaborou-se adaptações de graus e classes de fragilidade ambiental integrando atributos destes dos temas de uso do solo, os quais se mostraram melhor ajustados a realidade encontrada no PUR. A Tabela 2.12 indica as relações existentes ente os graus e classes de níveis de urbanização, tipo de cobertura vegetal e a proposta adaptada ao PUR.

Tabela 2.12 - Correlação entre os níveis de urbanização e graus de proteção, adaptando-os as características do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.

GRAUS DE FRAGILIDADE	NÍVEL DE URBANIZAÇÃO Baseado em Santos e Ross (2012)	GRAU DE PROTEÇÃO	TIPO DE COBERTURA VEGETAL Baseado em Ross (1994)	GRAUS DE FRAGILIDADE INTEGRADA	NÍVEL DE URBANIZAÇÃO E TIPO DE COBERTURA VEGETAL DO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS Adaptado de ROSS (1994), SANTOS e ROSS (2012) COM SUPERVISIONAMENTO
1 - Muito baixa	Predomínio de condições naturais com um estrato vegetal bem desenvolvido e/ou em estágio de avançado de regeneração que favorece a infiltração, minimizando o escoamento pluvial. Setores de média urbanização situados em áreas mais elevadas que apresentam baixa declividade e contam com medidas estruturais e não estruturais para o controle de cheias, como caixas de sumidouro, canteiros permeáveis, obstáculos para redução na velocidade do escoamento, reservatórios para coleta e reuso de água de chuva	1 - Muito alta	Florestas/Matas Naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.	1 - Muito baixa	Formações arbustivas e arbóreas com estrato herbáceo denso próximo à setores de baixa à média urbanização contida em áreas de baixa declividade. Áreas de reflorestamento e/ou florestamento. Apresentando drenagem eficiente favorecida pelo estrato vegetal bem desenvolvido, predominando a infiltração e minimizando o escoamento superficial.
2 - Baixa	Área urbanizada com drenagem eficiente. Baixa declividade, presença de ações para controle de cheias, infiltração e redução do escoamento nas vias de circulação, nos lotes e nas construções	2 - Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata Homogênea e Pinus densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como cacau	2 - Baixa	Malha urbana não consolidada permeável a semipermeável. Ambientes com declividade muito baixa há muito alta. Presença de gramíneas e arbustos. Pastagens com pisoteio de gado. Culturas de ciclo curto, predominantemente soja ou milho na entressafra ao longo de curvas de nível/terraceamento.
3 - Média	Área urbanizada predominantemente impermeável com problemas de drenagem e constantes alagamentos e inundações. Ambientes com declividade praticamente nula precariamente incorporados à drenagem, susceptíveis a inundações sazonais, que podem ter construído antigas planícies de inundação de corpos hídricos e lacustres afetados ou não por atividades antropogênicas	3 - Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosques de nativas	3 - Média	Malha urbana efetivamente consolidada, com baixa a média eficiência de drenagem, com presença de asfaltamento e solo totalmente impermeabilizado, onde há recorrência de episódios de alagamentos por mais de uma vez ao ano. Baixa declividade, média presença de equipamentos para controle de cheias, infiltração e redução do escoamento nas vias de circulação, nos lotes e nas construções.
4 - Alta	Locais urbanizados e/ou semiurbanizados com precariedade nas construções e na infraestrutura para eventos pluviométricos de média/baixa intensidade. Áreas de inundação natural, como planícies lacustres, e setores mais abrigados das planícies fluviais e flúvio-marinhas.	4 - Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento	4 - Alta	Malha urbana consolidada, associada a solo exposto, onde há recorrência, por mais de uma vez ao ano, de fluxos concentrados de enxurradas na forma de lama e detritos, nos períodos de chuvas intensas, podendo em algumas ocasiões impedir e/ou dificultar o fluxo de veículos e pessoas.
5 - Muito Alta	Áreas críticas que deveriam ser destinadas à manutenção de sua funcionalidade sistêmica original. Ausência de infraestrutura e total precariedade dos constructos humanos, fruto do uso e ocupação desordenados do solo. Ambientes naturalmente favoráveis à inundação, tais como corpos hídricos e planícies de inundação. Setores com grande declividade susceptíveis a movimentos de massa.	5 - Muito Baixa	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/ gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas	5 - Muito Alta	Corpos d'água, áreas urbanizadas susceptíveis à inundações e/ou alagamentos sazonais, com declividade média a muito forte incorporados a drenagem. Situados em ambiente de planície fluvial com presença de bancos arenosos, pulverulentos ou colapsíveis nas suas margens da drenagem. Pastoreio/pisoteio de gado. Águas fluviais com elevada turbidez e recorrência de descartes de resíduos sólidos em seus tributários.

Fonte: Baseado em ROSS (1994) e SANTOS e ROSS (2012). Compilado e adaptado por GUIRRA, A. P. M. (2017) as características do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.

Figura 2.20 – Esquema metodológico elaborado neste estudo. Onde: D (%) = declividade, FD (%) fragilidade da declividade, CH (3) = Curvatura horizontal, CV (3) = Curvatura vertical, CS = Carta pedológica, MM = Precipitação média mensal, MA = Precipitação média anual, CG = Carta geológica, CD = Carta de discontinuidades geológica-estruturais, CID = Carta de interseção de discontinuidades geológica-estruturais, CB = Combinação, CC = Coeficiente de chuva, AG = Atributos geotécnicos, DL = Densidade linear, DK = Densidade de Kernel, F [D(%), T (9), Tr (5), R, S, IP, E, L, DD, DID, C, GE, AP, NUa, AE] = Fragilidades de declividade, das formas do terreno, das formas do terreno parametrizadas, do relevo, do solo, da intensidade pluviométrica, da erosividade, das unidades litoestratigráficas, de densidade de discontinuidades geológica-estruturais, de densidade de interseção de discontinuidades geológica-estruturais, climática, geológica estrutural, ambiental potencial, do nível de urbanização adaptada, ambiental emergente.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

3.1 DOS CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES SOBRE UNIDADES ECODINÂMICAS

Os níveis de fragilidade dos ambientes, a partir de suas características morfodinâmicas, processa-se segundo critérios empíricos de análise, entendidos a partir dos princípios epistemológicos regidos pela Ecodinâmica, originalmente postulados por Tricart (1977), onde este autor estabelece classificações em três níveis morfodinâmicos, sendo eles: meios estáveis, meios *intergrades* (intermediários ou de transição) e meios instáveis.

A classificação dos ambientes tendo a ecodinâmica como ponto de partida da avaliação, expressa comportamentos do terreno e suas susceptibilidades aos riscos de instalação ou evolução de processo erosivos no terreno, em função da intensidade dos fenômenos naturais, da frequência e da interação dos processos evolutivos atuais, esta última ponderada através dos níveis de urbanização e grau de cobertura e proteção do solo.

Em outras palavras, o conceito de Ecodinâmica fundamentado por Tricart (1977), é um modelo de avaliação empírico, sistêmico, originalmente qualitativo e cartografável, o qual compartimenta espacialmente Unidades Territoriais, baseando-se no equilíbrio dinâmico entre a pedogênese e a morfogênese, em fluxo contínuo nos ambientes, desde os ambientes pretéritos aos atuais, classificando-os quanto a graus de estabilidade/instabilidade ambiental. Esta fundamentação apoia-se na compreensão de que nos sistemas naturais ocorrem constantemente trocas de energia e matéria, desenvolvendo relações de equilíbrio dinâmico, propondo dessa maneira, a análise integrada na determinação das Unidades Ecodinâmicas. Sendo assim, Tricart (1977) pondera:

“A aplicação do conceito relativo ao balanço pedogênese/morfogênese é aparente, desde que se trate de uma ablação superficial do solo. Não obstante, o conceito aplica-se, também, aos movimentos de massa que afetam o solo em toda a sua espessura.”
(TRICART, 1977, p. 48)

O conceito e a concepção de Ecodinâmica integra-se ao conceito de ecossistemas, os quais tornaram-se fundamentais para estabelecer a fundamentação teórica do que hoje se apresenta como diagnósticos de zoneamentos ecológico-econômicos (ZEE's) no Brasil. Chama-se atenção, nesse contexto, pelo papel desempenhado, primeiramente, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos idos dos anos 1970, com a utilização dessa

metodologia para elaborar alguns dos primeiros documentos de gestão e planejamento regionais, os quais serviram de apoio logístico preliminar para atender a demanda do país em plena expansão das fronteiras agrícolas e de crescimento demográfico fortemente ascendente, combinadamente fomentada pelo êxodo rural naquele momento.

Os meios estáveis, ou ainda, Unidades Ecodinâmicas Estáveis, caracterizam-se pela lenta evolução, nas condições em que fenômenos de origem exógena e endógena atuam fracamente, combinado e para alguns casos individualmente. Nesse caso, há um favorecimento da pedogênese em relação a morfogênese, que segundo Tricart (1977) são identificadas em regiões de elevada influência biótica, com o predomínio de relevo suave e em domínios de fraca agressividade na atuação dos agentes mecânicos, onde há o predomínio da infiltração em detrimento do fluxo laminar superficial. Em condições de estabilidade há ainda, densa cobertura vegetal e práticas agrícolas favoráveis a conservação do solo. Nestas unidades territoriais o ambiente encontra-se em equilíbrio dinâmico e está poupado de ações humanas depredadoras, encontrando-se, portanto em estado natural, regenerado ou sutilmente modificado.

Segundo este autor, os meios morfodinamicamente estáveis encontram-se em regiões dotadas de uma série de condições, sendo as principais elencadas por ele:

- a) “Cobertura vegetal suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese.,”
- b) “Dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d’água, sem sapeamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução.,”
- c) “Ausência de manifestações vulcânicas suscetíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos.” (TRICART, 1977. p. 36)

Nos meios intergrades processa-se, quanto a dinâmica atual, ações que favorecem tanto a pedogênese quanto a morfogênese, promovendo um balanço sensível entre a estabilidade e a instabilidade e formando uma série contínua onde a ruptura é arbitrária, tal como ressalta Tricart (1977). Nesse meio, as interações entre processos morfogenéticos e pedogenéticos desempenham importante papel, podendo ser facilmente alterado por intervenções e práticas de uso da terra. Dessa forma, Tricart (1977) faz algumas considerações, distinguindo dois casos comuns que ocorrem em escala global, quando a morfogênese ultrapassa um pouco a pedogênese, sendo eles:

- a) “Morfogênese pelicular superficial (erosão pluvial, escoamento difuso, rastejo, por exemplo). O solo sofre ablação superficial, mas se amplia pela base. É um

dos casos mais demonstrativos da aplicação do conceito do balanço pedogênese/morfogênese.” (TRICART, 1977, p. 97)

- b) “ Morfogênese por movimentos de massa pouco profundos, generalizados ou localizados (duas variantes): solifluxão laminar ou em forma de intrumescência. O perfil pedológico é afetado.” (TRICART, 1977, p. 97)

Em meios instáveis, ou Unidades Ecodinâmicas Instáveis, ocorre forte predominância da morfogênese sobre a pedogênese, sendo que os principais fatores responsáveis por esta condição são de origem bioclimática e geomorfológica. No primeiro caso, Tricart (1977) atribui às variações fortes e irregulares, desfavoráveis a cobertura vegetal, aquelas capazes de transmitir grande quantidade de energia, tal como, eventos climáticos extremos. O segundo caso está associado às características morfométricas do relevo, sendo elas: a declividade e/ou índice de dissecação do relevo, onde esse último é expresso pela relação existente entre a densidade de drenagem ou dimensão interfluvial média e os graus de entalhamento dos vales, classificadas por critérios alfanuméricos.

Unidades Ecodinâmicas Instáveis estão sujeitas a erosão dos solos, onde as características intrínsecas de cada tipo de solo, relacionadas ao seu caráter morfológico e sua posição na paisagem irão ditar o seu comportamento, frente aos usos e formas de manejo do mesmo, possibilitando diagnosticar a propensão destes à deterioração física, conferindo-lhes baixa resiliência e tornando sua capacidade de recuperação pós perturbação algumas vezes irreversíveis (TRICART, 1977., CASTRO., HERNANI, 2015).

Nesse sentido, Tricart (1977) distingue fenômenos localizados recorrentes e/ou frequentes, como sendo aqueles que podem instabilizar tanto ambientes de denudação/ablação quanto de acumulação, onde no primeiro, o principal processo é o escoamento, com incisão de sulcos erosivos que tendem a evolução final para o processo de voçoracamento, em casos mais extremos, enquanto que para o segundo fenômeno tem-se a contribuição de material mineral bruto, comumente estéril, não permitindo o desenvolvimento e ou fixação de plantas, tal como ocorre nos eventos de assoreamento dos corpos hídricos ou em arenizações.

Entende-se que a capacidade do solo resistir aos processos de erosão ou deformação estão diretamente ligados a estabilidade estrutural e textural destes, tal como micro e macro porosidade, condutividade hidráulica quando saturado, densidade, resistência a penetração de raízes, estabilidade dos agregados, grau de empacotamento de suas partículas, entre outras, as quais conseqüentemente refletem em sua fragilidade mecânica, entendida como correlata ao potencial de erodibilidade em entressulcos (Albuquerque, Casol e Reinert, 2000). Nesse

contexto, Luciano et al. (2012) avalia que a fragilidade mecânica dos solos está relacionada à capacidade de suporte de cargas e à susceptibilidade à compactação.

O aspecto textural dos solos diz respeito a granulometria, ao grau de esfericidade e arredondamento dos grãos, da razão entre os tamanhos das partículas minerais, que de maneira geral, evoluem em ordem decrescente, graduem do tamanho cascalho, grânulo, passando de areia para silte, até chegar ao tamanho argila, em ordem logarítmica pela escala de Wentworth. Esse contraste textural promove também contraste de competência ao suporte de cargas, principalmente naqueles solos onde há variações abruptas na textura entre os horizontes pedogenéticos, ou até mesmo antropogênicos.

Para Albuquerque, Cassol e Reinert (2000), a correlação entre a estabilidade dos agregados e a erosão hídrica do solo pode ser atribuída principalmente a dois fatores.

- a) “Em solos mais estáveis, a energia necessária para iniciar a formação do selo superficial é maior que para solos menos estáveis, pois os agregados resistem mais ao impacto das gotas da chuva, a infiltração de água é maior e a descarga líquida é menor.” (ALBUQUERQUE, CASSOL e REINERT. 2000, p. 149).
- b) “Mesmo na presença de fluxo superficial, as partículas do solo, quando agrupadas em agregados, são mais pesadas e, quanto maior a massa dos agregados, maior é a resistência ao transporte pelo fluxo.” (ALBUQUERQUE, CASSOL e REINERT. 2000, p. 149).

Tendo em vista as características intrínsecas aos solos, principalmente quanto ao seu caráter mecânico, Pedron (2004) revela a necessidade de se estudar e identificar o comportamento dos solos em áreas urbanas, frente a forte pressão provocada pela expansão de instalações e equipamentos nestes ambientes. Este mesmo autor, reforça que com a grande concentração populacional e a crescente demanda por recursos naturais, principalmente os solos, têm incidido diretamente em danos ambientais, muitos destes de difícil reparo.

Estas problemáticas que configuram a perda da qualidade dos solos urbanos, aqueles que se encontram estritamente no meio urbano, demonstra para este autor, falta de conhecimento sobre as propriedades pedológicas, bem como, sobre a não avaliação preliminar da real aptidão e/ou limitações de uso dos solos urbanos. Este fato tem provocado apropriações indevidas, resultando em processos de compactação, erosão, deslizamentos e inundações, assim como poluição com substâncias orgânicas, inorgânicas e patógenos, aumentando os custos do desenvolvimento e afetando toda a sociedade (Pedron, 2004). Neste contexto, diagnósticos e prognósticos ambientais baseados nos princípios regidos pela distinção entre Unidades Ecodinâmicas Estáveis, *Intergrades* e Unidades Ecodinâmicas Instáveis, podem e devem servir

para diminuir os efeitos negativos provocados pelo processo de urbanização, e minimizar a dispersão de áreas de risco nestes territórios intensamente utilizados pela sociedade.

A avaliação das Unidades Ecodinâmicas Estáveis, *Intergrades* e Instáveis, condicionam a valoração de alguns atributos e características apresentados pelo ecossistema, num primeiro momento de forma isolada e, posteriormente, integrando os temas (geomorfologia, solos, clima, entre outros) possibilitando uma análise e percepção de conjunto. Assim consideram-se conceitos fundamentais relacionados à ecologia, tal como ecossistema, o qual segundo Odum (1985) apud Guapyassú e Hardt (1998) configura-se na interação e dinâmica de fatores bióticos e abióticos. Estas autoras chamam a atenção para o fato de que, dentre os fatores bióticos, não se deve esquecer do homem, suas interferências e o grau de modificação que estas imprimem aos ecossistemas, considerando a ecologia urbana como um dos ramos da ciência ecológica atual.

Evidencia-se que a avaliação das Unidades Ecodinâmicas ao levarem em consideração cada um dos fatores que condicionam o ambiente atual a processos atuantes no meio físico também permitem matematizar, através da ponderação, suas interações, evidenciando entre estes fatores, qual ou quais têm maior influência na instabilização destas unidades com maior efetividade e ou intensidade. Nesta conjuntura, deve ser pautado pelo tipo de atividade que se quer implantar, consistindo no ponto fundamental da filosofia de trabalho, o marco referencial da avaliação, a qual necessita ser a mais objetiva possível, eliminando o caráter de subjetividade, exceto quando este resultar no julgamento baseado na experiência do corpo técnico envolvido (Guapyassú e Hardt, 1998).

No que tange a ação da chuva na superfície terrestre, Tricart (1977) considera os efeitos do salpicamento da gota de água da chuva sobre os solos, entendendo que em ambientes com alta “rugosidade” vegetal o potencial de erosão da chuva diminui, favorecendo a infiltração em detrimento do escoamento superficial. Para mensurar esse elemento nos diagnósticos este autor sugere a mensuração da intensidade da precipitação, demonstrando que a função da cobertura vegetal na interceptação da energia cinética da chuva exerce dois casos extremos, em função da arquitetura arbórea ou arbustiva:

- a) “A cobertura vegetal consiste somente de árvores sem sub-bosque. Não há dispersão da energia cinética das goteiras. Por vezes, a transmissão de energia ao solo pode ser superior a que se observaria ao ar livre, como resultado da formação de goteiras por condensação direta sobre as árvores.” ... (TRICART, 1977. p. 25)

- b) “A cobertura vegetal apresenta um estrato herbáceo contínuo. A dispersão da energia cinética é quase total, sendo importante a infiltração.” (TRICART, 1977. p. 25)

Entretanto, Tricart (1977) não apresenta nenhuma técnica específica para mensuração da intensidade pluviométrica, cabendo aos pesquisadores trabalharem com adaptações da proposta original. Vale ressaltar que, as características da erosividade da chuva são de grande variabilidade e de difícil mensuração, sendo que muitos estudos foram realizados buscando um índice que pudesse associá-los e representar a capacidade de desagregação e transporte do solo, ou seja, de causar erosão, tal como afirmam Salton, Comunello e Fietz (2013).

A instabilidade dos ambientes, portanto é condicionada, entre outros fatores, pelo porte e densidade de massa vegetal, que em casos de alta fragilidade/vulnerabilidade configuram solos expostos ou ambientes estéreis que impõe severas limitações ao crescimento da vegetação, seja por impermeabilização, compactação ou friabilidade do solo, onde este último fenômeno favorece a susceptibilidade do terreno às ações pluviométricas e eólicas que condicionam o carreamento de grãos e partículas inconsolidadas, por arraste, rolagem, saltação ou suspensão.

Nesse contexto, surgiu no Brasil contribuições para o desenvolvimento de metodologias de diagnósticos ambientais que contemplassem de maneira integrada elementos do meio físico, sendo que duas propostas tiveram maior aceitação e ampla aplicabilidade no ambiente técnico-científico e acadêmico e nos estudos de impacto ambiental: a fragilidade ambiental desenvolvida por Ross (1994) e a vulnerabilidade a perda dos solos engendrada por Crepani et al. (2001). Sendo assim no próximo tópico discorre-se sobre como ocorreu a evolução metodológica de fragilidade ambiental no Brasil, como uma das vertentes analíticas fundamentadas nos conceitos de Unidades Ecodinâmicas.

3.2 DA EVOLUÇÃO METODOLÓGICA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NO BRASIL

A problemática da interdisciplinaridade e a questão do meio ambiente sobre a ótica das pesquisas de fragilidade ambiental desenvolvidas no Brasil, caracterizaram alguns esforços das ciências particulares na atuação conjunta com outros saberes a fim de estabelecerem um estudo multi e interdisciplinar capaz de compreender e interpretar o presente de forma holística com o auxílio de novas técnicas científicas.

A preocupação em entender os fenômenos naturais e a interação destes com a sociedade no ambiente sempre foi objeto da Geografia, contudo novas demandas surgiram com a crise ambiental mundial, que se acentuou no final dos anos 1970. Moraes (1997) e Santos (2006) alertam sobre os problemas epistemológicos do meio ambiente, o qual vem sendo analisado com enfoques reducionistas ou com visões puramente ideológicas, econômicas ou utópicas, exigindo dos pesquisadores a contextualização da crise ambiental, caso queiram propor soluções e diagnósticos mais viáveis a curto, médio e longo prazos.

Com a urgente demanda por novos mecanismos de ação governamental para resoluções destes problemas, o planejamento físico-territorial surge não só com uma perspectiva econômico-social, mas também ambiental. Neste contexto, os estudos analíticos relativos à fragilidade dos ambientes, expressos através de cartogramas e textos se tornaram instrumentos de relevante importância para o gestor na tomada de decisões, tornando possível a execução de projetos alinhados com o modelo de desenvolvimento sustentável, contribuindo de forma mais acertada nas decisões da exploração dos recursos naturais (ROSS, 1994., TRETIN e ROBAINA, 2005., DONHA, SOUZA e SUGAMOSTO, 2006., SPORL, CASTRO e LUCHIARI et al., 2011., PONSO, IZIPPATO e BACANI, 2013., SILVA et al., 2013).

Um dos idealizadores desses cartogramas analíticos e multitemáticos apropriados para avaliação integrada de classes e categorias de fatores como relevo, solo, clima, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal, entre outros foi Ross (1994), promovendo uma nova perspectiva sobre o que até então era feito sobre análises ambientais no Brasil, agora realizada com enfoque quali-quantitativo de diversos atributos físicos da paisagem, conforme descrito a seguir:

“Os estudos integrados de determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem a intervenção das ações humanas [...] não podendo ser formulado a partir de uma leitura estática do ambiente, mas inserida no entendimento do processo de ocupação que norteia o desenvolvimento e apropriação do território e de seus recursos.” (ROSS, 1994, p. 64).

Nesse contexto, o diagnóstico de fragilidade ambiental surge como aparato técnico-científico eficaz na promoção de ferramentas de planejamento e gestão, podendo inclusive ser empregado para subsidiar o zoneamento geoambiental e socioeconômico de diversos tipos, tais como nas bacias hidrográficas, na instalação de usinas hidrelétricas, na construção de barragens, na abertura de obras lineares, na expansão de áreas urbanas ou agrárias. Esta constitui-se numa ferramenta importante e vantajosa na identificação de áreas prioritárias à recuperação ambiental, não substituindo, entretanto, as análises de campo para validação de seu modelo.

A metodologia de Fragilidade Ambiental (FA) originalmente elaborada por Ross (1994), integra o resultado da combinação dos mapas sínteses de fragilidade potencial (FP) e de fragilidade emergente (FE). O estudo de Fragilidade Potencial é resultado da análise espacial dos mapas temáticos de geomorfologia (considerando o índice de dissecação do relevo ou declividade), solos e clima, enquanto que o mapa de fragilidade emergente é produto da sobreposição dos mapas – Fragilidade Potencial e uso e ocupação do solo.

A hierarquização das fragilidades resultantes é expressa em códigos alfanuméricos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5), que de acordo com Franco, Hernandez e Lima (2013) representam espacialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais. Com o emprego de geotecnologias e da ferramenta algébrica de mapas disponíveis no ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), Ross (1994) consegue resolver um problema posto por Tricart (1977) quando afirmou:

“Do ponto de vista quantitativo, apoiamo-nos no balanço pedogênese/morfogênese. Desde que a instabilidade é fraca, a pedogênese ganha vantagem com toda uma série de termos de transição para os meios estáveis. Como em mecânica do solo, a distinção entre meios estáveis e meios *intergrades* só poderia ser convencional, porém isto exigiria critérios numéricos que ainda estão por definir. Ainda não se pode saber se isto será possível. Aqui, também, a transição é contínua e os problemas aparecem.” (TRICART, 1977, p. 48)

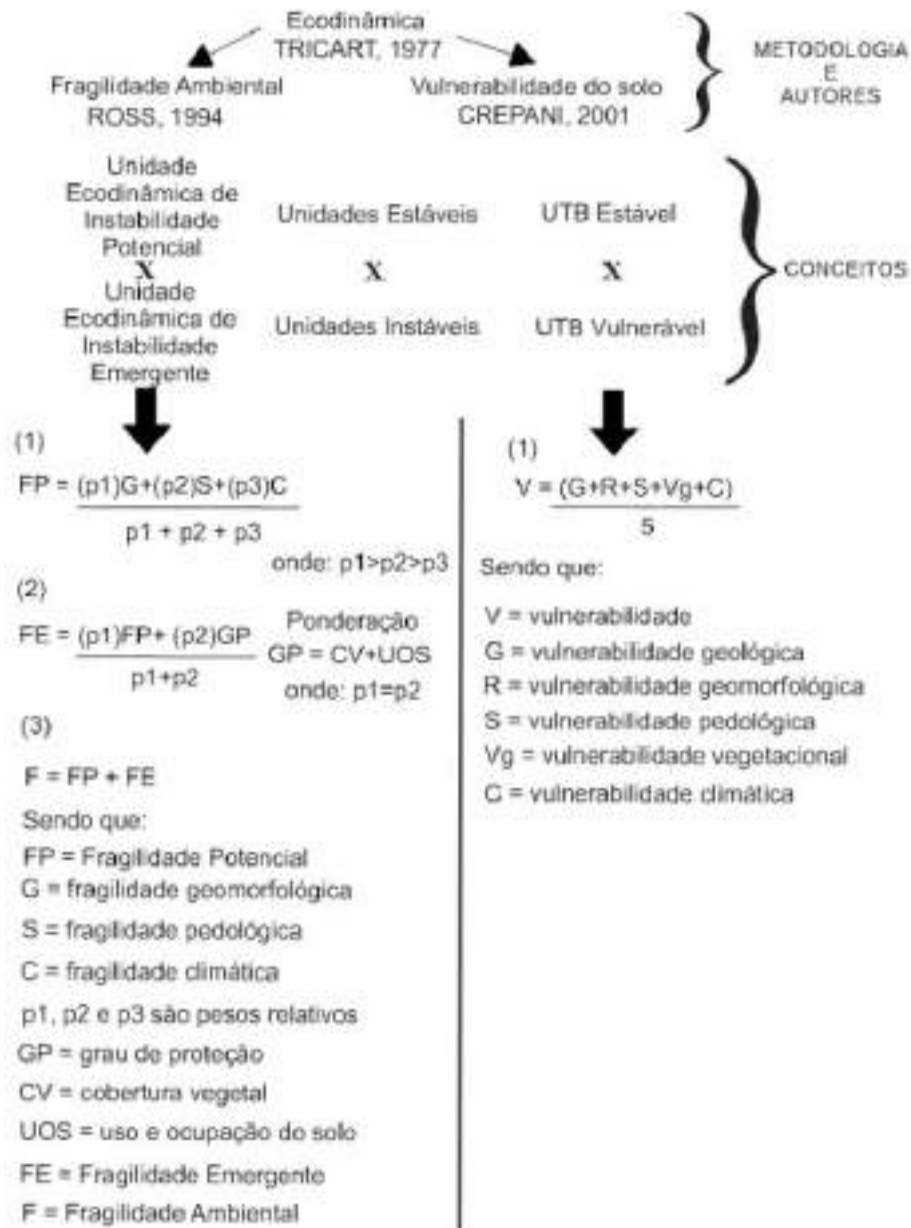
Alinhado aos mesmos conceitos, Crepani et al. (2001) propôs a integração de temas passíveis de serem analisados (não supervisionados, semi-supervisionados e supervisionados) utilizando-se imagens de satélite que possam ser interpretadas, sobrepostas e calculadas através de ferramentas de geoprocessamento, possibilitando a divisão espacial em unidades territoriais básicas (UTB), as quais englobam unidades da paisagem natural e polígonos de intervenção antrópica. Estas unidades são células elementares de informações e análises para um zoneamento ecológico-econômico, funcionando como uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-las de suas vizinhanças, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais, tal como descreve este autor.

A principal diferença existente entre estas metodologias, diz respeito a quantidade de categorias quali-quantitativas contidas nas classes de geomorfologia, solo, geologia, clima, uso e ocupação/vegetação entre outras que determinam a compartimentação das unidades de fragilidade/vulnerabilidade.

Em Crepani et al. (2001) essa análise pautou-se em 21 unidades territoriais básicas (UTB's) derivadas do gradiente de saturação entre as cores vermelha, verde e azul detectadas em cada *pixel* da imagem de satélite previamente tratada, indicando 5 graus de vulnerabilidade com suas respectivas subdivisões que variam de estável a vulnerável. Enquanto Ross (1994) estabeleceu primordialmente 5 categorias para cada classe avaliada, podendo oscilar entre muito fraca e muito forte. Esta correlação pode ser verificada em Fagundes e Queiroz Filho (2014).

Nesse contexto, a Figura 3.1 demonstra um esquema que distingue as diferentes formas de tratamento entre as classes avaliadas em cada uma das metodologias elencadas pelos autores anteriormente citados, onde verifica-se que a geomorfologia possui peso de maior relevância em relação aos outros temas na proposta de Ross (1994), diferentemente da proposta de Crepani et al. (2001), o qual considera todos os componentes de mesma importância/relevância para o diagnóstico das vulnerabilidades das unidades territoriais básicas.

Figura 3.1 – Relação entre as principais metodologias de análise ambiental aplicada à processos erosivos, desenvolvidas no Brasil, derivadas dos conceitos de Ecodinâmica.



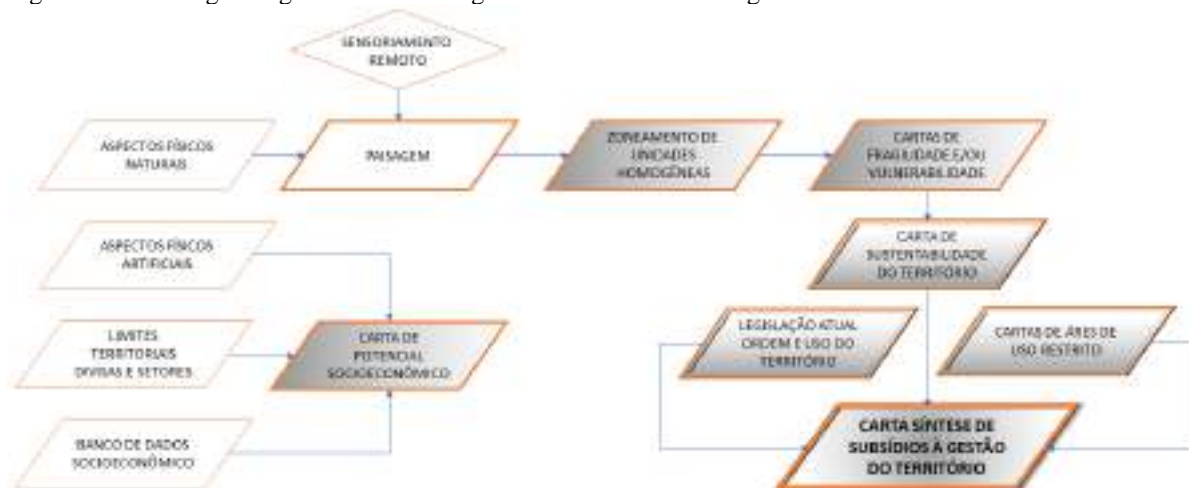
Fonte: GUIRRA, SANTOS e NOGUEIRA (2016)

Ambos diagnósticos vislumbram o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas como alternativas tecnológicas que possibilitam a aplicação de novos modelos e, conseqüentemente, a geração de novos produtos que subsidiaram o ordenamento territorial.

Comparando as metodologias anteriormente expostas, percebe-se vantagens e desvantagens em ambas a depender da área a ser aplicada, cabendo ao pesquisador adequá-las à realidade encontrada de cada ambiente e sobretudo à quantidade de dados disponíveis, atribuindo pesos relativos para cada uma das categorias, classes e graus de estabilidade/instabilidade identificadas nos zoneamentos e mapeamentos. Estas ferramentas

fazem parte de um diagnóstico ambiental mais amplo, no que tange a política de zoneamento ecológico-econômico dos territórios, tal como pode ser visto na Figura 3.2, a qual representa o fluxograma para se alcançar esse estágio avançado de reconhecimento das potencialidades e limitações das políticas de gestão e planejamento territoriais.

Figura 3.2 – Fluxograma geral da metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico.



Fonte: Baseado em BECKER e EGLER (1996) e CREPANI et al. (1996), adaptado de MEDEIROS (1999) apud CREPANI et al. (2001) editado por GUIRRA, SANTOS e NOGUEIRA (2016) e GUIRRA (2017)

Com o avanço das tecnologias SIG e a familiarização de suas ferramentas e funcionalidades pelos pesquisadores brasileiros nos últimos anos, a manipulação integrada de um grande número de variáveis se torna possível e simplificada com o uso deste sistema, acessibilizando a geração de informações intermediárias e finais, ou a inclusão de outras variáveis não contempladas anteriormente, mas que contribui para aprimoramento do modelo proposto, tal como destacado por Donha, Souza e Sugamoto (2006).

Nesse contexto, pesquisadores como Donha, Souza e Sugamoto (2006)., Ponso, Izippato e Bacani (2013)., Santos (2015)., Santos e Ross (2012)., Silva et al. (2013)., Sporn, Castro e Luchiari et al. (2011)., Tretin e Robaina (2005), aprimoraram-se destas metodologias, combinando técnicas de geoprocessamento, trabalhos de campo, elaboração de cartas temáticas e análises de imagens de satélites, tornando-as mais fidedelias a interpretação real dos fenômenos e objetos no ambiente.

Alimentando a base de dados georreferenciada no *software* Idrisi 32, Donha, Souza e Sugamoto (2006), propõem uma metodologia que levasse em consideração classes de declividade, tipos de solos, distância a partir das nascentes, distância a partir da represa e uso atual, pautada na geração de mapas preliminares de uso potencial que atendessem a decisões

sobre localização quando envolvem múltiplos objetivos. Para viabilizá-la, através de integração dos mapas, fizeram uma padronização das variáveis de maneira que ficasse com a mesma escala de valores, e para tal objetivo, utilizaram-se da Lógica *Fuzzy*, que possibilita a criação de curva representativa da variação dos valores de cada fator em função da influência na fragilidade da área. Neste trabalho, os autores comprovam que o operador *Fuzzy* é mais apropriado e preciso do que a técnica convencional de cruzamento booleano, que classifica de forma rígida as classes como favorável ou não favorável, distanciando-se da forma como a natureza se comporta.

Nesse contexto, os autores acima citados, demonstram a possibilidade de se trabalhar com operadores lógicos matemáticos em problemas de ordem ambiental, capazes de simular melhor o ambiente natural e a forma que suas variáveis dinâmicas operam.

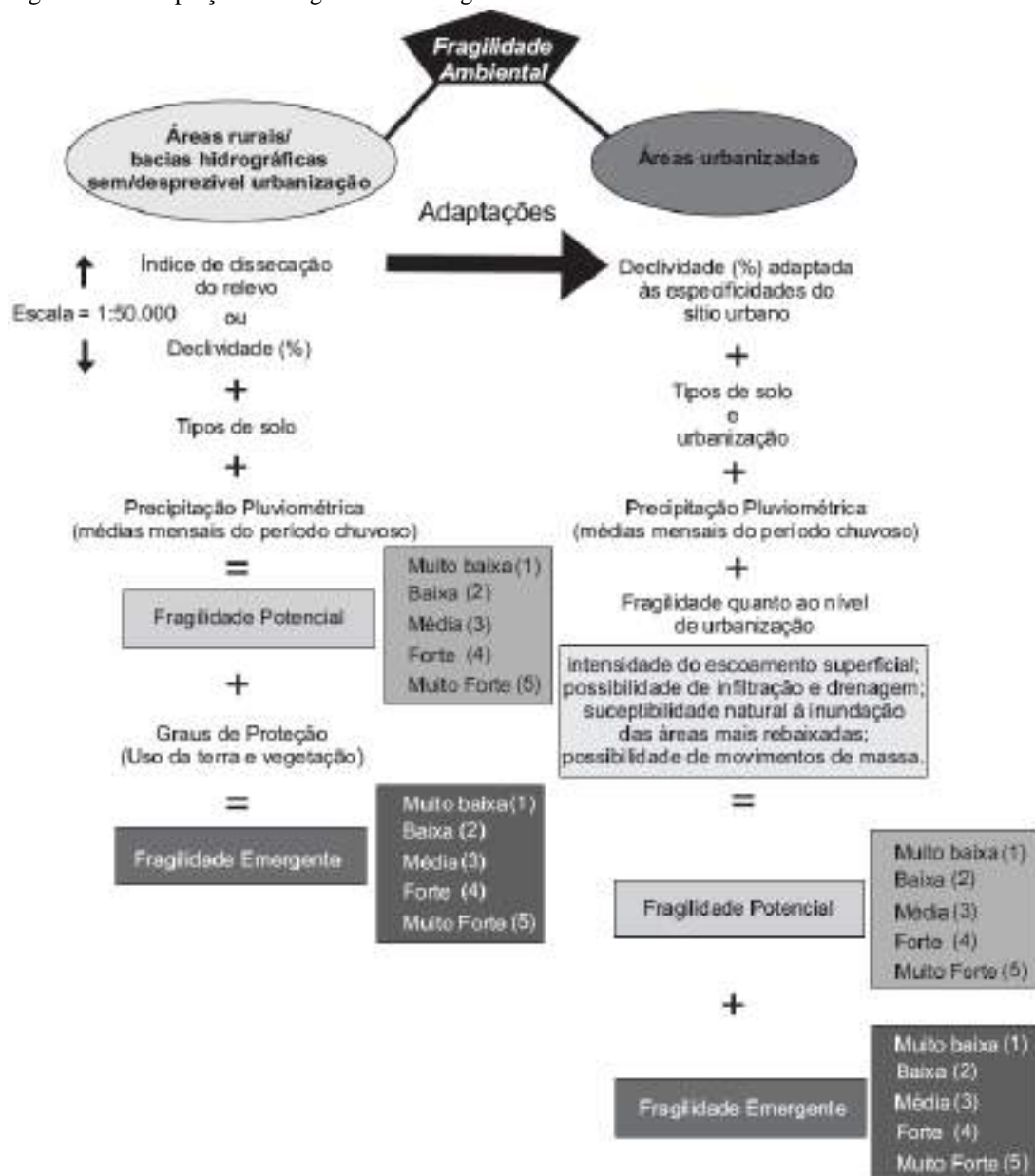
Alguns outros pesquisadores buscaram correlacionar os resultados da aplicação destes modelos de fragilidade ambiental e da investigação de campo demonstrando que nem sempre os resultados são convergentes. Pode-se citar, nesse sentido, o trabalho aperfeiçoado por Sporn, Castro e Luchiari (2011), no qual utilizaram de Redes Neurais Artificiais (RNAs) e algoritmos computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes, tentando emular em máquinas o funcionamento do cérebro humano, ainda que de maneira simplificada. Conforme afirmam os autores:

O sucesso das RNAs para modelar sistemas dinâmicos em vários campos da ciência e da engenharia sugere que elas também possam ser aplicadas nos modelos de fragilidade ambiental. A utilização das RNAs na análise ambiental disponibiliza essa nova ferramenta para decisões complexas, que envolvem muitos critérios, sendo que a seleção dos critérios, assim como a definição de seus pesos, são avaliações arbitrárias e subjetivas, dificultando o processo de análise. (SPORN., CASTRO., LUCHIARI, 2011, p.116).

O resultado desta modelagem complexa dos sistemas ambientais, utilizando as RNAs mostrou-se eficiente e com razoável confiabilidade, tendo a capacidade em lidar com grande número de informações, além de levar em consideração qualquer número de fatores, por mais insignificantes que sejam os efeitos de cada um deles. Os autores entendem como desvantagem metodológica o fato da ferramenta não ser familiar a grande parte dos geógrafos, mas ressalta que a exploração de novas técnicas é primordial para a evolução deste campo do conhecimento na Geografia. Diversos outros autores preferiram adicionar outras variáveis ou ponderar pesos diferentes as já tradicionalmente utilizadas, atribuindo maior ou menor relevância para as classes de cada tema que compõe a análise das fragilidades ambientais. Alguns se basearam em conhecimentos práticos de campo, outros se ampararam em leis e diretrizes ambientais que regulamentavam determinada área de estudo.

Motivados a diagnosticar as fragilidades ambientais em áreas já efetivamente urbanizadas, Santos e Ross (2012) promovem uma adaptação metodológica em relação as categorias hierarquizadas de declividade e das fragilidades do solo anteriormente diagnosticados em áreas primordialmente rurais, considerando neste novo modelo os efeitos da urbanização, assim como, sobrepuseram mais uma classe denominada: Graus de fragilidade em relação ao nível de urbanização (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Adaptação do diagnóstico de fragilidade ambiental de acordo com a escala e o ambiente.



Fonte: Baseado em ROSS (1994), SANTOS e ROSS (2012) e organizado por GUIRRA, SANTOS e NOGUEIRA (2016)

As modificações das categorias de declividade obtidas em porcentagem justificam-se quando se há um reconhecimento ou entendimento prévio das especificidades do sítio urbano em investigação, permitindo distinguir as influências dos tipos de vertentes existentes nos compartimentos de relevo, tal como foi reestabelecido por estes autores em conformidade com as características verificadas no sítio urbano de Fortaleza-CE. Contudo, ressalta-se a importância de se preservar, quando possível, os intervalos de classes já consagrados nos estudos de aptidão agrícola associados aos valores críticos da geotecnia, indicativos dos riscos de ocorrência de escorregamentos/deslizamentos e inundações frequentes, conforme relembra Ross (1994).

Para as classes de fragilidade dos solos, Santos e Ross (2012) entenderam a necessidade de qualificar os diferentes tipos de solos tendo em vista a influência de diversos estágios de urbanização, levando-se em consideração que muitos destes foram alterados por aterros e compactação e/ou encontram-se sobrepostos por impermeabilização asfáltica, alterando diretamente o seu comportamento geotécnico perante as intempéries climáticas ou das construções civis. Na implementação da classe de fragilidade quanto à urbanização, os autores entenderam que os principais condicionantes que hierarquizam essa variável são a intensidade do escoamento superficial, a possibilidade de infiltração e drenagem, susceptibilidade natural à inundação das áreas rebaixadas ou possibilidade de movimentos de massa.

Dessa forma, Santos e Ross (2012) complementam as informações adquiridas por Ross (1994), Araújo *et al.* (2005) e Santos (2006) no entendimento de que se pode determinar novas tipologias derivadas da combinação do uso e ocupação do território associando-os às condições de infraestrutura com os aspectos do meio natural. Estes autores constatam que, com as adaptações ocorridas as análises das fragilidades ambientais constituíram importantes instrumentos de avaliação do meio físico-natural, considerando, inclusive, as transformações socioambientais. Entre outros fatores, o incremento dos níveis de urbanização pode ainda fornecer subsídios técnicos para a concretização de um planejamento mais incluyente e capaz de minimizar as desigualdades socioespaciais.

Outra tentativa de aprimoramento da metodologia se destaca no trabalho executado por Ponso, Izipatto e Bacani (2013), os quais recomendam complementar o modelo pré-estabelecido por Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001) com informações acerca das áreas prioritárias, ou seja, áreas de conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios à biodiversidade. Estes autores definiram para este novo tema adicionado, quatro classes: áreas não prioritárias, muito alta prioridade, extremamente alta prioridade e alta prioridade, aplicando

este modelo em uma bacia hidrográfica de terceira ordem. Baseando-se também em leis que resguardam legalmente as áreas preservadas permanentemente (APP's), impressa no Código Florestal Lei N° 12.651 de maio de 2012: Art 4, estes autores também geraram o mapa de áreas de fragilidade ambiental potencial, visando auxiliar no planejamento territorial estratégico. Esta mensuração tornou-se viável com recursos disponibilizados pelos SIG's, comumente denominados por *buffers*, os quais delimitam áreas em torno de locais que necessitam de determinado tipo de proteção ou conservação especial em relação ao seu entorno e estão amparados pela legislação ambiental vigente.

Avaliando uma área de preservação permanente das nascentes do Rio Apa no Estado de Mato Grosso do Sul, Silva et al. (2013) sugere a incorporação de um novo indicador de fragilidade, a “importância biológica”, gerando a combinação dos produtos cartográficos temáticos com os mapas de fragilidade potencial e uso da terra e cobertura vegetal. Para realizar esse procedimento o autor necessitou trabalhar com modelo de grade regular retangular, com a finalidade de extrair um Modelo Tridimensional do Relevo, dando origem aos dados de declividade com os intervalos estabelecidos por Ross (1994).

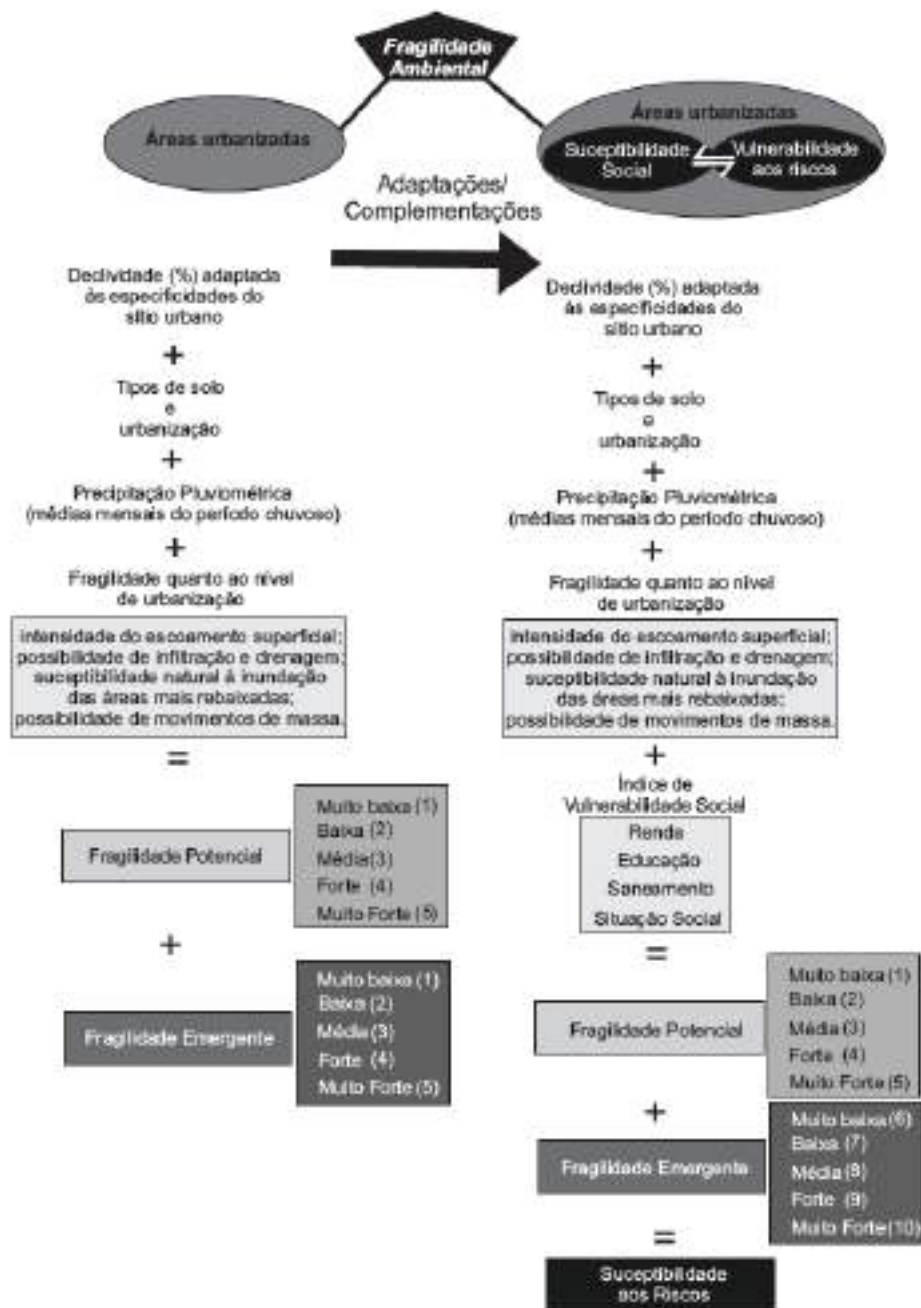
As áreas de importância biológica foram categorizadas em graus e pesos equivalentes, de tal forma que áreas insuficientemente conhecidas tem peso zero, as de alta importância ganham peso quatro e as áreas consideradas de importância extremamente alta adquirem peso 5 (cinco). O estabelecimento desse tema com suas respectivas classes e categorias, segundo este autor tornou-se de suma importância na análise ambiental de áreas de preservação permanente, tendo em vista que a hierarquização da fragilidade se conforma melhor à realidade local.

Diante da intensificação das transformações promovidas pelas atividades humanas e o agravamento das disparidades sociais e das crises ambientais, Santos (2015) reavaliou os condicionantes que fragilizam o ambiente urbano, aqueles previamente estabelecidos por Santos e Ross (2012), desenvolvendo uma correlação entre a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social. Este novo *input* constituiu uma relação de interdependência entre estas variáveis e foi denominada por este autor como susceptibilidade aos riscos, justificando haver necessidade de verificar e compreender a real situação das disparidades socioespaciais diante da ação dos fenômenos naturais e suas capacidades de resistência e resiliência.

Nesse aspecto, o índice de vulnerabilidade social (IVS) aprimorou a capacidade de identificar territórios que abrigam segmentos populacionais com condições socioeconômicas desfavoráveis. Segundo o mesmo autor, o IVS é um indicador que admite a sintetização de diferentes variáveis que configuram as condições de vida dos grupamentos populacionais, os

quais encontram-se em áreas geograficamente bem definidas, possibilitando inclusive revelar sua predisposição aos riscos, conforme demonstra a Figura 3.4.

Figura 3.4 – Adaptação do diagnóstico de fragilidade ambiental de acordo com o ambiente.



Fonte: Baseado em ROSS (1994), SANTOS e ROSS (2012) e organizado por GUIRRA, SANTOS e NOGUEIRA (2016).

Fazendo um apanhado geral das principais contribuições dos autores elencados anteriormente, pode-se ver na Tabela 3.1 algumas adaptações metodológicas realizadas ao

longo dos últimos anos, além de outros autores que veem contribuindo para os modelos de fragilidade ambiental no Brasil.

Tabela 3.1 – Relação de algumas das principais mudanças metodológicas de análise ambiental desenvolvida no Brasil.

AUTORES E ANO	VARIÁVEIS GEOAMBIENTAIS	SOFTWARES	MATERIAIS E GEOPROCESSAMENTO
Tricart (1977)	Cobertura vegetal, intensidade pluviométrica, geomorfologia, uso e cobertura do solo	Não observado	Não observado
Ross (1994)	Índice de dissecação do relevo ou D (%), solos, situação das regiões pluviométricas, uso da terra e cobertura do solo, FP e FE	Spring, Terra View	(1) RADAMBASIL, classificação de imagens Landsat
Crepani et al. (2001)	Geologia, geomorfologia, solos, vegetação, intensidade pluviométrica	Spring	(1) SRTM, Unidades Territoriais Básicas, classificação de imagens Landsat
Donha, Souza e Sagamoto (2006)	D%, solos, uso atual do solo, distância da represa, distância dos rios, distância das nascentes	Idrisi 32	(1) (2) Classificação de Imagens Landsat, interpolação
Sporl, Castro, Luchiari (2011)	Redes neurais artificiais comparando FA com VNPS	ArcGis, Spring, Terra View	(1) Algoritmos computacionais emuladores, interpolação, classificação de imagens Landsat
Santos e Ross (2012)	FA, com adaptação das classes D%, ponderação dos tipos de solos quanto ao nível de urbanização e níveis de urbanização	ArcGis, Spring, Terra View	(1) SRTM, classificação de imagens, Landsat, interpolação
Ponso, Izippato e Bacani (2013)	D%, solos, intensidade pluviométrica, áreas prioritárias à conservação ambiental	ArcGis 10	(1) SRTM, classificação de imagens, Landsat, interpolação
Silva et al. (2013)	D%, solos, intensidade pluviométrica, áreas de importância biológica, FP, uso e cobertura do solo, FA	ArcGis 10	(1) Classificação de imagem Landsat-5 (sensor TM), Modelo de Grade Regular e Modelo Tridimensional do Relevo
Fagundes e Queiroz Filho (2014)	Efeitos da variação da escala e comparação entre os diagnósticos de FA e VNPS	ArcGis 10	(1) SRTM, delimitação de bacias hidrográficas, classificação de imagens, Landsat, interpolação
Santos (2015)	FA = (FP+FE), com classificação numérica contínua (de 1 a 10), geomorfologia, solo, geologia, uso da terra e cobertura do solo, uso e índice composto de vulnerabilidade social	ArcGis, Spring, Terra View, entre outros	(1) SRTM, classificação de imagens, Landsat, interpolação
Ferreira, Ferreira e Gouveia (2016)	Solo, fragilidade do relevo, uso da terra e cobertura do solo, FR (D% e CV), FA	ArcGis 10.2 e ArcHydro	(1) SRTM, hierarquização da rede hidrográfica e delimitação de bacias hidrográficas, surface curvature, surface slope
Messias e Ferreira (2017)	Ocorrência de ravinas, vegetação, declividade, densidade de vias de circulação, densidade de lineamentos estruturais, delimitação de sub-bacias hidrográficas, FA	Google Earth Pro, ArcGis 10.1, Libre Office 3.6	(2) MDE ASTER GDEM 1, Landsat, hierarquização e delimitação hidrográfica, teste Kolmogorov-Smirnov, NDVI, Densidade de Kernel, Hydrology tools

*Guirra (2017)	FR (D% e CH combinada com CV = FT), solos, FC (intensidade pluviométrica + erosividade), FGE (unidades litoestratigráficas + densidade de descontinuidades geológica-estruturais + densidade de interseção de descontinuidades geológica-estruturais), FP e FE	ArcGis 10.1, Qgis 2.14.10, Terra View, Microsoft Excel	(1) MDE ALOS PALSAR modo FBD, classificação de imagem CBERS-4, surface curvature, surface slope, Densidade de Kernel, Densidade Linear, Interpolação
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*ESTE ESTUDO., (1) Lógica Booleana., (2) Lógica Fuzzy, D (%) declividade em porcentagem, FT = Fragilidade do Terreno, FR = Fragilidade do Relevo, FC = Fragilidade Climática, FGE = Fragilidade Geológica Estrutural, FP = Fragilidade Potencial, FE = Fragilidade Emergente, VNPS = Vulnerabilidade Natural a Perda de Solos, CH = Curvatura Horizontal, CV = Curvatura Vertical. Observação: Todos procedimentos utilizam-se de álgebra de mapas ou de sobreposição ponderada, vetorização e rasterização.

Fonte: GUIRRA, SANTOS e NOGUEIRA (2016); GUIRRA (2017).

3.2.1 Da construção da transdisciplinaridade em análises ambientais

Santos (2006) afirma que a natureza artificializada marca uma grande mudança na história humana e que teríamos alcançado o estágio supremo dessa evolução com a tecnociência. Este autor preconiza a elaboração de uma cultura técnica, que inclua todos os aspectos da vida, que permita desvendar aquilo que está por trás da “exploração selvagem da natureza”. Dessa maneira, considera-se aqui o avanço das técnicas de análise de fragilidade como um dos exemplos do uso virtuoso e benéfico dos avanços tecnológicos deste estágio, capaz de subsidiar leis e diretrizes de apropriação do espaço, ou, ao menos, diagnosticar suas potencialidades e restrições de uso.

No Brasil houve inúmeros avanços nos aspectos técnico-científicos e informacionais relatando os problemas ambientais, bem como se avançou nos aspectos legais e institucionais, este último promovendo a descentralização, o debate político, e a noção de desenvolvimento sustentável. No aspecto técnico, percebe-se, dentro das análises de fragilidade ambiental, a evolução e a ampliação dos dispositivos e ferramentas tecnológicas que promoveram melhorias no acesso à informação e na elaboração de mapas cada vez mais condizentes e fiéis à realidade relacionada aos atributos do meio físico de cada recorte do espaço geográfico. Contudo, Moraes (1997), confrontando o método empregado em pesquisas desse cunho, ressalta a necessidade de se atingir uma “linguagem” comum, mesmo havendo grande diversidade entre os métodos nas ciências contemporâneas. Haja vista a existência de inúmeros termos iguais com conceitos diferentes, além do que, em alguns contextos discursivos algo que é tratado como objeto se apresenta como método ou ainda como questão política, tal como ocorre com o termo ecologia.

O autor ainda reforça a existência de uma demanda do enriquecimento das pesquisas ambientais, mesmo que no âmbito acadêmico, com a crítica e a proposta de políticas públicas, capaz de intermediar diálogos e oferecer intervenções menos imediatistas neste setor. Para tal, sugere que haja, preliminarmente, um embasamento teórico e metodológico dos conceitos e dos resultados dos trabalhos buscando-se, na epistemologia, o entendimento e o questionamento dos próprios métodos, sendo este o caminho apontado por ele como o fundamento para se chegar a qualquer possibilidade de comunicação interdisciplinar.

Evidencia-se no Brasil a tendência de aprimoramento das metodologias, ou adaptações, levando-se em conta cada vez mais fatores relevantes para os diagnósticos de áreas potencialmente frágeis, bem como a preocupação destes estudos em estarem equiparados pelos aspectos jurídicos no âmbito da política ambiental. Provavelmente esta seja uma das alternativas de comunhão ou ponto de convergência entre pesquisadores de diversas áreas do conhecimento. Porém, a maneira com a qual o Estado, a sociedade e o mercado se relacionam no processo de gestão ambiental atualmente não permite a efetivação de inúmeros trabalhos que propõem a minimização de determinados danos ao meio ambiente, havendo sempre um descompasso entre a demanda e a oferta de políticas ecológicas de preservação, restauração e manejo.

Adicionalmente, muitos obstáculos ainda ameaçam a evolução das propostas de uma agenda ambiental democrática e participativa, entre elas as atitudes reducionistas, mercantis e elitistas promovidas pelo estado, pelo capital financeiro e especulativo, em consonância com a apreciação efetuada por Lima (2011), ou ainda dos danos advindos da sabotagem ecológica e da desobediência civil discriminada por Rodrigues (2006), ao discutir os principais conceitos filosóficos utilizados no cenário das políticas ambientalistas contemporâneas.

3.3 GEOMORFOLOGIA E GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO URBANO AMBIENTAL: CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ESCALAS DE ABORDAGEM

3.3.1 Considerações sobre a Geomorfologia Aplicada

As formas atuais em que o relevo se apresenta é resultado de um longo processo evolutivo em escala geológica do tempo, condicionada pelas ações endo e exogenéticas, as quais exercem um constante movimento que ora favorece processos morfogenéticos em

detrimento à pedogênese, dependendo dos processos atuantes no ambiente físico, o qual é capaz de inverter essa dinâmica, sem ou com a intervenção da sociedade.

O conhecimento do relevo em suas várias escalas e/ou hierarquias enquanto fundamentadora no entendimento da espacialidade e temporalidade atuais, permitem responder aos desafios impostos pelo complexo arranjo espacial que se faz presente em um mundo cada vez mais urbanizado. Girão e Corrêa (2004) ressaltam que as feições geomorfológicas se constituem como um dos componentes do meio natural mais importantes para o desenvolvimento de variadas civilizações, servindo-lhes como *locus* de ocupação e proporcionando-lhes recursos para o crescimento de determinadas atividades. Nesse contexto, a geomorfologia *a priori* condiciona aptidões ou limitações na apropriação do espaço pela sociedade a depender da tecnologia que esta dispõe para tornar determinado ambiente economicamente viável, imprimindo-lhe uma forma e/ou funcionalidade para a execução das atividades intrínsecas às necessidades humanas, entre elas, como por exemplo a produção de alimentos.

Existem inúmeras possibilidades de aplicação do conhecimento geomorfológico, inserindo este ao diagnóstico das condições ambientais (TRICART, 1977., ROSS, 1992., CHRISTOFOLETTI, 1994., PENNA, 2002., GIRÃO., CORREA, 2004., PIRES., DAL'ASTA, 2011., SOBREIRA., SOUZA, 2012), sendo que o conhecimento e a evolução das metodologias em sua maior gama, apresentam uma abordagem sistêmica e aplicada de pesquisa, tendo em vista que seus pressupostos advém da concepção do sistema-Terra, interpretado como um sistema aberto, baseado na Teoria do Equilíbrio Dinâmico.

Nessa conjectura, Christofolletti (1999) apud Marques Neto (2008) apresenta uma classificação onde são distinguidos onze tipos de sistemas, quatro deles, mais relevantes para o campo de atuação da Geografia Física e dos estudos ambientais em geral, são eles:

- a) “Sistemas morfológicos: compostos pela associação entre as propriedades físicas dos sistemas e seus atributos constituintes. Configuram os sistemas menos complexos das estruturas naturais., (MARQUES NETO, R. 2008. p. 80)
- b) “Sistemas em sequência ou encadeantes: formados por subsistemas em cadeia que estabelecem uma relação de cascata de matéria e energia, onde o *output* de um sistema é tomado como *input* pelo subsistema da sequência., (MARQUES NETO, R. 2008. p. 80)
- c) “Sistemas de processos-resposta: formados através da conjugação dos dois sistemas anteriores, na qual os sistemas em sequência são indicativos dos processos e os sistemas morfológicos das respostas. Tal raciocínio implica que alterações nos fluxos de matéria e energia exercem reflexos expressos pela modificação na estrutura do sistema morfológico através do reajustamento de

suas formas e da dinâmica das variáveis na busca de uma relação mais equilibrada entre processos e formas., (MARQUES NETO, R. 2008. p. 80)

- d) “Sistemas controlados: são formados mediante intervenção antrópica nos sistemas ambientais físicos, que podem alterar formas e os fluxos de matéria e energia em diferentes intensidades. (MARQUES NETO, R. 2008. p. 80)

A logística da sistematização da análise geomorfológica, advindo tradicionalmente da Escola Alemã, segundo Ab’ Saber (1969) insere-se no contexto de estudo da fisiologia da paisagem, assinalando três principais níveis de tratamento a serem percorridos durante a pesquisa geomorfológica. O primeiro nível é a compartimentação e caracterização do meio físico o mais detalhado possível. O segundo encarrega-se de obter informações sistemáticas acerca da estrutura superficial da paisagem, as quais darão subsídios as interpretações das sequências acerca da estrutura superficial da paisagem, tal como, processos paleoclimáticos e morfoclimáticos. Enquanto que o terceiro nível de tratamento aborda os processos atuais mediante observações mais demoradas utilizando-se de equipamentos de precisão.

Depreende-se que o fator escala é um quesito crucial de contextualização, caracterização e interpretação advindas dos resultados de pesquisas desse cunho, estando amarrada à identificação do arranjo dos objetos e elementos do meio físico, dando suporte para esclarecer as incertezas preliminares levantadas durante os trabalhos de escritório juntamente à compilação das revisões bibliográficas de determinados ambientes, sendo também um fator decisivo na necessidade de respostas que se pretende alcançar.

Assim sendo, autores como Ross (1992) e Crepani (2001) nortearam a execução de estudos técnicos de caráter geomorfológico engajado ao planejamento sócio-econômico e ambiental com a utilização de imagens de radar e satélites e o controle sistemático de campo. Estes autores orientaram a produção de cartogramas geomorfológicos integrados cujas informações tenham sido controladas pelas observações e medidas sistemáticas de campo e gabinete. Nunes (2002) trabalhando em ambiente mais especializado, a partir do qual objetivou a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário no município de Presidente Prudente-SP, também forneceu uma contribuição metodológica para estudos da dinâmica da paisagem, utilizando-se da geomorfologia aplicada e integrada a elementos tais como, clima, velocidade dos ventos, gradiente térmico, surgência do lençol freático e uso e cobertura vegetal.

Para execução de estudos geomorfológicos é necessário obedecer uma ordem taxonômica do relevo (ROSS, 1994., LATRUBESSE., RODRIGUES e MAMEDE, 1998), as quais dependem da escala dos mapeamentos e análises de suas formas, gênese e dinâmica,

contribuindo efetivamente na avaliação do potencial de uso da terra e na identificação do nível de fragilidade dos ambientes naturais em função dos seus usos atuais e potenciais futuros. De acordo Ross (1994) a cartografia geomorfológica, vem acompanhada da análise genética, sendo um dos principais produtos intermediários para a construção da carta sintética de fragilidade ambiental, podendo ser expressa segundo os Padrões de Formas com a rugosidade topográfica, ou pelo Índice de Dissecação do Relevo, expresso através da Matriz do Índice de Dissecação do Relevo para escalas entre 1:250.000 à 1:50.000. Já para análises de maior detalhe, iguais ou superiores às escalas de 1:25.000, utiliza-se a forma das vertentes e as classes de declividade.

A identificação das unidades geomorfológicas operacionalizada a partir da proposta destes autores apresentam-se complementares ao diagnóstico das macrofeições do relevo, sendo que na abordagem feita por Ross (1994) há uma valorização da tendência entre perda ou acumulação de matéria, assumindo uma análise dos processos atuantes na superfície do terreno, a partir dos processos de denudação *versus* acreção, enquanto em Latrubesse, Rodrigues e Mamede (1998) ressalta-se elementos do arcabouço estrutural dos compartimentos geomorfológicos, salientando condicionantes geológicos de subsuperfície.

Com isso, para discernir os níveis de representação dos fatos geomórficos em função da dimensão deles e da escala de representação escolhida Ross (1994) propôs-se 3 (três) táxons de representação cartográfica, possíveis de serem analisados pela obtenção das imagens de radar operadas pelo Projeto RADAMBRAZIL (considerado de baixa-média resolução espacial), descritos sucintamente a seguir:

- a) **1° Táxon – Unidades Morfoestruturais:** Representa o de maior extensão em área e é identificado na imagem de radar e controlado pelo trabalho de campo ou ainda por cartas geológicas de boa qualidade.
- b) **2° Táxon – Unidades Morfoesculturais:** Contida em cada Unidade Morfoestrutural, é identificado na imagem de radar e controlado com a investigação de campo.
- c) **3° Táxon – Padrões de Formas Semelhantes:** Contidas nas Unidades Morfoesculturais, são manchas de menor extensão territorial e se definem por conjuntos de tipologias de formas que guardam entre si elevado grau de semelhança, quanto ao tamanho de cada forma e aspecto fisionômico. Exemplos: Colinas, Morros, Planícies e Terraços fluviais.

Este 3° Táxon refere-se a dimensão interfluvial média, nas colunas horizontais e entalhamento médio dos vales nas colunas verticais, estas podem apresentar formas Denudacionais (com comportamento erosivo e representado pela letra, D) ou Agradacionais

(com comportamento acumulativo e representado pela letra A), conforme descrito pelo autor. Estas por sua vez podem vir acompanhadas por letras minúsculas que determinam a gênese e processo de geração, determinando assim a 4º Táxon, tal como os seguintes exemplos: Apf – A de agradação., p de planície e f de fluvial, ou ainda Dt – Denudacional tabular, entre outros.

Estes demais táxons, correspondem ao nível de detalhamento maior, com escalas consideradas de média a alta intensidade, efetuando-se trabalhos de campo e utilizando-se de cartas topográficas de escala média a grande e ou imagem de radar de média-alta resolução espacial, sendo elas o 4º, 5º e 6º Táxons, tal como exposto a seguir:

- d) **4º Táxon – Tipos de Formas de Relevo:** Correspondem às tipologias do modelado, informando as amplitudes e extensões relativas. Formas aguçadas (a), convexas (b), tabulares (t) e aplanadas (p) nos relevos de denudação, e nos relevos de agradação, as planícies fluviais (pf) e flúvio-lacustres (pfl). Adicionalmente acrescenta-se denominações tais como amplas, baixas, curtas, longas.
- e) **5º Táxon – Tipos de Vertentes:** Correspondem ao tamanho médio dos interflúvios e grau de entalhamento dos canais, representado por uma combinação de dois números, os quais estão baseados na classificação obtida pelo índice de dissecação do relevo e numerados com dois números que graduam desde suave dissecação (11...), passando pela média dissecação (...24 ou 32..., por exemplo) até forte mais agressiva de dissecação (...55). Ou ainda pode ser comumente representado como a combinação da curvatura vertical da vertente com o intervalo relativo de declividade, como exemplo: Vertentes convexas de baixa declividade, vertentes retilíneas de declividade média, etc.
- f) **6º Táxon – Formas e Processos Atuais:** São as pequenas formas de relevo que se desenvolvem por interferência antrópica ao longo das vertentes gerando, processos erosivos e acumulativos atuais, tais como, ravinas, voçorocas, deslizamentos, corridas de lama, depósitos aluvionares ou bancos de arenosos.

3.3.2 Geotecnologias como ferramentas de apoio à Geomorfologia Aplicada ao Planejamento e Gestão Urbana Regional

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são sistemas computacionais com a finalidade de capturar, armazenar, gerenciar e analisar informações georreferenciadas, permitindo melhor gerenciamento e planejamento do espaço, o qual segundo Rosa e Ross (1999), favorecem atividades vinculadas ao planejamento ambiental, regional e municipal.

Torna-se necessário, portanto, escolher um sistema de projeção cartográfica mais adequada à aplicação proposta, bem como, definir a escala e a precisão. Estes autores descrevem as formas de armazenamento (modelo vetorial e matricial), e tratamento preliminar do banco de dados geográficos necessários para realizar o cruzamento de temas relevantes na geração de mapas sínteses de fragilidade ambiental, utilizando-se de *buffers* para especializar áreas de impacto ambiental.

Com o incremento de novas tecnologias empregadas em análises morfométricas do terreno os geomorfólogos e demais profissionais em geociências adquiriram potencial e paulatinamente o melhoramento da precisão dos trabalhos desenvolvidos, superando a subjetividade nas interpretações realizadas manualmente. Um grande exemplo disso ocorreu com a disponibilização dos Modelos Digitais de Elevação (MDE's), os quais abriram várias possibilidades para estudos nesta vertente do conhecimento, permitindo por exemplo: cálculos de variáveis topográficas, identificações das formas, do padrão de rugosidades e estruturas do relevo. Os MDE's representam fontes para o conhecimento do relevo da superfície terrestre, indicando áreas favoráveis para a agricultura, além de indicação de áreas de conservação do solo e da diversidade biológica, modelagem hidrológica, ortorretificação de imagem de satélite, avaliação de riscos de desmoronamentos, etc. (MELGAÇO, SOUZA FILHO e STEINMEYER et al., 2005., HOFF et al., 2009., ALBA et al., 2010., HUGGEL et al., 2008., MICELI et al., 2011., RAVELO, 2010 apud LANDAU e GUIMARÃES 2011).

Os parâmetros morfométricos do relevo podem ser quantificados no terreno, sendo que uma das metodologias de grande valia neste aspecto foi implementada por Ferreira et al. (2014), ao produzir a geração de Índice de Dissecação Horizontal Automático. O procedimento proposto baseia-se em ferramenta específica desenvolvida em software ArcGis 10.2.1, a qual gera polígonos que representam a dissecação horizontal a partir de linhas que conectam um ponto do canal de drenagem a um ponto mais próximo da borda da sub-bacia, com ângulo aproximado de 90° em relação ao canal de drenagem. Esta técnica mostra-se eficaz para mapeamento de dissecação horizontal, viabilizando sua aplicação em grandes áreas com ganho significativo de tempo.

Há ainda, o uso de Modelos Digitais de Terreno (MDT's) aplicados a descrição e quantificação dos parâmetros morfométricos, onde podemos citar como exemplo o emprego do processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomórfico da bacia do Rio Preto executado por Borges et al. (2007), no qual aliando-se a técnicas de composição colorida e manipulação de contrastes permitiram realçar feições e os distintos padrões do relevo,

favorecendo uma posterior análise visual e uma melhor distinção das unidades, com intervalos altimétricos distintos. Através deste estudo o autor ainda correlaciona os aspectos geológicos e pedológicos aos geomorfológicos, verificando o condicionamento físico intrínseco a de cada macrounidade do terreno (unidades “homogêneas”).

Ao mapear e interpretar a fragilidade ambiental potencial e emergente da cidade de Santa Maria-RS, Nascimento, Moura e Souza (2016) com o uso de geotecnologias e trabalhos de campo, identificaram que o vetor de crescimento urbano no sentido norte da cidade evoluiu para áreas com florestas densas, originalmente locais de fraca susceptibilidade aos processos de morfogênese. Contudo, os mesmos autores ressaltam graus de fragilidade ambiental emergentemente fortes a muito fortes, devido a processos da dinâmica de encostas e de dinâmica fluvial nesta cidade, sendo que estes locais apresentam riscos aos habitantes locais, podendo causar danos materiais e perdas de vida.

Ferreira et al. (2014)., Garófalo e Ferreira (2015) propuseram alternativas para o mapeamento de fragilidades em áreas com baixo detalhamento pedológico, implementando modelos com análises geoestatísticas e associações entre as variáveis temáticas com o uso de álgebra de mapas, fusão, ponderação e combinação entre estas, operando SIG's.

Atualmente uma alternativa para obtenção dos valores dos pesos de cada tema (variável geoambiental) é o uso do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov (KS), o qual permite avaliar dados não paramétricos, gerando valores que indicam a dependência entre duas variáveis (YONG, 1977 apud MESSIAS e FERREIRA, 2017). O teste estatístico KS estipula o grau de aderência e significância entre a frequência acumulada-esperada de um evento hipotético com a frequência acumulada observada do mesmo evento, apresentando a diferença máxima e a diferença crítica, a qual por sua vez terá um fator de peso estabelecido por tabela, conforme Taylor (1977) apud Messias e Ferreira (2017).

Chama a atenção o fato de que recentemente no Brasil a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) aprovou o regulamento especial para utilização de aeronaves não tripuladas, popularmente chamadas de drones. O objetivo segundo dados da página oficial da própria agência é tornar viáveis as operações desses equipamentos, preservando-se a segurança das pessoas, contribuindo também para promover o desenvolvimento sustentável e seguro para o setor. Nesse sentido vislumbra-se a aplicação destas geotecnologias em análises de alta precisão morfométricas futuras, tanto nas ciências ambientais quanto nas engenharias.

3.3.3 Das escalas de abordagem no ambiente físico-territorial

Não tem sido trivial para o pesquisador que trabalha e manipula dados espaciais a questão da escala, forçando este a estabelecer critérios de análise que configurem, dentro de sua proposta, medidas e valores mais próximos da realidade para um dado momento. Com a vulgarização da utilização dos *softwares* e aplicativos que operam dados espaciais (as geotecnologias), tem ocorrido um efeito muitas vezes pouco percebido por quem transmite as informações digital ou analogicamente, o efeito da generalização. Está tem afetado a qualidade do dado, fazendo-o perder sua validade operacional, desqualificando a informação, deformando o mapa e transformando-o em mera Figura ilustrativa, sem aplicabilidade com o real e tão pouco permitindo que se faça a comparação entre fenômenos que ocorrem em diferentes escalas.

O reconhecimento da escala mais adequada por sua vez torna-se de suma importância nas pesquisas geográficas, sendo uma de suas funções fazer o recorte do objeto de estudo, comumente envolvendo atributos que se correlacionam, possuindo limites dinâmicos, pesos e medidas diferentes, para determinadas análises. Pode-se dizer que existe uma dualidade de interpretação da escala, que segundo Castro (2014) não se restringe a problemática dimensional (espacial), mas também profundamente fenomenal (espaço-temporal). Menezes e Coelho Neto (1999) trabalham com o conceito de “Percepção de Escala”, assumindo que com as novas tecnologias, sobretudo sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto e GPS, introduziram-se mudanças no tratamento com as informações geográficas, sendo necessário assumir os problemas de multiescalaridade, resolução e generalização cartográfica. Visando à criação de uma estrutura mais formal e menos subjetiva na manipulação da escala, estes autores procuraram estabelecer um gerenciamento efetivo e objetivo, baseando-se nos seguintes critérios:

- i. Invariância da escala.,
- ii. Capacidade de mudança de escala.,
- iii. Impacto da escala.,
- iv. Definição da escala.

Destacando-se o terceiro critério, do impacto da escala, o autor sugere a determinação de métodos que possam avaliar a influência da variação de escala, em função da perda ou ganho de informações.

O pesquisador ao elaborar seu mapa primeiramente está preocupado em cartografá-lo em um formato de folha pré-estabelecido (ex: A4, A3, A2, etc.), contudo, quando este se depara

com a necessidade de embuti-lo em um relatório, periódico, parecer técnico, entre outras publicações, corriqueiramente o faz sem reduzi-lo a escala mais adequada. Castro (2014) alerta sobre o problema epistemológico e metodológico da escala, onde ressalta a inseparabilidade entre tamanho e fenômeno, o que causa uma dualidade de interpretação da escala.

Nesse sentido, a generalização da escala tem sido um dos principais problemas introduzidos sobremaneira, com o surgimento, maior facilidade ao acesso e menor burocracia do uso novas tecnologias, notadamente sistemas de informações geografias de acesso livre e código aberto SIG's (ex: QGis®, TerraView®, Spring®, SagaGis®, GvSig®, OSGeo®, Python®, R®, etc.), de aeronaves remotamente pilotadas (ARP's) e Sistemas de Posicionamento Global de alta precisão, além do acesso gratuito à imagens de satélite e radar, aplicativos específicos para celulares, *smartphones* e *iphones*. Essa gama de possibilidades fomentada pelas geotecnologias, muitas delas processando informações em tempo real, vêm exigindo interpretações próprias sobre o conceito de escala, como multiescalaridade e resolução, conforme ressalta Menezes e Coelho Neto (1999). Mesmo que no mapa queira se preservar a relação de proporção, utilizando como recurso a fixação de uma escala gráfica, o nível de detalhamento não mudará, mascarando a efetiva informação e confundindo o observador quanto à dimensão e o fenômeno.

Percebe-se que a escolha do objeto de pesquisa implica na decisão da escala de trabalho mais propícia para representar os fenômenos que se desejam avaliar e/ou demonstrar em um dado espaço geográfico, podendo este variar da escala global à local geograficamente ou de extremamente pequena a extremamente grande cartograficamente, respectivamente. Para representação nos formatos de folha convencionais a generalização da escala ocorre com a redução submetida a carta originalmente confeccionada em escala que supera as dimensões de inserção da carta/mapa nesta folha.

A conformidade entre escala geográfica e escala cartográfica assume nesse sentido uma denominação para cada nível de detalhamento, no qual quando a representação cartográfica estiver distante da representação geográfica imprimindo-lhe deformações grotescas e sem escala precisa, sendo apenas uma ilustração esboçada do espaço, podemos conferir ao produto o nome de croqui (sinônimos: esquema, bloco diagrama, desenho). Este geralmente é uma representação simplificada relativa à observação da paisagem tal como ela se dispõe ao observador que a descreve, dotado de simbologias e esquemas gráficos geralmente sistematizados pelo próprio autor, os quais darão significado aos elementos do ambiente analisado. Esta seria a forma mais simples de representação cartográfica, utilizada muito em

trabalhos de campo, de cunho necessariamente descritivo/interpretativo, quando não se dispõe de ferramentas geotecnológicas de maior precisão, tendo um papel importante na formação profissional dos que atuam nas geociências e ciências ambientais.

Quando se fabrica uma carta em escala de trabalho/observação pré-fixada e necessita-se apenas repassar essa informação produzida de forma sintética para um determinado público de leitores, na forma de artigos, publicações técnico-científicas e acadêmicas, sem a obrigatoriedade de utilização desta como ferramenta de gestão ou planejamento, opera-se a redução do documento cartográfico, sendo este recurso amplamente utilizado. Nesse contexto a correta denominação do produto atinge o nível de Figura, forma representativa derivada da carta ou mapa pelo efeito de redução, a qual irá repassar a generalização do (s) fenômeno (s) cartografado (s) na imagem.

Quando se aproxima o fenômeno ou objeto cartografável da real proporcionalidade existente na escala geográfica de abordagem, aquele se concretiza como verdadeiramente avaliável/analisável pelo observador, transmitindo-lhe a noção lógica do fato impresso. Concomitantemente, a problemática de escala passa pelo viés da eficiência na comunicação, no sentido de transmitir aos não cartógrafos a informação de forma didática e funcional, àqueles interessados em mitigar e/ou gerir os danos de determinados ecossistemas ou acompanhar a tendência de algum fenômeno desencadeado ou passível de ser mapeado no ambiente, daí a especificação do que se trata a escala operacional. Ou ainda, segundo Menezes e Coelho Neto (1999), sendo relacionado com a escala geográfica de atuação ou de operação de um determinado fenômeno. A Figura 3.5 demonstra esquematicamente os conceitos elencados acima:

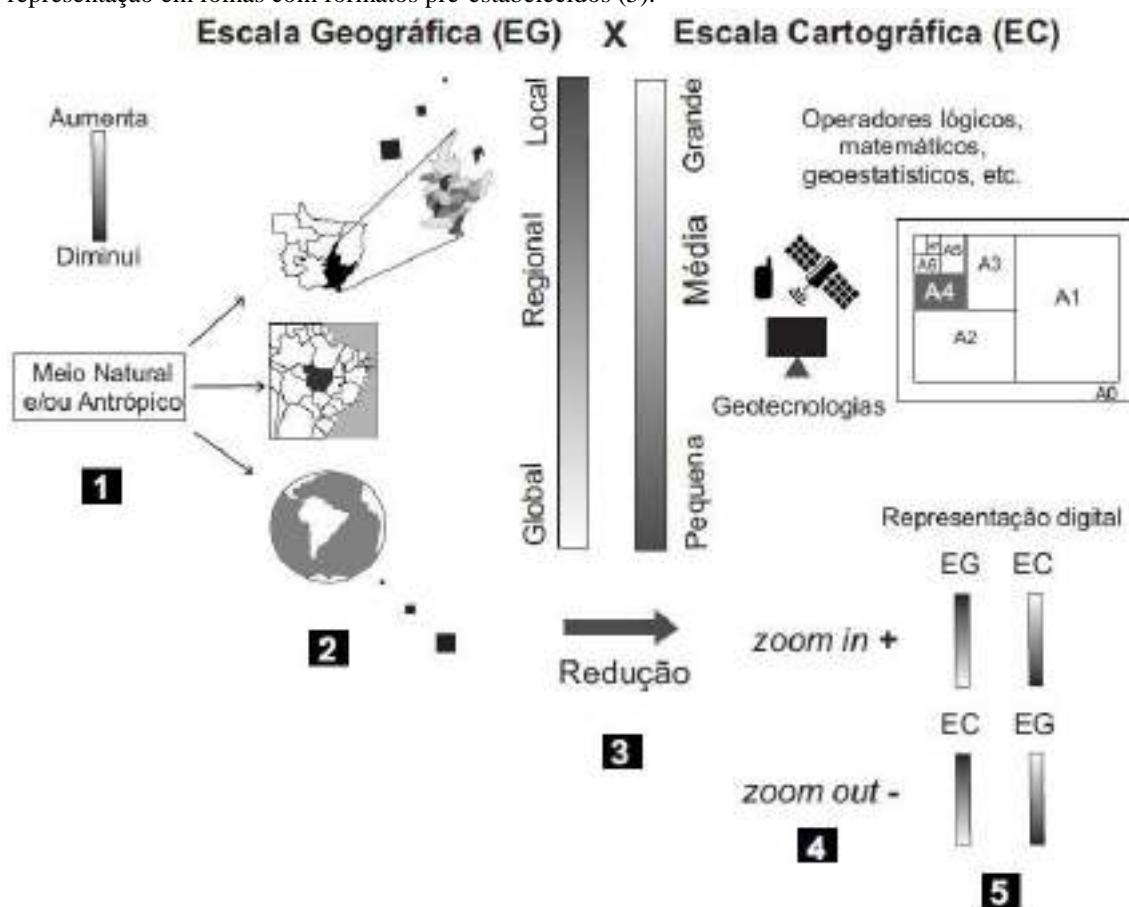
Figura 3.5 – Esquemática do nível de relação existente entre escala geográfica e escala cartográfica e as denominações adequadas para os documentos cartográficos emitidos.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Outro fato é que, se for aplicado a um documento cartográfico digital ativo para edição de seu *layout* de impressão, ou ainda durante a manipulação deste na tela dos SIG's, quando não fixada à escala de representação mais adequada, ao se executar o *zoom in* (+) ou *zoom out* (-), aproximação e afastamento, respectivamente, o submeteram a mudança de escala geográfica e cartográfica, sendo estas concomitante e inversamente proporcionais. Sinteticamente a Figura 3.6 demonstra o exposto acima, tomando como exemplo o município de Rondonópolis-MT em relação ao globo terrestre.

Figura 3.6 - Escala geográfica versus cartográfica, em (1) representação do meio físico natural e/ou antrópico induz a necessidade de escolha da dimensão dos dados espaciais, graduando desde o global ao local (2), geograficamente e cartograficamente em escalas graduando de extremamente pequenas a extremamente grandes, o que é possível devido ao efeito de redução (3). Com o uso de geotecnologias o *layout* digital ativo permite a modificação das escalas com efeitos de *zoom in* (+) ou *zoom out* (-), confundindo alguns usuários de geotecnologias com a alteração constante entre a escala geográfica e cartográfica no ambiente computacional/informatizado, necessitando da fixação de uma escala padrão, tal como se faz para representação em folhas com formatos pré-estabelecidos (5).



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Haja vista a diversidade de abordagem do objeto, formas de percepção, análise e interpretação dos elementos no ambiente, denota-se a importância de se diagnosticar qual tipo de escala está sendo tratada no escopo do projeto, ou ainda, se são multiescalares, definir a faixa de escala trabalhada. Em conformidade com o recorte utilizado é necessário validar a operacionalidade destas quando o estudo assim o exigir, tais como são utilizadas nas ciências aplicadas (ex: engenharias, agrárias, meteorológicas, geológicas, etc.), uma vez que a resolução dos fenômenos e objetos de análise devem ser compatível à realidade física, não sendo permitido assumir generalizações que comprometam a confiabilidade das informações, quando

se pretende demonstrar e interpretar determinado fenômeno ou evento impresso no ambiente, seja ele estático ou dinâmico.

Ferramentas de geostatística utilizadas no processamento digital vêm se mostrando eficazes em estudos que envolvem multivariáveis, as quais geralmente demandam o trabalho em multiescalas, exigindo ao operador um embasamento teórico abrangente para interpretação dos dados e na gestão das informações visando sempre à tomada de decisões mais acertadas.

Na escala operacional deve existir a possibilidade de tornar determinado processo/evento/fenômeno ou objeto mapeável, onde podemos citar como exemplo de aplicação deste tipo de escala na produção cartográfica, a confecção de produtos que descrevem aos processos geodinâmicos, tal como descrito por Souza e Sobreira (2014) na elaboração da metodologia para o mapeamento geológico progressivo de cartas geológico-geotécnicas, sintetizado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Denominação dos documentos cartográficos em relação à escala operacional e os processos mapeavam.

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, rastejo, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Cartas de Aptidão à Urbanização	1:10.000 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamentos, subsidências e colapso, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidência e colapso, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: SOUZA e SOBREIRA (2015) e editado por GUIRRA, A. P. M. (2017)

Buscando a comparação do efeito de mudança de escala nos modelos de fragilidade ambiental (Ross, 1994) e vulnerabilidade a perda de solos (Crepani et al., 2001), na bacia hidrográfica do Rio Jundiá, Fagundes e Queiroz Filho (2014) observaram que no modelo de fragilidade ambiental, o tema geomorfologia mostrou-se mais sensível a variação de escala, enquanto os outros temas não sofreram alterações significativas. Outro fato deveu-se ao destaque de fragilidades muito forte com o aumento da escala, em contrapartida a fragilidade média apresentou maior incidência com a escala de 1:250.000 em relação a de 1:50.000, o que segundo os autores pode ter ocorrido devido o maior grau de detalhamento da carta topográfica.

Comparativamente, no modelo de vulnerabilidade, os autores observaram menor sensibilidade à variação de escala, sendo que a classe média apresentou maior grau de incidência em ambas às escalas, o que segundo Fagundes e Queiroz Filho (2014) são resultado da forma do cálculo dessa metodologia, baseada nas médias dos temas, a qual atenua os valores extremos e tornam os valores medianos preponderantes.

Dessa maneira as metodologias apresentam baixa correlação entre si, tendendo as diferenças maximizadas com a ampliação da escala e minimizadas com a sua redução, porém de forma não linear tanto para as mesmas metodologias quanto entre metodologias diferentes.

Pode-se verificar nesse contexto que os fenômenos ecodinâmicos interferem diretamente no resultado final do pesquisador, que a depender da escala de trabalho, não serão identificados os atributos essenciais que assegurem a confiabilidade do dado, no que tange a sua precisão, uma vez que este estará inconsistente ou pouco detalhado, cabendo ao profissional em geociências avaliar as limitações das interpretações possíveis em seu diagnóstico.

Sabendo-se das limitações do diagnóstico na predição de ambientes sujeitos a instalação e desenvolvimento de processos erosivos, no próximo tópico caracteriza-se os principais aspectos da área de estudo (PUR), enfocando os atributos físicos desta região.

3.4 CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

Rondonópolis insere-se na parte alta da Bacia do Rio Paraguai, tendo como principais afluentes o Rio São Lourenço e o Rio Vermelho, onde este último segmenta o perímetro urbano de Rondonópolis (PUR) no sentido nordeste/sudoeste. Segundo dados de Oliveira (2016) as sub-bacias contidas no PUR são as expressas na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Bacia e sub-bacias hidrográficas do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.

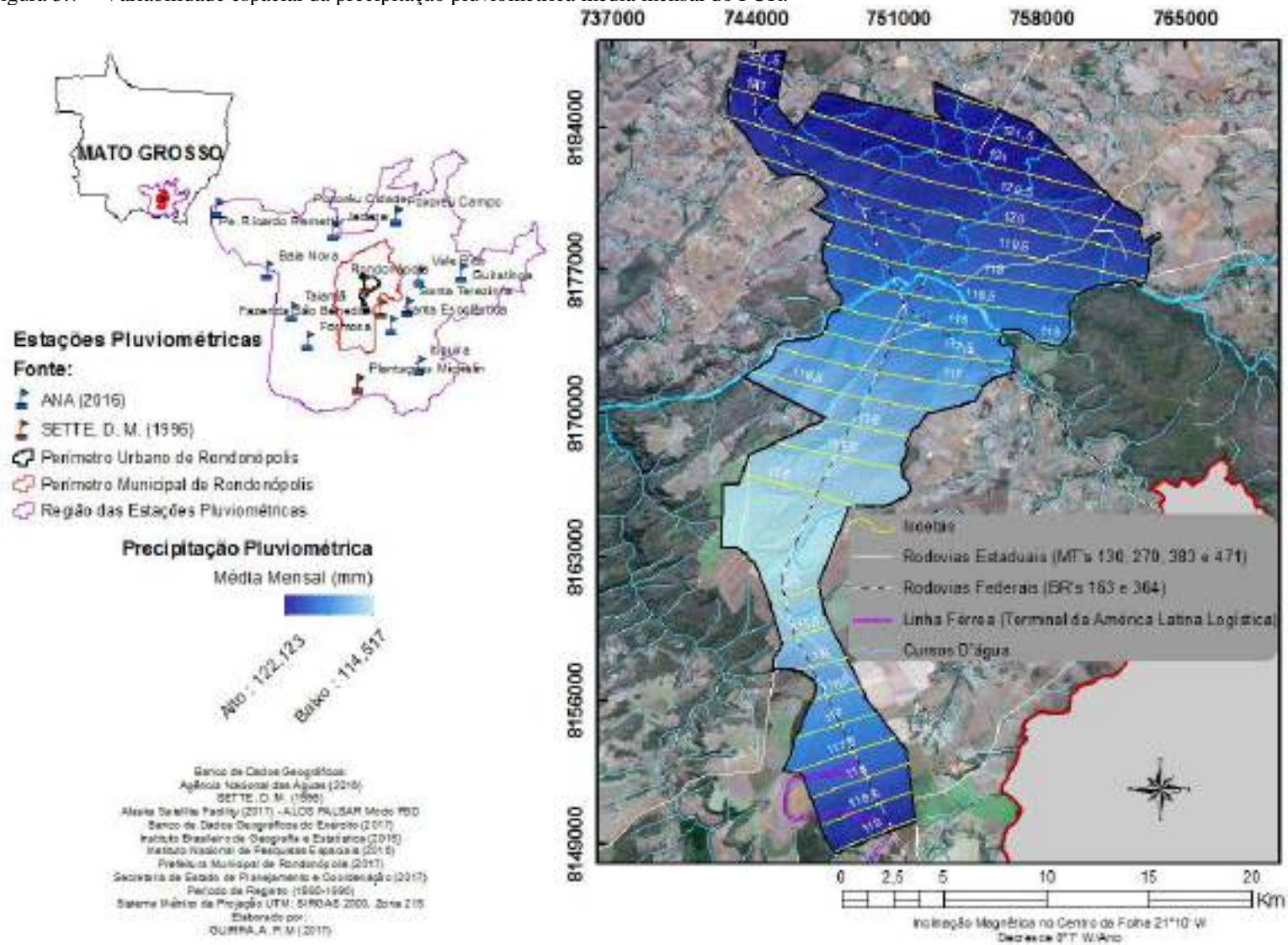
Bacia Hidrográfica do Perímetro Urbano de Rondonópolis	Sub-bacias hidrográficas do Perímetro Urbano de Rondonópolis
Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho	Sub-bacia do Arareau
	Sub-bacia do Jurigue
	Sub-bacia do Lourencinho
	Sub-bacia do Miau
	Sub-bacia do Pitaluga
	Sub-bacia do Ponte e Pedra
	Sub-bacia do Reino

Fonte: OLIVEIRA (2016) editado e organizado por GUIRRA, A. P. M. (2017)

De acordo com Sette (1996), o clima em Rondonópolis é caracterizado por uma temperatura média anual de 25° C, sendo a média das máximas de 32,6°C e a média das mínimas acima de 26°C, ocorrendo entre os meses de junho a julho as menores médias, cerca de 22°C. O clima segundo dados do IBGE (1980 apud SETTE, 1996), é considerado subúmido (úmido seco), com moderado déficit de água no inverno e regular excesso no verão. Possui médias térmicas elevadas durante o ano todo, principalmente durante a primavera/verão, caracterizando-se por um clima megatérmico. Esta região, de modo geral, caracteriza-se fisiograficamente por biomas de cerrado e resquícios de florestas savânicas nos ambientes de transição e vales fluviais encaixados nos domínios planálticos e interplanálticos.

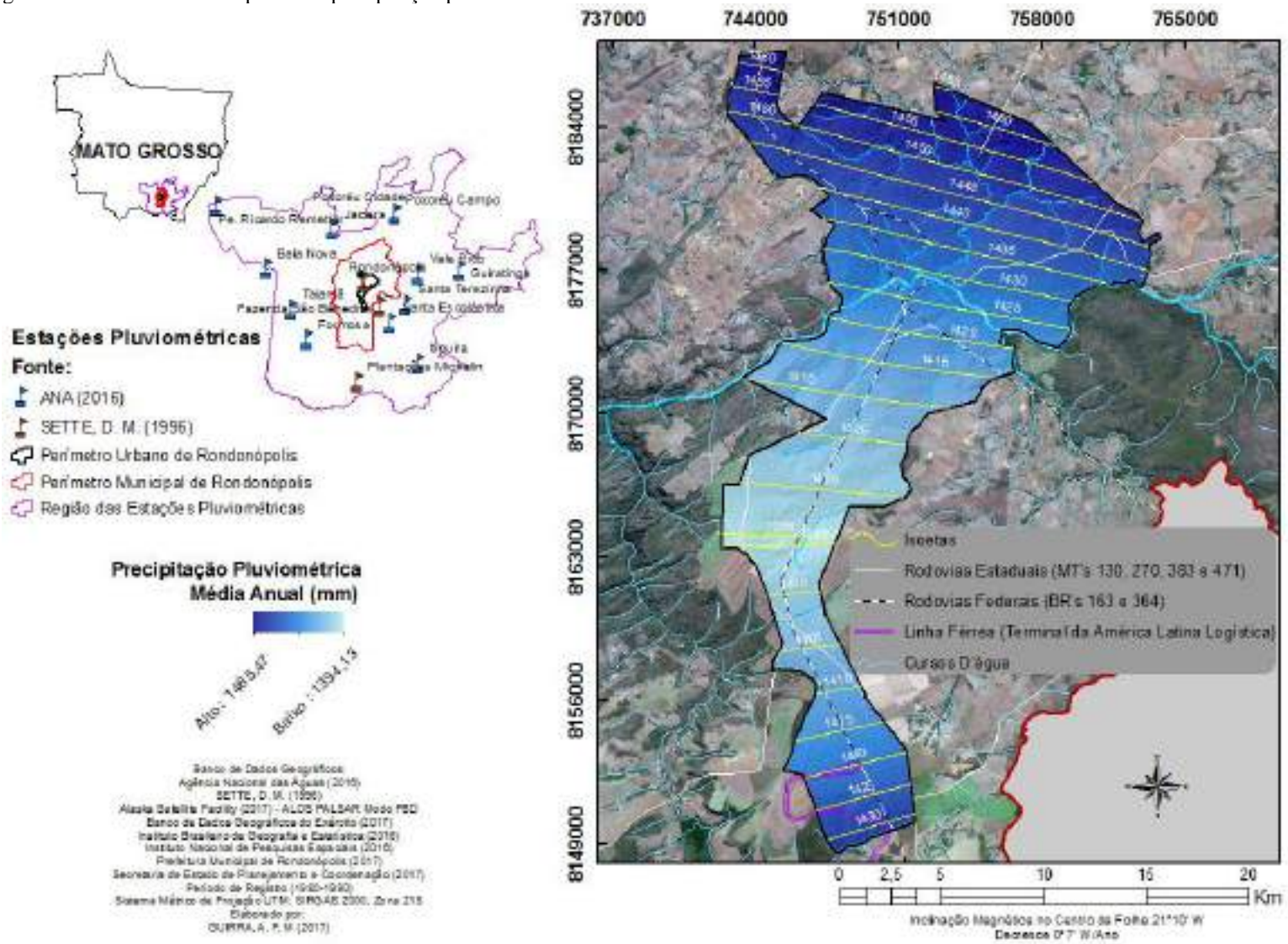
Com a espacialização dos parâmetros de chuva, identificou-se que na região do PUR a variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média mensal oscila de 115 a 123 mm, sendo que nas porções norte e centro-leste estão concentradas as maiores médias, entre 120-123 mm. Enquanto que, a variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média anual do PUR registra variações de 1.394 a 1.466 mm, e os setores norte e centro-leste apresentam os maiores volumes, em torno de 1.440 a 1.466 mm. Estas informações podem ser melhor apreendidas conforme Figuras 3.7 e 3.8, que demonstram as variabilidades espaciais das precipitações médias mensal e anual, respectivamente.

Figura 3.7 – Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média mensal do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.8 – Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica média anual do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Nesse panorama de abordagem do meio físico-ambiental, apoiado no uso de geotecnologias, no reconhecimento de campo e na revisão bibliográfica embasada, principalmente, na descrição feita por Salomão e Cutrin (1999 apud CASARIN, 2003, p. 22), na carta geomorfológica do Estado do Mato Grosso, elaborada segundo critérios estabelecidos por Ross (1994), bem como por Latrubesse, Rodrigues e Mamede (1998) através da Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso (SEPLAN-MT) na escala 1:3.000.000, e na carta Geológica da Folha Rondonópolis (SE-21-X-B) confeccionada na escala 1:250.000 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), verificou-se os seguintes aspectos:

- a) O PUR está integralmente contido na Morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, mais precisamente na borda noroeste desta bacia intracratônica sul americana siluro-cretácea.,
- b) A maior parte do perímetro está contido na Morfoescultura da Depressão Interplanáltica de Rondonópolis, cerca de 55% de toda extensão do PUR, a qual apresenta padrão Denudacional Estrutural de acordo com Latrubesse, Rodrigues e Mamede (1998), enquanto que os outros 45% estão assentados sobre patamar rebaixado da borda noroeste do Planalto do Alto-Itiquira/Alto-Araguaia, assumindo padrão Denudacional com baixo controle estrutural, segundo estes mesmos autores.

No que tange os tipos de formas do relevo, a Tabela 3.4 demonstra que o padrão geomorfológico mais comum para o perímetro relacionado a estas unidades se apresenta na forma de colinas, planícies fluviais associadas à terraços alúvio-coluvionares e localmente em terraços fluviais, seguindo a ordem de abrangência de cada um dos fatos geomórficos.

Tabela 3.4 – Padrão de formas semelhantes (3º táxon) do PUR e suas respectivas áreas e porcentagem de cobertura no terreno.

PADRÃO DE FORMAS SEMELHANTES DO RELEVO DO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO	ÁREA (Km ²)	PORCENTANGEM EM ÁREA COBERTA (%)
Padrão em Colinas com topo estreito e aplainado	73,667	24,157
Padrão em Colinas amplas com vertentes longas	56,026	18,372
Padrão em Colinas alongadas com topo plano	54,960	18,023
Padrão em Planícies fluviais associado a terraços aluvio-coluvionares	44,363	14,548
Padrão em Colinas suaves com topo aplainado	43,744	14,344
Padrão em Colinas suaves alongadas e vertente curta	19,395	6,36
Padrão em Colinas com topo estreito e vertente curta	6,361	2,086
Padrão em Colinas alongadas com topo estreito	4,469	1,466
Padrão em Terraços fluviais	1,964	0,644
ÁREA TOTAL	304,950	100

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Verifica-se que as formas semelhantes do relevo mais comuns neste território são representadas por colinas de topo estreito e aplainado, colinas amplas com vertentes longas e colinas alongadas com topo plano, equivalendo a um total de cerca de 61% de todo perímetro. Neste contexto, a partir da delimitação de unidades do 3º táxon, e com o reconhecimento de campo, checaram-se o tipo de formas de relevo contidas em cada uma destas unidades, as quais podem ser verificadas de acordo o exposto na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Padrão de formas semelhantes do relevo relacionado com o conjunto de formas do relevo do PUR contida em cada uma das Unidades Morfológicas do relevo.

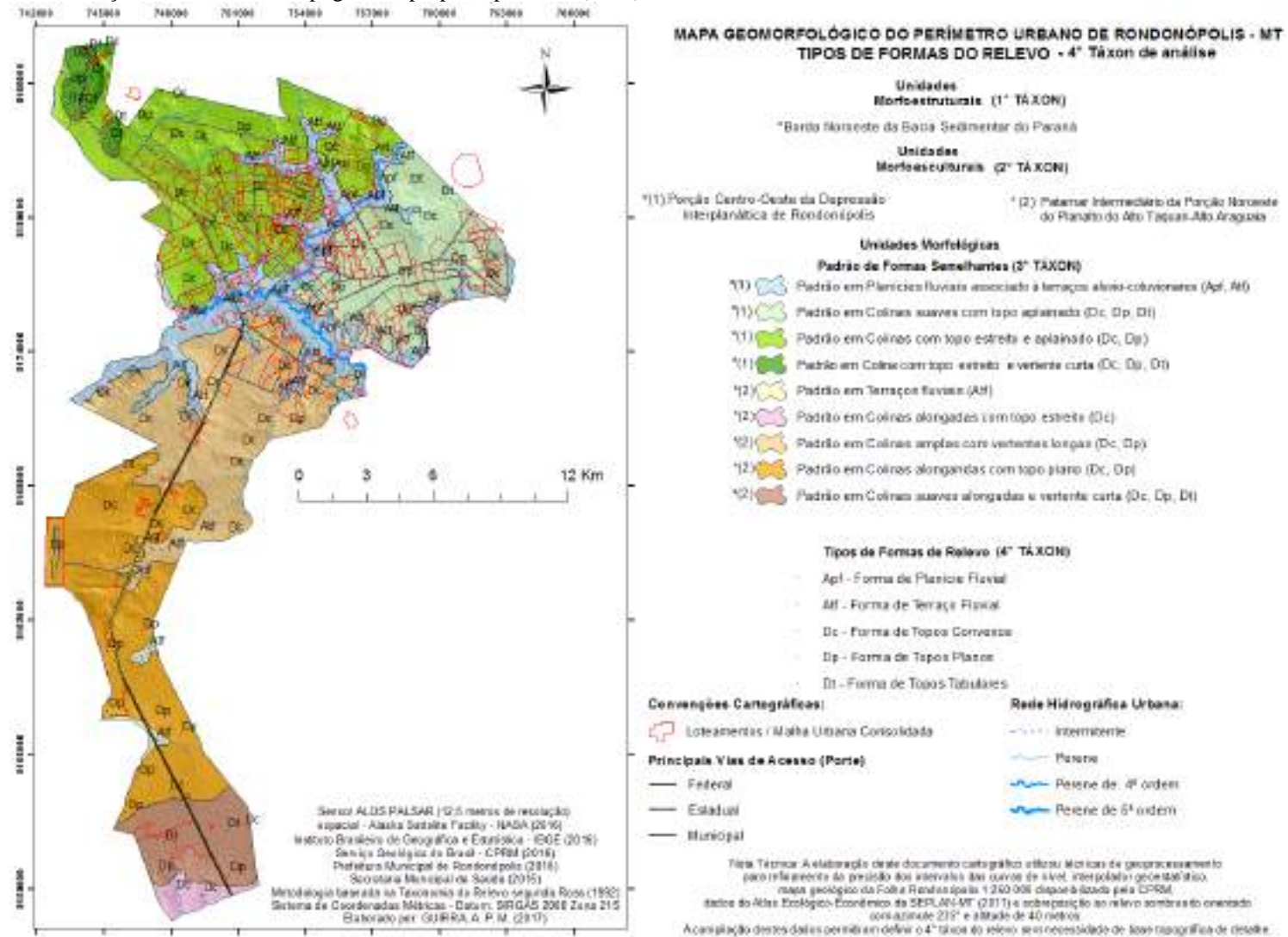
PADRÃO DE FORMAS SEMELHANTES DO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO	CONJUNTO DO TIPO DE FORMAS DE RELEVO DO PERÍMETRO URBANO DE RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO
Padrão em Planícies fluviais associado a terraços aluvio-coluvionares	Apf, Atf
Padrão em Colinas suaves com topo aplainado	Dc, Dp, Dt
Padrão em Colinas com topo estreito e aplainado	Dc, Dp
Padrão em Colinas com topo estreito e vertente curta	Dc, Dp, Dt
Padrão em Terraços fluviais	Atf
Padrão em Colinas alongadas com topo estreito	Dc
Padrão em Colinas amplas com vertentes longas	Dc, Dp
Padrão em Colinas alongadas com topo plano	Dc, Dp
Padrão em Colinas suaves alongadas e vertente curta	Dc, Dp, Dt

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Diante da análise progressiva, da escala maior para a menor de observação e inversamente para a de cartografia, orientou-se a elaboração da carta geomorfológica sintética do PUR conforme disposto na Figura 3.9, agregando informações sobre os principais cursos de drenagem, quanto a sua ordem e perenidade.

Considera-se, ainda nesta carta, os polígonos de intervenção da sociedade no arranjo espacial da cidade, oriundos da urbanização e da especulação imobiliária presente nas ações político-administrativas deste território, tal como verificado por alguns autores em diagnósticos ambientais referentes ao saneamento desta cidade, a qualidade da água superficial de seu aquífero (Furnas), fragmentação da vegetação nativa da zona rural associada a expansão do perímetro urbano, ou ainda pelas novas centralidades surgidas nesse cenário fomentado, sobretudo, pela agroindústria da soja, que condiciona a diversificação dos serviços atuais (CASARIN 2003., ALABACETE, 2008., SILVA, 2009., CUTRIN e CAMPOS, 2010., DEMAMANN, 2011., ROHLING e SILVA, 2012).

Figura 3.9 – Figura do mapa geomorfológico PUR, identificando até o 4º táxon (Tipos de Formas do relevo), de acordo a hierarquia escalar de observação e detalhamento topográfico, proposta por Ross (1994).



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Tendo em vista o mapa geomorfológico anterior (Figura 3.9), pode-se afirmar que o marco divisório entre as duas morfoesculturas de extensão regional, materializa-se no PUR pelo entalhamento do vale fluvial do Rio Vermelho (5ª ordem), o que valida a classificação geomorfológica de acordo Latrubesse, Rodrigues e Mamede (1998) ao afirmarem para a região da bacia do Rio Vermelho a existência de condicionante geológico estrutural, com forte incidência de blocos falhados formando horsts e grabens e assumindo padrões de suave dissecação além de em alguns domínios prevalecerem padrões de agradação, com a formação de barras arenosas, ao longo das margens desse rio, conforme expõe Corradini (2011).

Quanto ao contexto geológico da área de estudo, verifica-se através de mapa geológico em escala de 1:250.000 da CPRM, que o PUR está assentado sobre embasamento metamórfico não aflorante, representado por metadiamicititos, quartzo metagrauvas milonítica e quartzitos, pertencentes ao Grupo Cuiabá, afetados pelo Ciclo Orogênico Brasileiro-Panafricano (~600 Ma), conforme descrevem Tokashiki e Saes (2008). Encontrando-se adjacente à Província Tocantins, esta região situa-se sobre parte do Lineamento Transbrasiliano, conforme descreve Santos et al. (2015), neste embasamento, foram depositadas unidades da bacia do Paraná, representadas na área por espessa pilha de rochas psamo-pelíticas Paleozóicas (cerca de 400 metros), associadas às rochas das Formações Furnas e Ponta Grossa além de coberturas Neógenas e Quaternárias.

O registro estratigráfico da bacia do Paraná, segundo Milani et al. (2007), é materializado por seis unidades de ampla escala, ou Supersequências, na forma de pacotes rochosos, os quais registram intervalos temporais de algumas dezenas de milhões de anos de duração, envelopados por superfícies de discordância de caráter inter-regional, sendo eles:

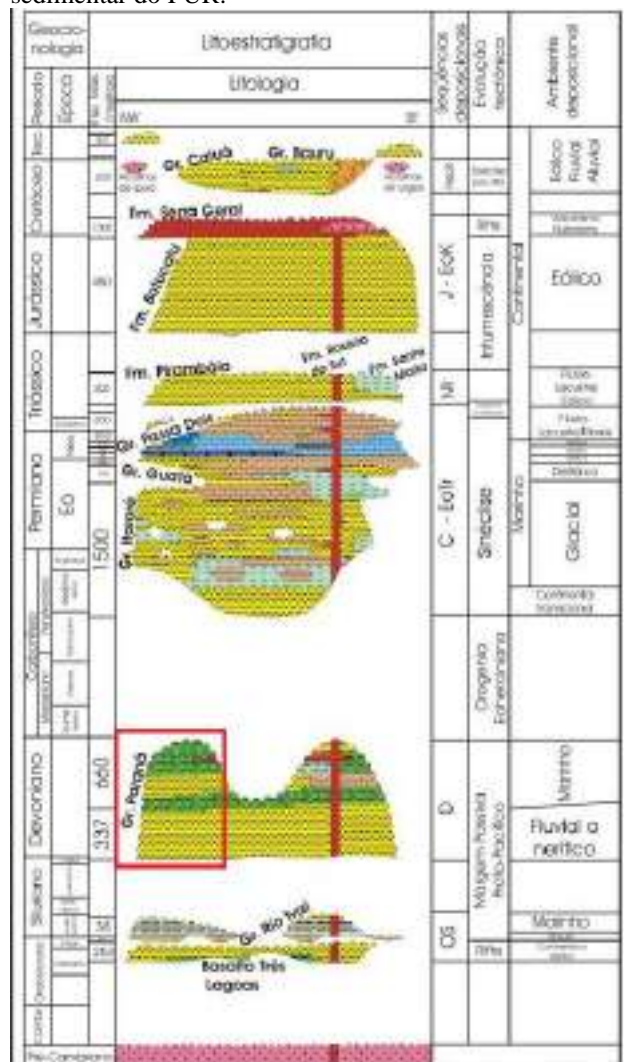
- a) Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano),.
- b) Paraná (Devoniano),.
- c) Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico),.
- d) Gondwana II (Meso a Neotriássico),.
- e) Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e
- f) Bauru (Neocretáceo).

Estes autores destacam que as três primeiras sequências registram sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivos-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico, enquanto que as demais são pacotes sedimentares continentais com rochas ígneas associadas.

A Figura 3.10 demonstra a disposição litoestratigráfica da bacia do Paraná de acordo a ordem evolutiva dos ciclos vulcano-sedimentares, desenvolvidos concomitantemente a

atividades orogênicas ativas dos cinturões colisionais adjacentes, dando destaque para o contexto geológico regional no qual o PUR se insere.

Figura 3.10 – Carta litoestratigráfica da Bacia do Paraná, com destaque no quadrado vazado de borda vermelha para o contexto regional em que se insere o embasamento sedimentar do PUR.



Fonte: Editado por BIZZI et al. (2003) baseado-se em MILANI (1997) e WHITE (1908). Destaque por GUIRRA, A. P. M. (2017)

Das unidades litoestratigráficas contidas no PUR, correspondem nesse contexto, a rochas siluro-devonianas sedimentadas durante evento tectônico conhecido como Orogenia Caledoniana. Quando se dispõe em ordem geocronológica tem-se, de acordo mapa geológico da Folha SE-21-X-B (Rondonópolis):

“**Formação Furnas** (504 Ma) caracteriza-se por uma sedimentação terrígena, oriunda de sistema deposicional fluvial a marinho raso no topo. Predominam arenitos esbranquiçados e amarelados, subordinadamente avermelhados, mal classificados,

grãos de quartzo médios à grossos, subangulosos, pouco argilosos, friáveis, caoliníticos, muito fraturados, micáceos (muscovita), pouca matriz fina, localmente muito silicificados. Comumente apresenta estratificações cruzada tabular, plano-paralela e acamamento gradacional” (CPRM, 2014)., Exemplos: Figuras 3.11, 3.12 e 3.13.

Figura 3.11 – Arenito branco amarelado, fino a grosso, com estratificação plano paralela com camadas diageneticamente silicificadas exposto ao longo de perfil de vertente côncava.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.12 – Arenito intemperizado, estratificado, friável e fraturado.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.13 – Exposição em planta de arenito quartzoso médio à grosso esbranquiçado intemperizado com lâminas e camadas ferruginosas, situado em superfície de inundação do córrego Lourencinho.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

“A **Formação Ponta Grossa** (356 Ma) constituída por folhelhos e siltitos ferruginosos, cinza a cinza-esverdeados, subordinadamente amarelados e avermelhados, normalmente muito intemperizado, com intercalações de arenitos finos a muito finos, preferencialmente ferruginosos, esverdeados, esbranquiçados em direção ao topo. Os folhelhos são físseis, muito fraturados, micáceos (muscovita), com estratificação plano-paralela milimétrica a centimétrica” (CPRM, 2014)., Exemplos: Figuras 3.14, 3.15 e 3.16.

Figura 3.14 - Erosão linear e laminar em siltito intemperizado exposto.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.15 – Siltito intemperizado friável em local de baixa declividade de vertente convexa e colina alongada de topo plano.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.16 - Siltito fraturado de baixa coesão, com fraturamento persistente e penetrativo em várias direções, em local de declividade média.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

“As corbeturas neógenas são detrito-lateríticas inconsolidadas, com sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, avermelhados subordinadamente amarelados, cobertos por solos residuais, sem estruturas sedimentares, total ou parcialmente laterizadas, com desenvolvimento de cangas lateríticas, avermelhadas a marrom-avermelhadas” (CPRM, 2014)., Exemplos: Figuras 3.17, 3.18, 3.19 e 3.20.

Figura 3.17 – Erosão do tipo ravina em solo residual sotoposto a siltito intemperizado em local destinado a lixão irregular, sujeito a fluxo de enxurrada em vertente retilínea com declividade média.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.18 – Solo areno-argiloso residual vermelho friável e colapsível em local com incidência forte de sulcos erosivos;



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.19 – Colúvio detrítico-laterítico inconsolidado e raso sotoposto a siltito intercalado com folhelho intemperizados em local com nível d'água aflorante (próximo a nascente) contaminado por água servida.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.20 – Cobertura detrítico-laterítica inconsolidada com sulcos erosivos provenientes do escoamento superficial concentrado em vertente retilínea.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

“Os depósitos aluvionares são sedimentos inconsolidados, constituídos por areias finas a grossas, com níveis de cascalho e lentes de material silto-argiloso, relacionados às barras de canal e canais fluviais atuais” (CPRM, 2014). Exemplos: Figuras 3.21 e 3.22.

Figura 3.21 – Solo transportado (colúvio) raso friável a pulverulento sotoposto a depósito aluvionar e sedimentos inconsolidados, onde evidencia-se transporte de sedimentos para fundo do canal de drenagem em superfície de alagamento e inundação do córrego da Onça.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.22 – Superfície de alagamento e inundação do rio Vermelho (planície fluvial) associada lateralmente à bancos arenosos instáveis e cobertos parcialmente por gramíneas. Largura do rio neste trecho aproximadamente 90 metros.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Quantificando a ocorrência dos tipos de rochas e sedimentos existentes no PUR, percebe-se que a maior parte está sobreposto ao embasamento rochoso de folhelhos e siltitos pertencentes à Formação Ponta Grossa (aproximadamente 42%), enquanto que outros 55% correspondem a arenitos esbranquiçados mal selecionados da Formação Furnas e a Cobertura Detrito-Lateríticas inconsolidadas, restando cerca de 3% relativo a Depósitos Aluvionares condicionados as barras arenosas dos canais fluviais do Rio Vermelho e Córrego Arareau, tal como demonstra a Tabela 3.6 abaixo:

Tabela 3.6 – Unidades litoestratigráfica do PUR, de acordo com a compilação de dados do mapa geológico 1:250.000 da Folha SE-21-X-B.

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ÁREA (Km ²)	ÁREA (ha)	PORCENTANGEM EM ÁREA COBERTA (%)
Depósitos Colúvio-Aluvionares e Sedimentos inconsolidados	9,456	945,604	3,101
Coberturas Detrito-lateríticas inconsolidadas	66,648	6664,838	21,856
Formação Ponta Grossa	126,753	12675,317	41,565
Formação Furnas	102,092	10209,248	33,478
ÁREA TOTAL	304,950	30495,007	100,000

Fonte: CPRM (2014), organizado por GUIRRA, A. P. M. (2017)

Segundo Milani et al. (2007) a zona de contato entre as Formações Furnas e Ponta Grossa, determinada a partir de métodos geofísicos (perfis de raios gama), caracteriza-se pelo incremento contínuo da argilosidade da Formação Furnas, o que segundo este autor corresponde a passagem gradacional para a Formação Ponta Grossa.

Quanto aos sedimentos detrítico-lateríticos, estes ocorrem preferencialmente nas superfícies aplainadas do relevo, constituindo solos areno-argilosos de tonalidade avermelhada, ricos em concreções ferruginosas, além de níveis de argilas e areias inconsolidadas. As lateritas imaturas ocorrem na parte superior aflorante, geralmente na porção mais elevada do relevo. Nas vertentes, os depósitos detrítico-lateríticos afloram comumente na parte mediana dos perfis de solo (horizonte mosqueado, de acordo com a Figura 3.23, podendo estar parcialmente recoberta por colúvios/alúvios areno-argilosos, conforme Figura 3.24.

Esses depósitos colúvio/aluviais, na sua base, são constituídos por seixos provenientes dos próprios lateritos concrecionários, e no topo por material argiloso proveniente do horizonte mosqueado. Este é encontrado nas partes mais baixas do relevo atual, podendo estar coberto por solos vermelho amarelados e areias muito grossas a fina esbranquiçadas, além de colúvios e alúvios.

Figura 3.23 – Argissolos vermelho-amarelos eutrófico abruptos plintossólicos, evidenciado pelo horizonte diagnóstico mosqueado. Solo sujeito à eventos de compressão e recalque, em área de brejosa na baixa vertente da bacia hidrográfica do córrego Pitaluga.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.24 – Contato entre colúvio mal selecionado com cascalho, areia, silte e argila sobreposto à latossolo vermelho-amarelo eutrófico argissólico.



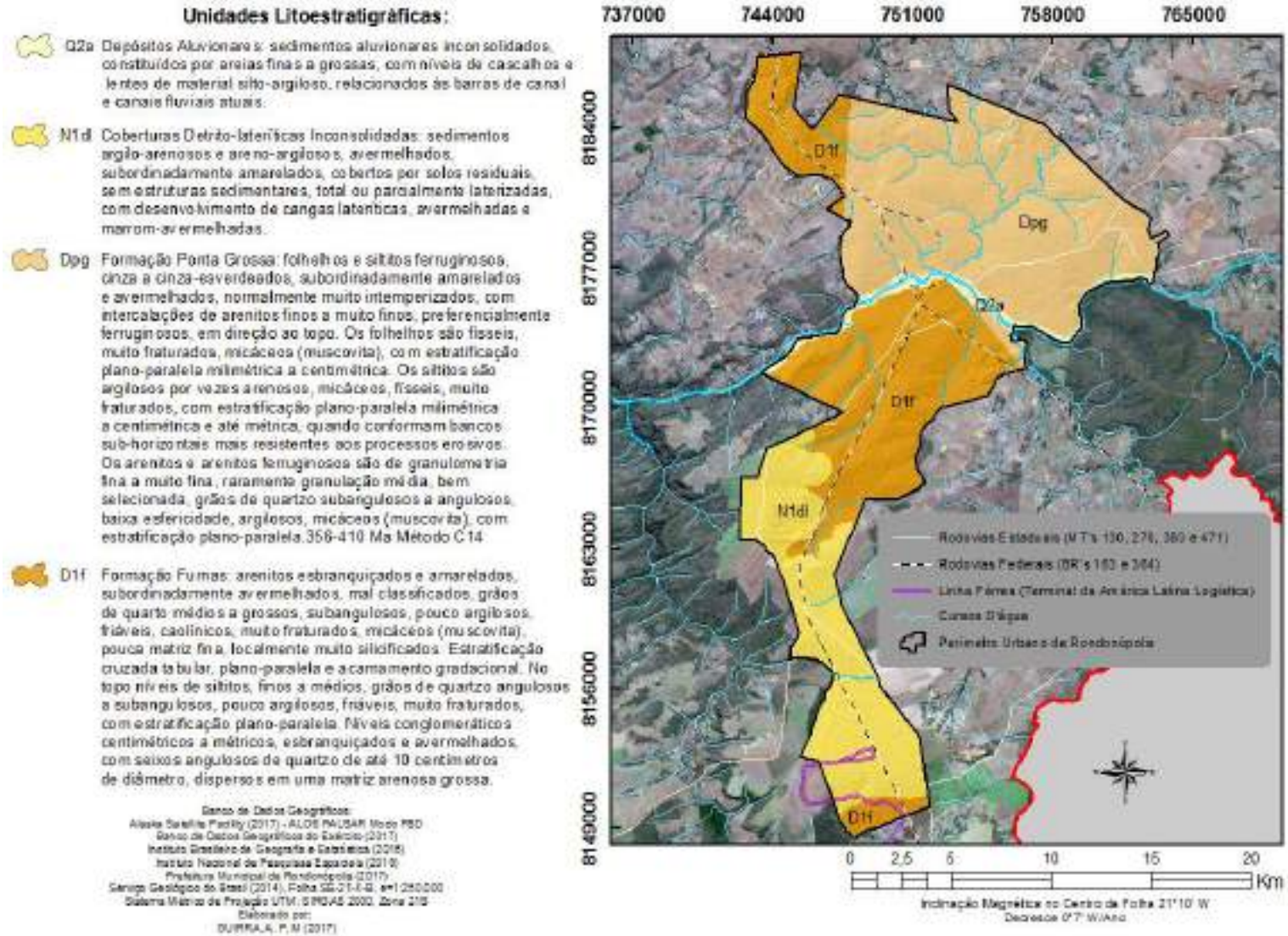
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Os depósitos aluvionares estão associados principalmente ao transporte e a produção de sedimentos da bacia de drenagem do Rio Vermelho, o qual segundo estudos das variáveis de geometria hidráulica desta bacia, realizados por Corradini (2011), na seção de Rondonópolis indicaram baixa potência/capacidade de transporte de sedimentos, evidenciando que a maior parte que entra no sistema fluvial fica depositada no próprio Rio Vermelho. De acordo com este mesmo autor, este rio apresenta vazões próximas de 100 m³/s, registrando maiores quantidades de sedimentos em suspensão no canal, sugerindo que a sedimentação do canal está ocorrendo, principalmente, nas baixas vazões no período de seca. Sendo assim, os depósitos aluvionares

são caracterizados no PUR como depósitos de acreção lateral de margem de canal e de carga de fundo.

Nesse contexto, a Figura 3.25 demonstra as características litoestratigráficas do PUR oriunda da simplificação do mapa geológico de escala 1:250.000 disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014).

Figura 3.25 – Unidades litoestratigráficas do PUR carta elaborado a partir do mapa geológico da Folha SE-21-X-B.



Fonte: CPRM (2014), organizado por GUIRRA, A. P. M. (2017)

Em relação aos tipos de solos existentes no PUR, identificou-se a partir da carta pedológica elaborada pela Secretaria de Estado e Planejamento do Mato Grosso (SEPLAN-MT), 4 (quatro) ordens de solos, os quais subdividem-se em 8 subordens, consequentemente. Sendo os Latossolos os de maior abrangência na área de estudo (Figura 3.26), seguidos pelos Argissolos (Figura 3.27 e 3.28) e Neossolos (Figuras 3.29), respectivamente. A Tabela 3.7 demonstra a relação da área coberta e a porcentagem de cada um destes solos, dentro do limite do PUR, classificados e cartografados em escala originalmente de 1:250.000.

Tabela 3.7 – Tipos de solos existentes no PUR, de acordo com a compilação de dados do mapa pedológico em escala de 1:250.000 da SEPLAN-MT (2011). *sedimento

UNIDADES PEDOLÓGICAS	ÁREA (Km ²)	ÁREA (ha)	PORCENTAGEM EM ÁREA COBERTA (%)
NEOSSOLOS LITÓLICOS Distrófico fragmentário e			
NEOSSOLOS LITÓLICOS Distrófico típico	8,434	843,383	2,766
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos	35,548	3554,827	11,657
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos e			
LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Ácricos húmicos	6,157	615,660	2,019
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos latossólicos	12,850	1284,953	4,214
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos latossólicos e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abruptos plintossólicos	31,172	3117,158	10,222
LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos	76,352	7635,233	25,038
LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos e LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos argissólicos	3,049	304,897	1,000
LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos	128,363	12836,347	42,093
*Depósitos Aluvionares: sedimentos aluvionares inconsolidados, constituídos por areias finas a grossas, com níveis de cascalhos e lentes de material silto-argiloso, relacionados às barras de canal e canais fluviais atuais.	3,025	302,543	0,992
ÁREA TOTAL	304,950	30495,001	100,000

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Segundo critérios da SEPLAN-MT (2011), a erodibilidade destes solos podem variar desde muito fraca a muito forte, sendo que para solos profundos com textura argilosa a muito argilosa e homogeneidade vertical, tais como os Latossolos vermelho-escuros, a erodibilidade é considerada fraca. Já para solos rasos com mudança textural abrupta, argila de alta atividade, podendo apresentar impedimentos físicos a percolação da água, evidenciam-se muito alta erodibilidade e, consequentemente, elevada fragilidade, tais como caracterizam-se os Neossolos Litólicos e, em alguns casos, os Argissolos rasos.

Alguns solos ricos em matéria orgânica tal como os Planossolos e Fluviossolos com horizonte A proeminente, podem ocasionalmente ocorrer, condicionados a drenagens e vertentes côncavas convergentes e espriadas, ou ainda ao longo de drenagens que apresentam média a alta cobertura vegetal e locais brejosos ou próximos a nascentes, porém estes solos não apresentam representatividade em escala de 1:250.000, tal como os exemplos das Figuras 3.30 e 3.31.

Figura 3.26 – Latossolo vermelho-amarelo eutrófico típico, friável e exposto em alta vertente de colina suave e topo plano.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.27 – Argissolo vermelho-amarelo eutrófico latossólicos, friável, sujeito a recalque, e compactação devido pisoteio de gado.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.28 – Argissolo vermelho-amarelos eutróficos plintossólicos, em local de nascente, susceptível a compactação e recalque devido ao pisoteio do gado nas imediações.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.29 – Neossolo quartzarênico órtico, friável, com baixa compactidade, observado processos erosivos, pisoteio de gado e remobilização de solo para construção de bacia de contenção a montante.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.30 – Alta concentração de matéria orgânica no horizonte superficial do solo, em ambiente de baixa declividade, onde ocorre encharcamento sazonal.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 3.31 – Solo rico em matéria orgânica em local grande porte e baixa declividade. Observação: Não mapeável em escala 1:250.000.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Observou-se a presença de Neossolos Litólicos, condicionados as áreas onde ocorrem afloramentos rochosos e próximos à cursos de drenagem, onde a declividade pode variar entre média à alta, e a rugosidade do relevo é mais acentuada, tal como demonstra as Figuras 3.32 e 3.33 abaixo:

Figura 3.32 – Neossolo quartzarênico órtico, friável desenvolvido sobre arenito quartzoso grosso a muito grosso.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

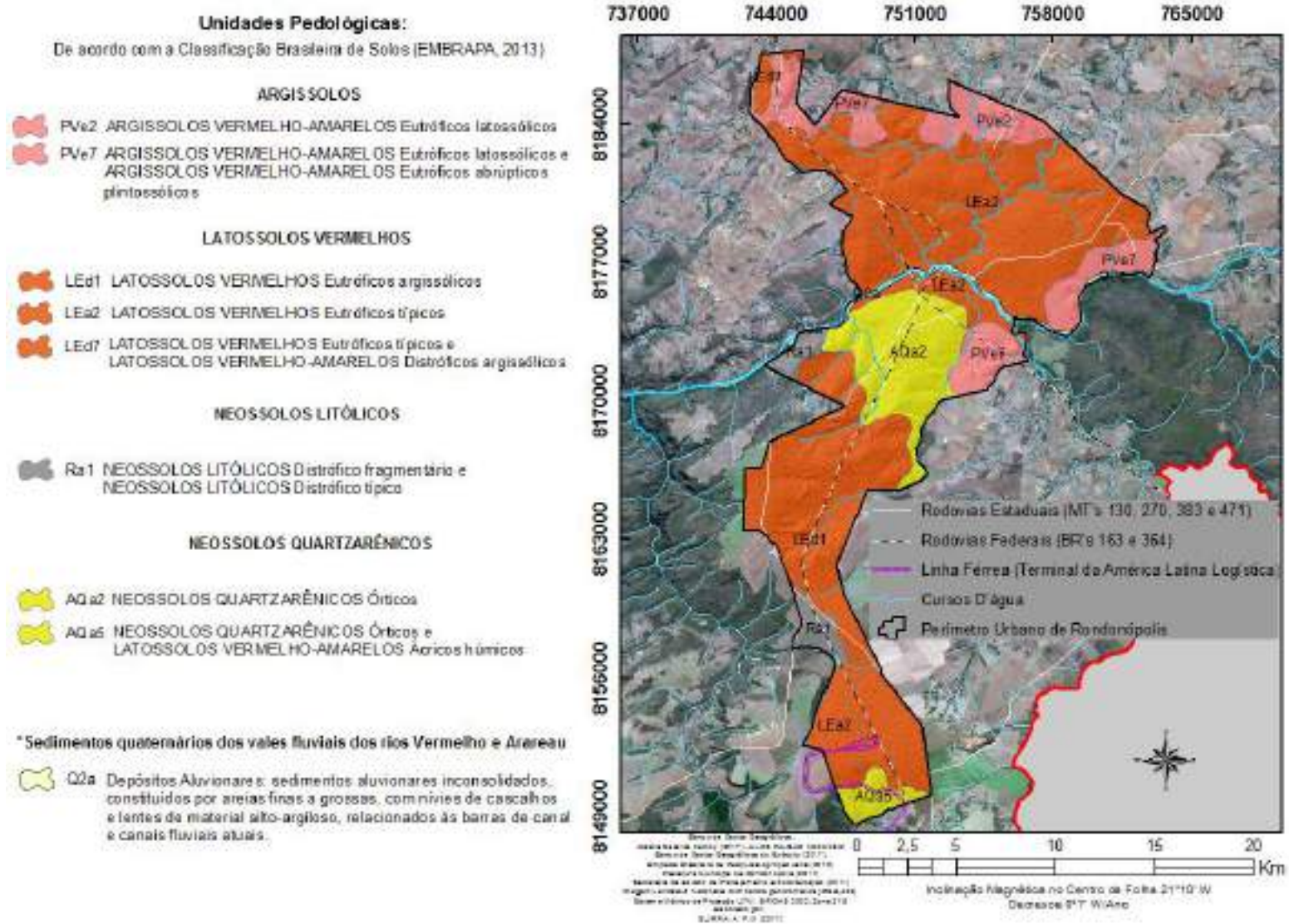
Figura 3.33 – Neossolo litólico com caráter chernozêmico desenvolvido sobre arenito quartzoso grosso da Formação Furnas, situado no talvegue da margem direita do córrego Piscina.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

A Figura 3.34 revela a espacialização das unidades pedológicas existentes no PUR, segundo a Classificação Brasileira de Solos de 2013.

Figura 3.34 – Unidades pedológicas do perímetro urbano de Rondonópolis-MT.



Fonte: SEPLAN-MT (2011), editado conforme normas da Classificação Brasileira de Solos , organizado por GUIRRA, A. P. M. (2017)

4. RESULTADOS

4.1 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AO RELEVO CONSIDERANDO DECLIVIDADE E FORMAS DO TERRENO

A variável geoambiental, declividade, medida em porcentagem, indicou a predominância de valores entre 16,0 e 30,0%, o que corresponde à cerca de 31% de toda a área do PUR, o equivalente à 93 km² de extensão, onde se atribui fragilidade forte, para este intervalo. A segunda classe que apresentou maior porcentual em área coberta corresponde a classe fraca, situada no intervalo de declividade entre 3,0 e 8,0%, satisfazendo aproximadamente 23% de toda extensão do PUR e correspondendo cerca de 71 Km² em área.

A terceira classe, de maior abrangência na superfície, foi associada à fragilidade muito baixa, nesta variável morfométrica, com intervalo de valores entre 0,0 e 2,5%, esta classe ocupa uma área com cerca de 62,0 Km² de extensão, o que configura em aproximadamente 20,0% do total da área estudada.

Para o intervalo entre 8,0 e 16,0% de declividade, obteve-se cerca de 57,0 Km² de extensão, o equivalente à 18% de toda área, correspondendo a classes de fragilidade média. Já para a classe de muito alta fragilidade ou declividade muito fortes, aquela acima de 30%, percebe-se cerca de 21 Km² de área coberta, o que representa 7% de toda área.

Sendo assim, a partir das informações obtidas acima se pode verificar na carta de declividade, conforme exposto na Figura 4.1, a espacialização dos níveis de fragilidade associadas à declividade do terreno.

Quando se analisa a forma das vertentes, o componente de curvatura horizontal da superfície o terreno indica que há predominância da forma planar, e que esta representa cerca de 45% da extensão do PUR, cobrindo o equivalente a 138 Km² do mesmo. O padrão convergente cobre cerca de 28% do PUR, representando o proporcional à 86 km² da área de estudo. Em compensação, a forma convergente, do perfil horizontal das vertentes, corresponde a aproximadamente 27% da área, perfazendo cerca de 82 km² deste território, tal como é demonstrado na Figura 4.2.

Em contrapartida, na obtenção de dados quali-quantitativos relacionados à curvatura vertical da superfície do terreno, observou-se a preponderância das formas retilíneas, as quais equivalem à cerca de 44% de toda extensão do PUR, representando aproximadamente 134 Km² de área coberta. Verificou-se que as formas convexa e côncava apresentaram porcentagem de

área coberta muito próximas, 28 e 27%, respectivamente, ou seja, 86 e 85 km², como pode ser observado na Figura 4.3.

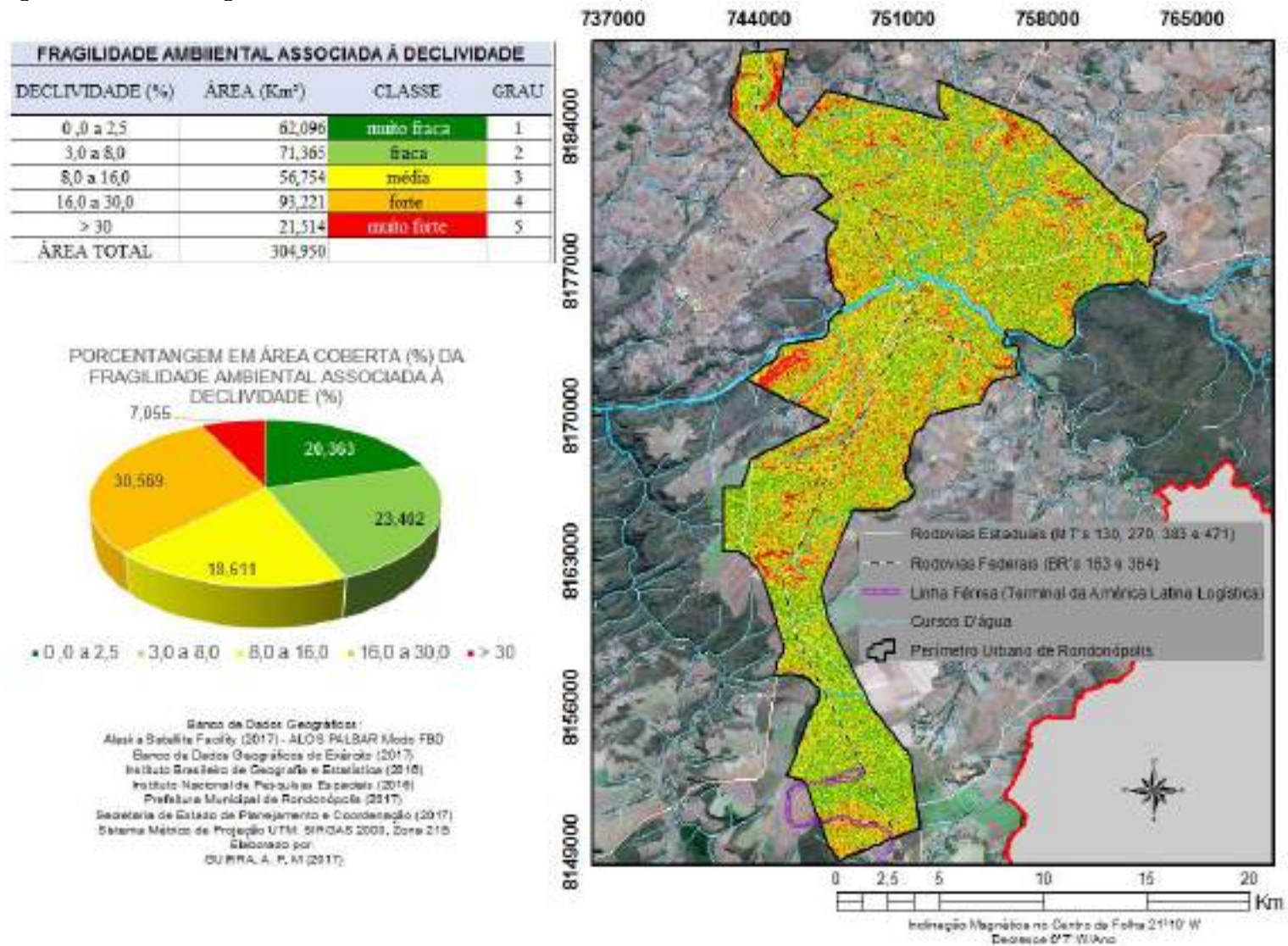
Ao ponderar as variáveis geoambientais, declividade e formas da superfície do terreno, ambas agrupadas em cinco classes quali-quantitativas, obteve-se a carta de fragilidade do relevo, indicando que há predominância das formas retilíneas planares, onde o escoamento superficial tende a apresentar caráter transicional, entre concentrador e dispensor ou ao contrário, a depender da direção do escoamento superficial. Cerca de 37% do PUR, ou 113 km², aproximadamente encontra-se nesta situação de forma de vertente, onde o fluxo transicional valida a fragilidade do relevo como mediana.

Já outros 36% da área de estudo apresentam fluxos do tipo mesodispensor radial e hipodispensor, numa área equivalente à 110 Km², atuando em vertentes do tipo planar convexas e divergente côncavas, assumindo fragilidade baixa para o tema relevo. Em vertentes convergentes convexas e planares côncavas, onde processam-se fluxos hipoconcentrados e mesoconcentrados radiais, a fragilidade do relevo é forte e equivale à cerca de 17% do PUR, representando aproximadamente 53 Km² em extensão.

Os fluxos do tipo mesodipensores longitudinais e hiperdispensores, contemplam o equivalente à 8% de toda extensão do território estudado, sendo a fragilidade do relevo considerada muito baixa para cerca de 24 Km² do terreno. Em contrapartida, fluxos hiperconcentradores e mesodipensores longitudinais, os quais condicionam os maiores níveis de fragilidade do relevo, assumiram o equivalente a 4 Km² do PUR, ou seja 1,3% do total desta área.

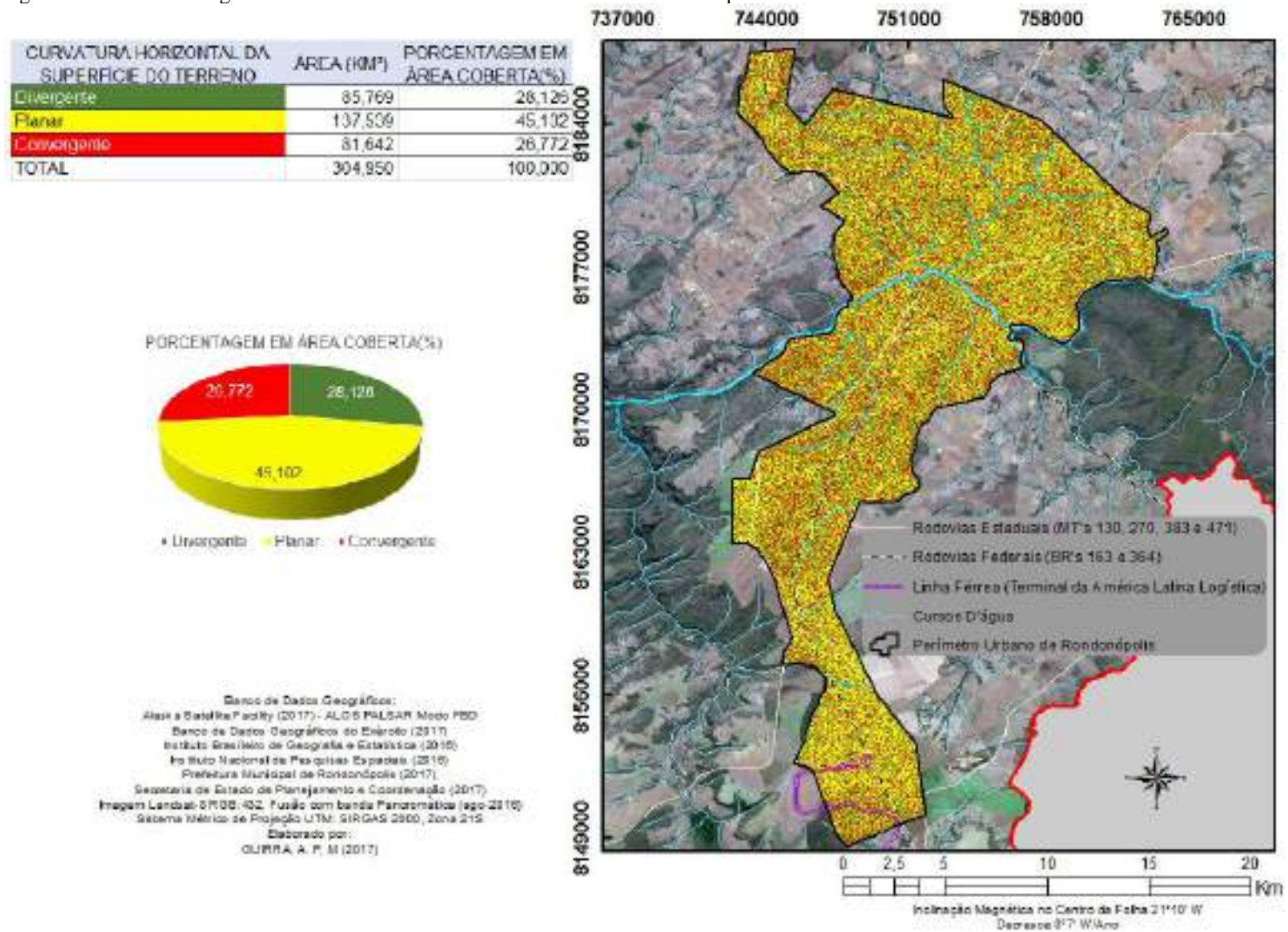
Sendo assim, a Figura 4.4 apresenta a espacialização da fragilidade ambiental associada à variável geoambiental relevo.

Figura 4.1 – Carta de fragilidade ambiental associada à declividade (%) do terreno.



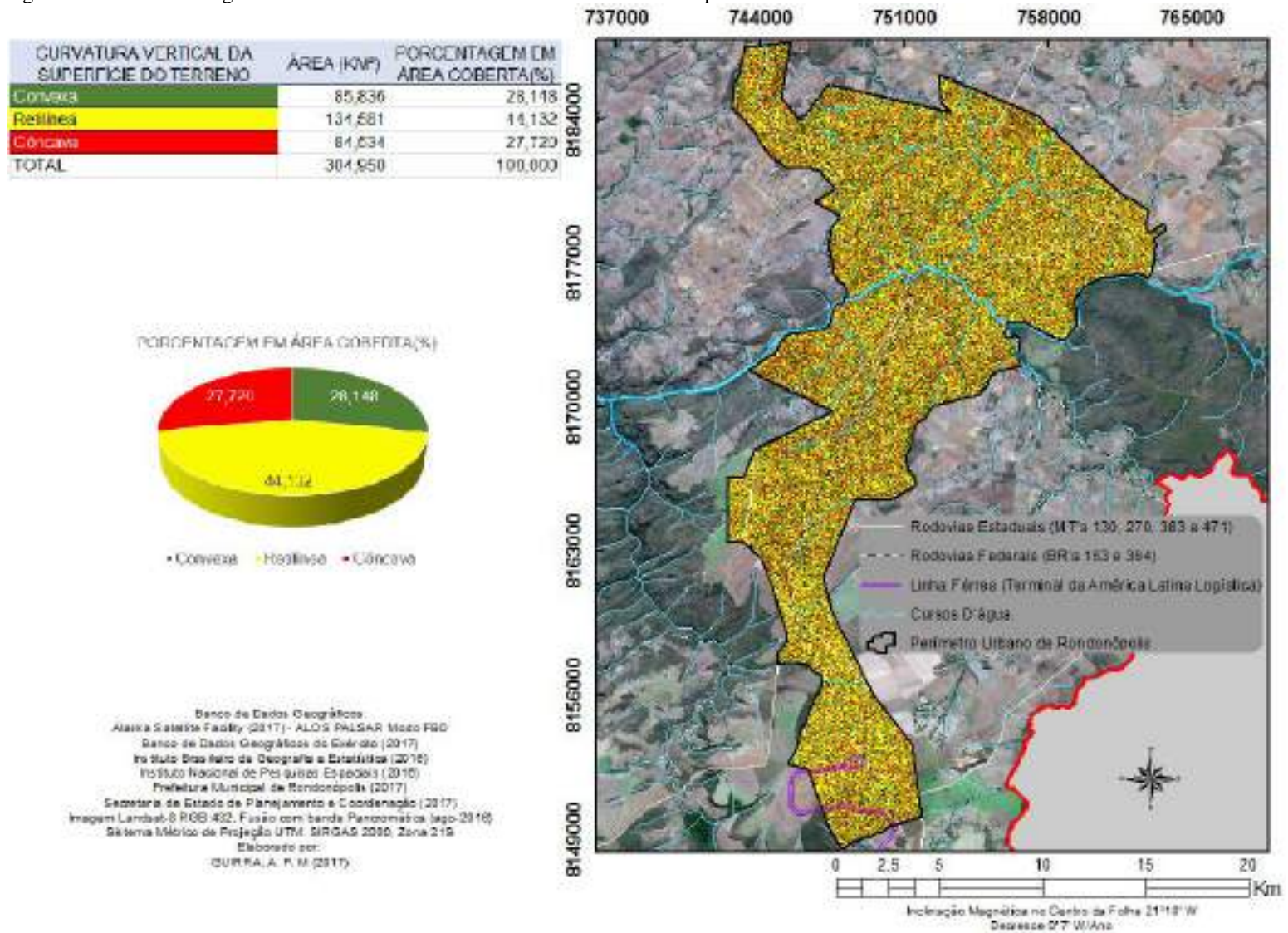
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.2 – Carta de fragilidade ambiental associada à curvatura horizontal da superfície do terreno.



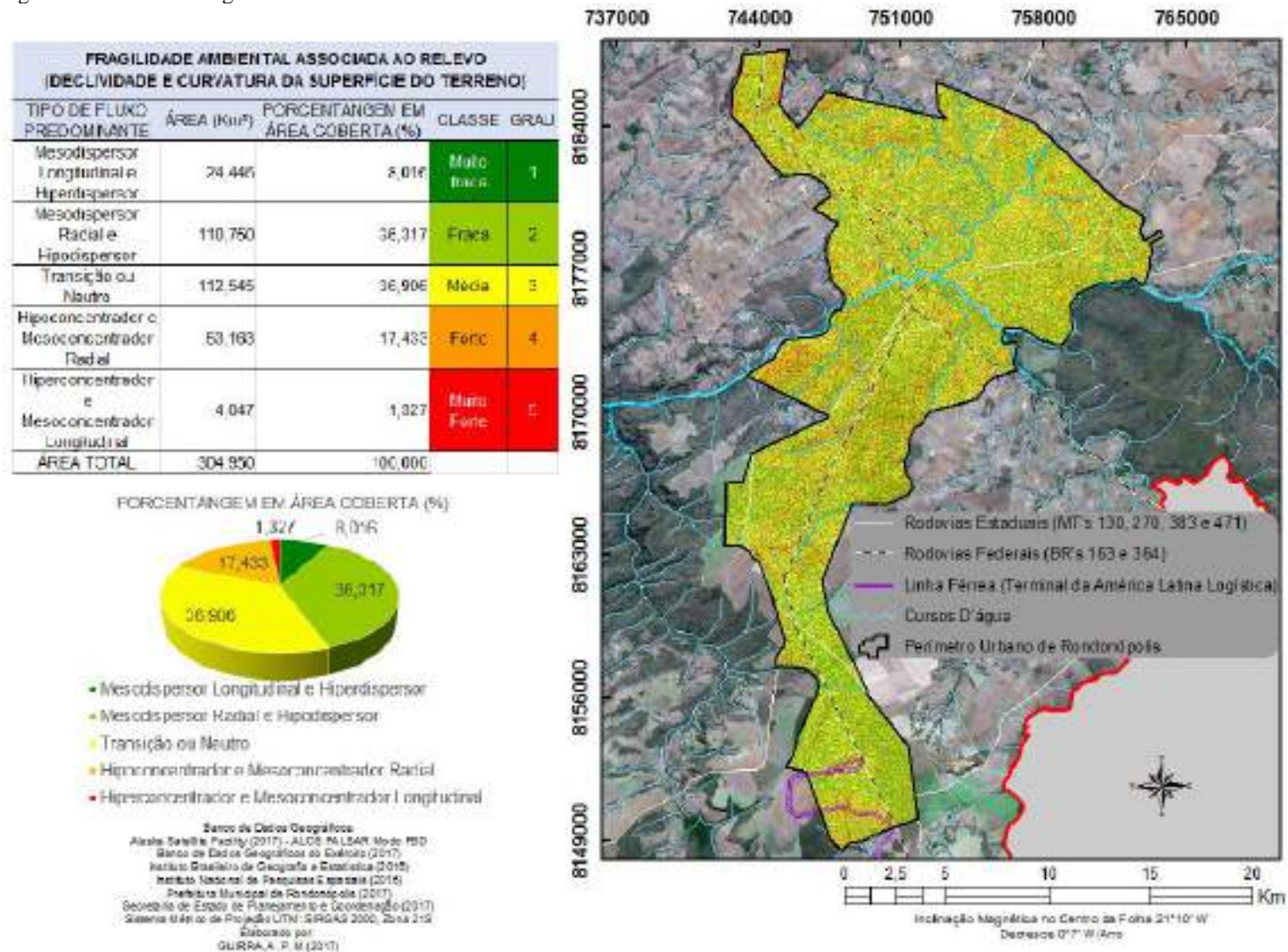
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.3 – Carta de fragilidade ambiental associada à curvatura vertical da superfície do terreno.



Fonte: GUERRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.4 – Carta de fragilidade ambiental associada ao relevo considerando a declividade e as formas do terreno.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

4.2 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À ERODIBILIDADE DAS ORDENS DE SOLO CONSIDERANDO OS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO

Verificou-se que há predomínio de Latossolos Vermelhos Eutróficos típicos, localizados em setores de urbanização efetivamente consolidada e locais destinados ao desenvolvimento de atividades ligadas à indústria, onde a drenagem é medianamente eficiente. Nestes setores ocorre impermeabilização do solo por asfaltamento e concretagem, onde o terreno apresenta declividades baixa à média, sendo deficiente em alguns locais a presença de equipamentos para controle de cheias, melhoria da infiltração e redução da velocidade do escoamento superficial da água pluvial nas vias de circulação, nos loteamentos e demais estabelecimentos. Neste caso a fragilidade é considerada muito baixa e corresponde a cerca de 43% de todo o PUR, o equivalente à 130 Km².

Os Latossolos Vermelhos Eutróficos argissólicos associados aos Latossolos Vermelhos Eutróficos típicos e Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos argissólicos ocorrem preferencialmente em setores de baixo grau de urbanização, em setores agroindustriais e de pastagem, contidos em áreas de baixa a média declividades. Estes possuem fragilidade baixa, correspondendo a cerca de 26% do PUR, com área de aproximadamente 79 Km².

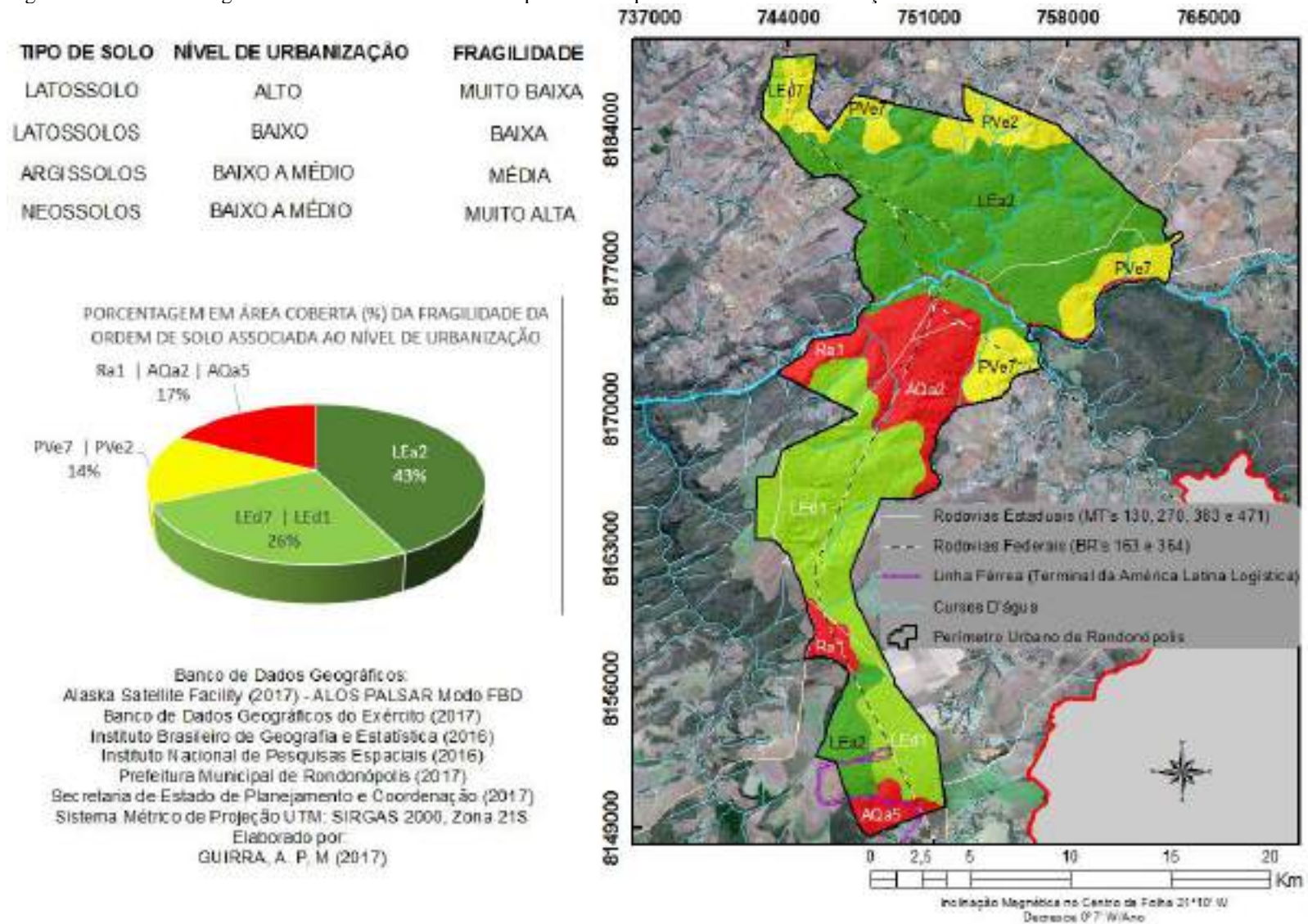
Neossolos Litólicos Distróficos fragmentários e Neossolos Quartzarênicos Órticos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos Ácricos húmicos, geralmente ocorrem sobrepostos à substratos de arenitos e siltitos, próximos à afloramentos rochosos quando em locais com declividade média a alta, além de depósitos aluvionares quando em declividades mais baixas á médias. Ocupam setores onde a malha urbana não consolidada, apresentando o solo exposto em área industrial com elevado fluxo de veículos de grande porte. Estes solos estão associados também a áreas onde há cultivo de culturas de ciclo curto, soja e milho na entressafra, especificamente, além de áreas destinadas ao plantio de eucaliptais. Verificou-se a predominância de solos remobilizados por atividades antrópicas, além de movimentos de massa nas margens dos rios Vermelho e Arareau, solos saturados em água, moles em áreas úmidas de veredas, ou friáveis quando secos. Atribuiu-se a estes solos, fragilidade alta, os quais correspondem a cerca de 17% do PUR, o equivalente a 53 Km² de toda extensão desta área.

Observou-se que os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos latossólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos abrúpticos plintossólicos ocorrem preferencialmente nas cabeceiras de nascentes ou próximos a drenagens, podendo estar associadas a áreas brejosas, em terrenos com declividade variando desde muito baixa à muito

alta declividade, quando estão no terço superior de colinas dissecadas com vertente côncava convergente. Estão associadas a setores de baixa eficiência na drenagem urbana, onde há elevado índice de vias não pavimentadas com solos expostos compactados por tração mecânica, devido ao fluxo de veículos e pessoas. Há nestas áreas, ocorrências pontuais de criação de bovinos, onde o pisoteio do gado, promove a aceleração dos processos de assoreamento. É comum a evidência de movimentos de massa do tipo rastejo e recalque de solos, próximo as margens dos cursos d'água. A fragilidade destes ambientes é média, correspondendo a cerca de 14% do PUR, ou seja, cerca de 43 Km².

Sendo assim, a Figura 4.5, demonstra a espacialização das fragilidades dos tipos de solo no PUR, levando-se em consideração os níveis de urbanização.

Figura 4.5 – Carta de fragilidade ambiental associada aos tipos de solo quanto ao nível de urbanização.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

4.3 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

Para a elaboração das cartas temáticas relacionadas aos parâmetros climáticos da chuva, necessitou-se calcular e espacializar, primeiramente, o coeficiente de chuva, o qual é expresso pela seguinte equação:

$$R_c = P_m^2/P_a$$

Onde:

R_c = Coeficiente de chuva.,

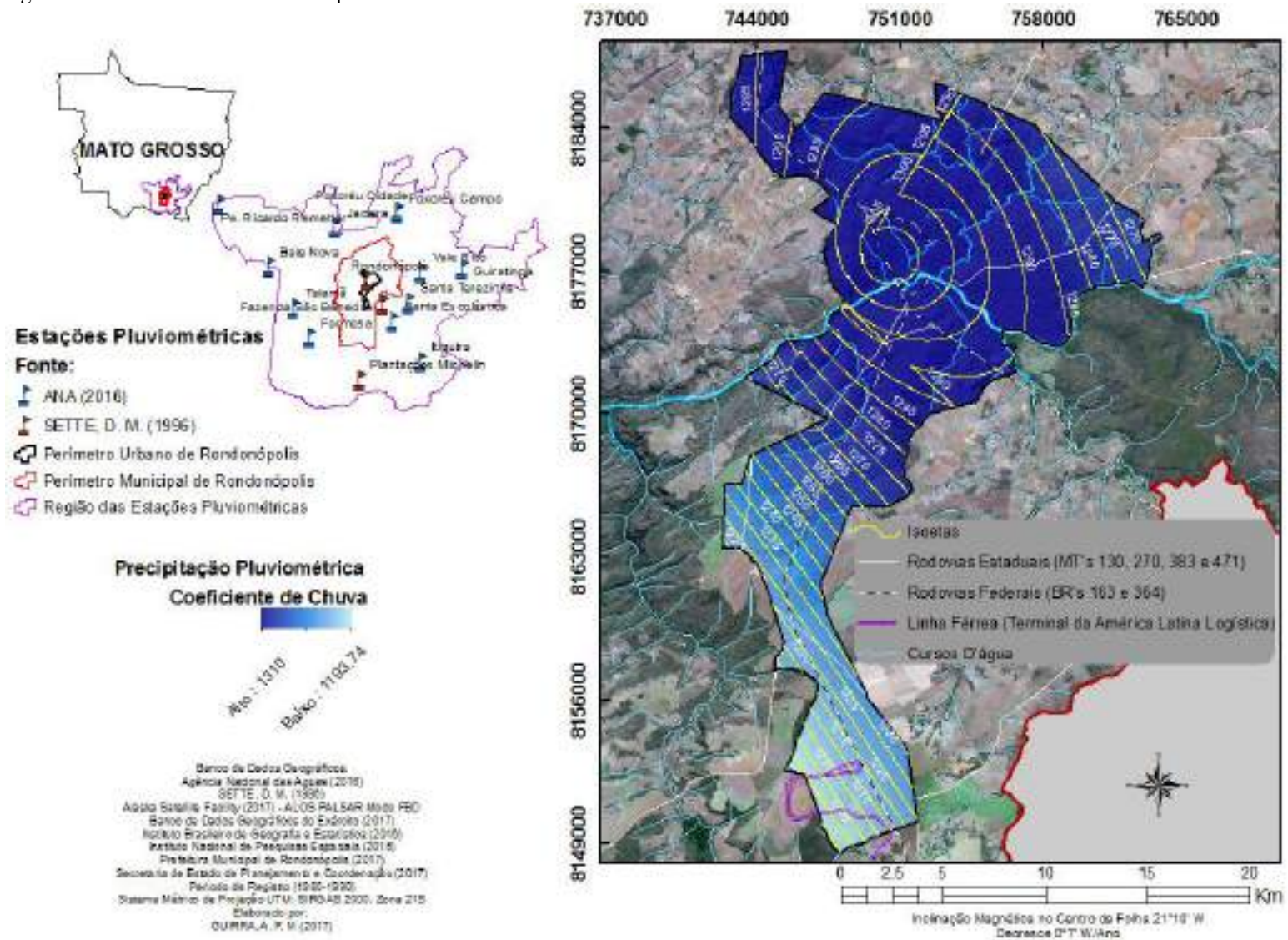
P_m = Precipitação média mensal (mm).,

P_a = Precipitação média anual (mm).

Este coeficiente serve como base do cálculo da erosividade da chuva, estabelecendo o contorno de isoerodentes e permitindo a segmentação em regiões pluviométricas homogêneas. Nota-se padrão ascendente no sentido sudoeste-nordeste (SW/NE) com o coeficiente de chuva apresentando amplitude de 116 mm, onde o menor valor é registrado no extremo sul do PUR com 1.194 mm, e os maiores valores encontram-se nos setores centro-oeste e norte, equivalente a 1.310 mm, região com malha urbana consolidada, exibindo padrão de isoetas contorcidos, de acordo com a Figura 4.6.

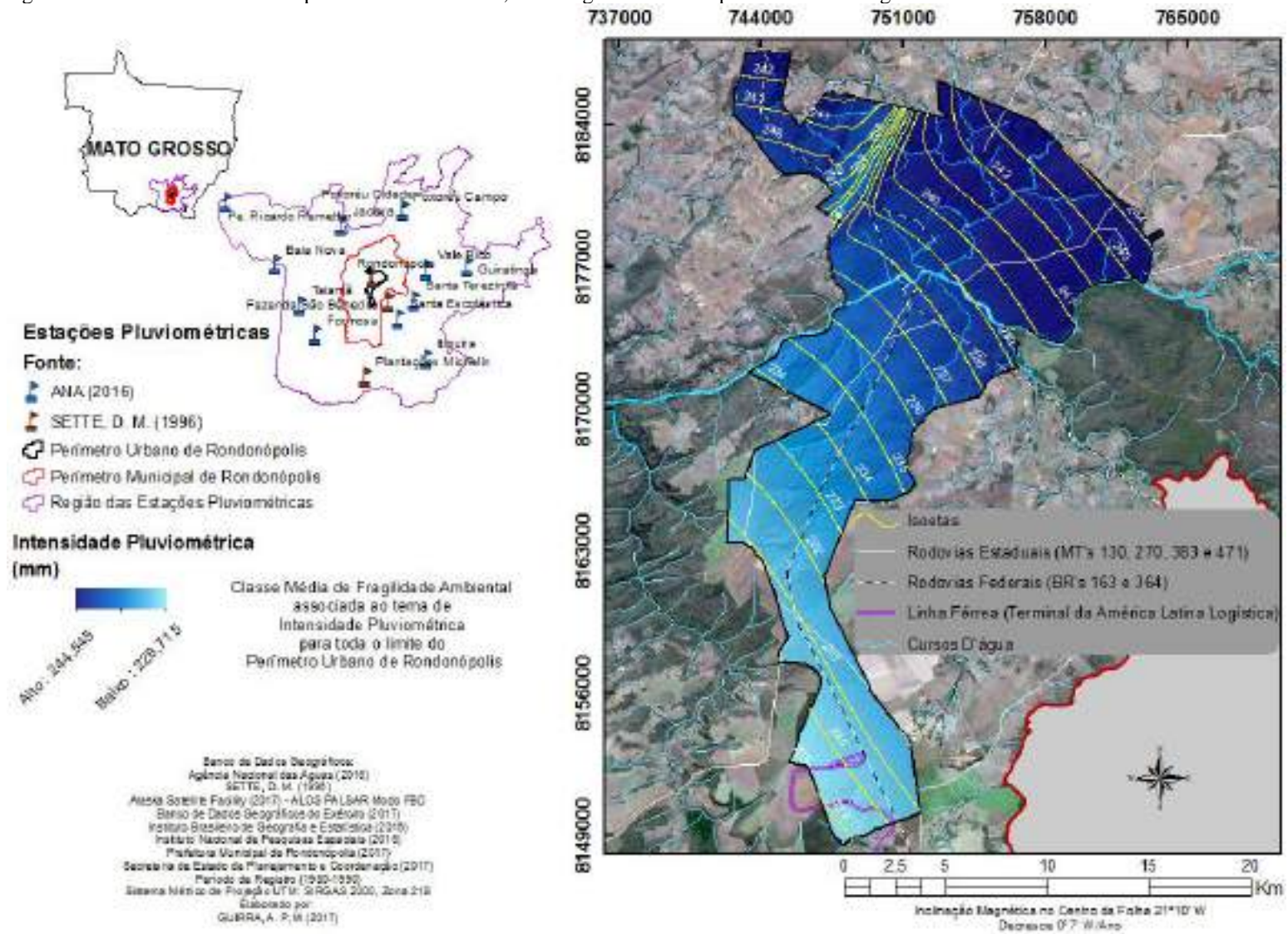
Considerando os intervalos de intensidade pluviométrica estabelecidos empiricamente por Crepani et al. (2001), e correlacionando diretamente estes valores com os graus e classes de fragilidade associada a esta variável geoambiental, averiguou-se que o regime de chuvas que opera sobre o território do PUR apresenta graus medianamente vulnerável, em seu nível mais baixo, próximo ao nível de vulnerabilidade moderadamente estável. Sendo assim, verificou-se que fragilidade para toda esta região do PUR se insere na classe média, conforme demonstra a Figura 4.7 e a Tabela 4.1.

Figura 4.6 – Carta de variabilidade espacial do coeficiente de chuva.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.7 – Carta da intensidade pluviométrica do PUR, com fragilidade média para esta variável geoambiental.



Fonte: GUERRA, A. P. M. (2017)

Tabela 4.1 – Fragilidade ambiental associada a intensidade pluviométrica, a qual informa o caráter do volume médio de chuvas que precipita em determinado terreno durante a estação chuvosa. *Intervalo de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica segundo Crepani et al. (2001).

FRAGILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADA À INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA				
*INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm)	ÁREA (Km²)	PORCENTAGEM EM ÁREA COBERTA (%)	CLASSE	GRAU
228 - 245	304,950	100,000	Média	3
ÁREA TOTAL	304,950	100,000		

Fonte: Adaptado e correlacionado por GUIRRA, A. P. M. (2017) para análise da fragilidade ambiental associada intensidade pluviométrica.

Neste modelo, ao considerarmos o período da estação úmida de 6 meses, estimado por Marcuzzo et al. (2011), a fragilidade ambiental associada à intensidade pluviométrica poderá alcançar classes alta somente se houver médias diárias maiores ou iguais à 1,94 mm ou médias mensais de 58,33 mm. Estas condições elevariam o potencial de carreamento de sedimentos tanto por fluxo laminar quanto por erosões lineares.

Verifica-se que nos meses onde há maior concentração de chuva, historicamente registrados pelas estações convencionais, referem-se aos meses de janeiro e fevereiro, períodos em que os fluxos de enxurradas, sobretudo nas vias não pavimentadas nos bairros periféricos do PUR se acentuam, impossibilitando em casos mais graves, fluxos de pessoas e veículos, agravando a acessibilidade do transporte público (ônibus).

4.4 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À EROSIVIDADE

Nesse mesmo sentido, quando se executou a correlação da erosividade com graus e classes de fragilidade, utilizando-se das equações de erosividade estimadas para as regiões pluviométricas do Mato Grosso (equações a e b), de acordo com Almeida (2009), foi conferido quali-quantitativamente, que este parâmetro de chuva assume no território do PUR, valores medianos de fragilidade, do mesmo modo que a intensidade pluviométrica, tal como exposto na Tabela 4.2.

$$a) EI_{30} = 244,47 \times R_c^{0,508} \text{ (Sul)}$$

$$b) EI_{30} = 126,76 \times R_c^{0,464} \text{ (Centro)}$$

Tabela 4.2 – Fragilidade ambiental associada ao potencial de erosividade da chuva no PUR.

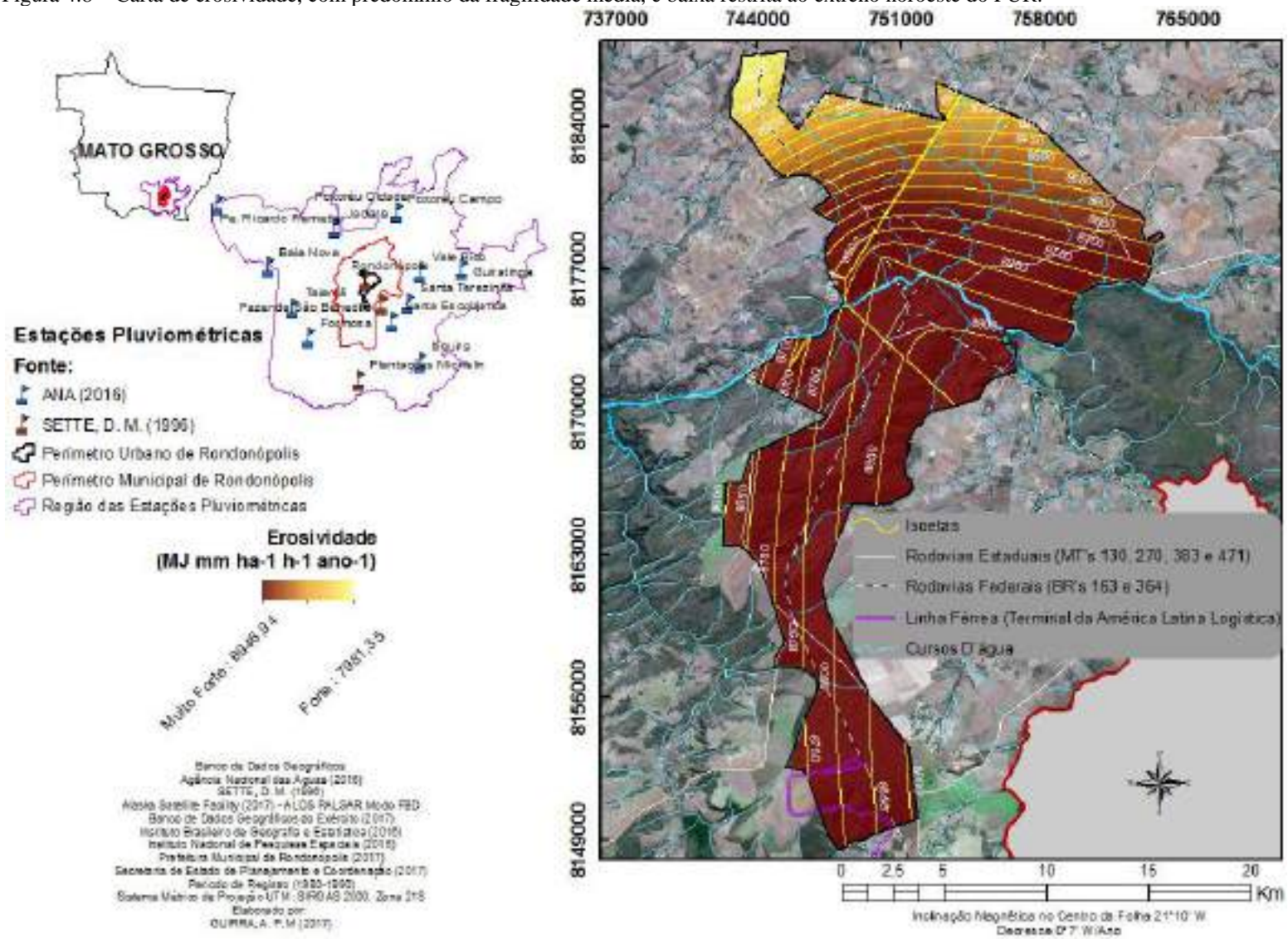
FRAGILIDADE AMBIENTAL QUANTO AO POTENCIAL DE EROSIVIDADE					
ÁREA (Km ²)	PORCENTAGEM EM ÁREA COBERTA (%)	CLASSE DE EROSIVIDADE	VALORES INTERVALARES DE EROSIVIDADE (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	CLASSE	GRAU
0,000	0,000	Moderada	0-4000	Muito fraca	1
0,852	0,280	Forte	4000-8000	Fraca	2
304,098	99,720	Muito Forte	8000-12000	Média	3
0,000	0,000	Alta	12000-16000	Forte	4
0,000	0,000	Muito Alta	16000-20000	Muito forte	5
304,950	304,950	TOTAL			

Fonte: Adaptado e correlacionado por GUIRRA, A. P. M. (2017) para análise da fragilidade ambiental associada à erosividade.

A Figura 4.8 ilustra a espacialização da erosividade no PUR, por meio da qual se identificou na quase totalidade deste espaço urbano (99,7%), padrões muito fortes de erosividade, os quais equivalem a valores médios de fragilidade, enquanto que uma estreita faixa no extremo norte do PUR, correspondente ao setor de topo de colina aguçada, que divide as bacias hidrográficas do rio Vermelho e São Lourenço, apresenta valores de erosividade consideradas forte, ou ainda, fragilidade fraca para o mesmo tema (cerca de 0,3%).

Sendo assim, para que houvesse classes de fragilidades fortes relacionadas a esse elemento climático, o coeficiente de chuva, ou seja, a relação entre a média da precipitação pluviométrica mensal e a média da precipitação média anual, deveria ser igual ou superior à 2.131, o que não corresponde ao padrão climatológico evidenciado no PUR, possuindo valores abaixo de 1310 para o coeficiente de chuva (R_c).

Figura 4.8 – Carta de erosividade, com predomínio da fragilidade média, e baixa restrita ao extremo noroeste do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

4.5 CARTA DE FRAGILIDADE AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS GRUPOS DE ROCHAS E DEMAIS MATERIAIS GEOLÓGICOS QUANTO À RESISTÊNCIA MECÂNICA A EROSÃO

A rocha que cobre maior parte do PUR são os folhelhos, siltitos e argilitos intercalados em estratificação plano-paralela pertencentes à Formação Ponta Grossa, com cerca de 42% em área, o equivalente à 127 km². Esta rocha encontra-se intensamente fraturada, possui caráter físsil, com compacidade variando desde semi-compacta a friável. Observou-se em campo que a mesma possui resistência mecânica a erosão menor do que o arenito, e que a intercalação entre as camadas com texturas variando entre argila e areia grossa, promovem elevado contraste de competência, influenciando a percolação de fluidos nos interstícios da rocha, bem como promovendo a erosão diferencial no contorno das superfícies de estratificações. É comum a presença de fraturas incidentes em várias direções na rocha intemperizada, podendo haver preenchimento por cimento silto-arenosos ou argilo-siltosos nestas fraturas. Avaliou-se esta rocha com fragilidade alta (4), tendo em vista as características geotécnicas que implicam na maior facilidade à desagregação e fragmentação destes maciços rochosos e consequentemente oferecendo menor resistência à erosão.

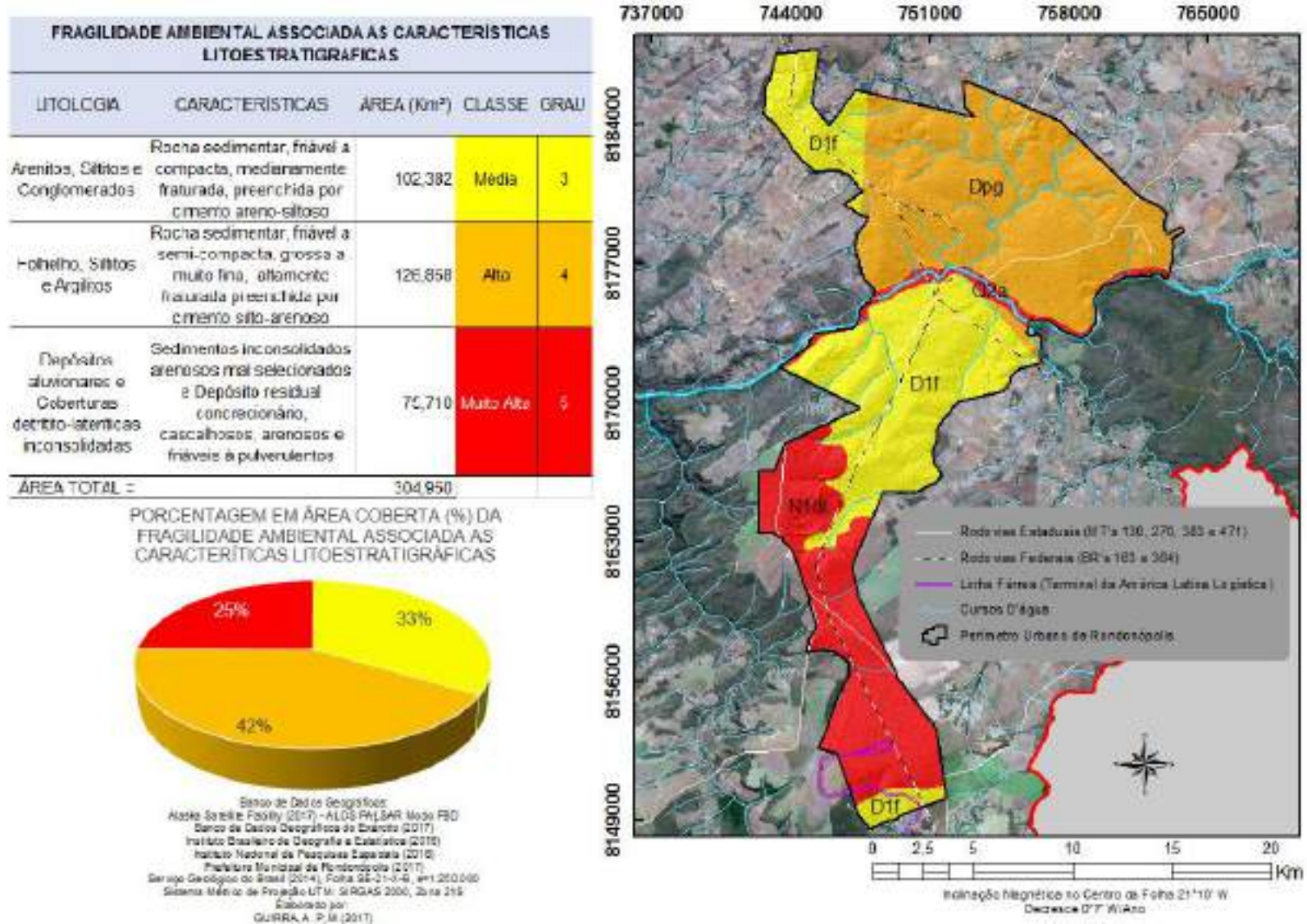
Verificou-se a ocorrência de arenitos quartzosos, com textura variando desde muito fina a muito grossa, estratificados e intercalados com siltitos e finas camadas de conglomerados, apresentando-se geralmente fraturado. Esta rocha pertencente à Formação Furnas ocupa cerca de 102 Km² do PUR, o equivalente à 33% de todo este território, onde a fragilidade mecânica a erosão deste tipo de rocha sedimentar é avaliada como média (3).

As coberturas detrito-lateríticas inconsolidadas, associadas aos solos residuais estão dispostas nos setores do PUR com baixo adensamento urbano, em áreas de planalto onde se executa atividades agroindustriais, com predomínio de declividades baixas. Identificou-se horizontes cimentados por óxidos de ferro e alumínio hidratados, formando camadas compactas em vertentes retilíneas convergentes, as quais favorecem o escoamento superficial com carreamento de material alterado inconsolidado. Sendo assim, enquadrou-se esta unidade litoestratigráfica em classe de fragilidade muito alta (5), tendo em vista ainda que, em campo observou-se elevado grau de incidência de erosão nesta unidade geológica. Esta superfície de aplainamento pertencente à Formação Pantanal cobre cerca de 66 Km² do PUR, o que equivale a aproximadamente 22% desta área.

Quanto aos depósitos aluvionares cartografados margeando o rio Vermelho, atribuiu-se classe de muito alta fragilidade (5), tendo em vista a presença de sedimentos friáveis, ou

encharcados quando submetidos a episódios de enchentes ou alagamentos com periodicidade não definida, possuindo elevada permeabilidade e porosidade em seus interstícios. Estes sedimentos são altamente dinâmicos, ocorrendo a migração dos depósitos arenosos laterais ao longo das margens deste rio, tanto pela ação da água quanto pelo vento. Esta unidade litoestratigráfica associa-se às barras laterais arenosas recentes da planície fluvial do rio Vermelho, estando estes sedimentos mal selecionados, com contato frouxo entre os grãos de quartzo, podendo haver minerais de goethita, fragmentos de rochas, sílexito e níveis mais grosseiros variando de grânulos à cascalhos, atestando oscilações do potencial energético de carreamento do rio Vermelho em períodos de maior vazão. Este compartimento corresponde à cerca de 3% do PUR, o equivalente a 9 Km³ deste território, estendendo-se no setor central do PUR com orientação leste oeste, conforme Figura 4.9, apresentando crescente pressão demográfica na ocupação das suas margens, sobretudo pela especulação imobiliária com a abertura de novos condomínios.

Figura 4.9 – Carta de fragilidade ambiental associada a resistência mecânica a erosão dos grupos de rochas.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

4.6 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À DENSIDADE DE DESCONTINUIDADES GEOLÓGICA-ESTRUTURAIS

Verificado a necessidade de se avaliar no ambiente físico-territorial do PUR, elementos de subsuperfície com condicionam graus e classes de fragilidade à processo erosivos, e sabendo-se que estes elementos têm aplicabilidade em diagnósticos de aptidão à urbanização (SOBREIRA e SOUZA, 2012), cartografou-se as descontinuidades geológica-estruturais existentes, especificamente os lineamentos estruturais, segmentando-os em 8 (oito) intervalos de direção em relação ao norte (NE e NW), bem como checou-se onde estes lineamentos se interceptavam.

Oriundo da análise anteriormente efetuada espacializou-se as zonas de densidade de lineamentos estruturais, bem como as zonas de densidade de cruzamentos/interseções destes lineamentos, utilizando-se para isso estimadores de densidade linear e densidade de Kernel.

Observou-se que o intervalo azimutal que apresenta muito alta persistência de incisão de descontinuidades geológica-estruturais na superfície do terreno corresponde ao quadrante $22,5^{\circ}$ - $45,0^{\circ}$ NE. O quadrante $90,0^{\circ}$ - $67,5^{\circ}$ NW, por sua vez apresentou persistência alta, enquanto que os quadrantes $67,5^{\circ}$ - $90,0^{\circ}$ NW, $67,5^{\circ}$ - $90,0^{\circ}$ NE, $0,0^{\circ}$ – $22,5^{\circ}$ NW e $0,0^{\circ}$ – $22,5^{\circ}$ NE apontaram média persistência. Já o quadrante azimutal $45,0^{\circ}$ - $67,5^{\circ}$ NE demonstrou baixa persistência de descontinuidades geológica-estruturais, enquanto que o quadrante $22,0^{\circ}$ - $45,0^{\circ}$ NE apresentou no terreno, muito baixa persistência, comparativamente as demais direções de lineamentos.

A Tabela 4.3 simplifica o exposto acima, atribuindo classes de persistência conforme o intervalo azimutal, comprimento e frequência das descontinuidades geológica-estruturais verificadas no PUR, a partir da extração semiautomática com o uso de SIG e imagem de radar ALOS PALSAR com 12,5 metros de resolução espacial.

Tabela 4.3 – Classificação da persistência das descontinuidades geológica-estruturais por intervalo azimutal, considerando o comprimento e a frequência dos lineamentos incidentes no PUR.

Classificação da persistência de descontinuidades geológica-estruturais em relação ao intervalo azimutal					
Quadrante	Ângulo Inicial - Ângulo Final	Comprimento (m)	Frequência (n)	Comprimento x Frequência (m)	Persistência
NE	0,0 – 22,5	9015	68	613020	Média
NE	22,5 – 45,0	88437	59	5217783	Muito Alta
NE	45,0 – 67,5	1091	62	67642	Baixa
NE	67,5 – 90,0	25804	21	541884	Média
NW	67,5 – 90,0	52480	47	2466560	Alta
NW	45,0 – 67,5	42788	21	898548	Média
NW	22,5 – 45,0	1508	13	19604	Muito Baixa
NW	0,00 – 22,5	7264	82	595648	Média

COMPRIMENTO TOTAL DAS DESCONTINUIDADES = 10420689

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

A Figura 4.10 demonstra a espacialização das descontinuidades geológica-estruturais segmentadas por intervalos azimutais, bem como a densidade e persistência de cada família de lineamentos e a densidade acumulada das interseções destes no PUR.

Quando se associa a densidade de descontinuidades geológico-estruturais do PUR à classes e graus de fragilidade, percebe-se que, cerca de 2% da área total do deste território está inserido em zonas de fragilidade ambiental muito forte, para este tema, o equivalente a 4,5 km². Aproximadamente 9% do PUR, possui fragilidade forte, ou seja, densidade alta de descontinuidades geológica-estruturais, o que corresponde a cerca de 28 km². As fragilidades médias refletiram por volta de 61 km², o que cobre cerca de 20% do PUR. Baixas densidades de descontinuidades representaram 35% de território, cerca de 106 Km², enquanto as muito baixas densidades ou fragilidades fracas, corresponderam a 34%, ou seja, 105 km². Estes resultados podem ser verificados na Figura 4.11, a qual confirma o exposto acima.

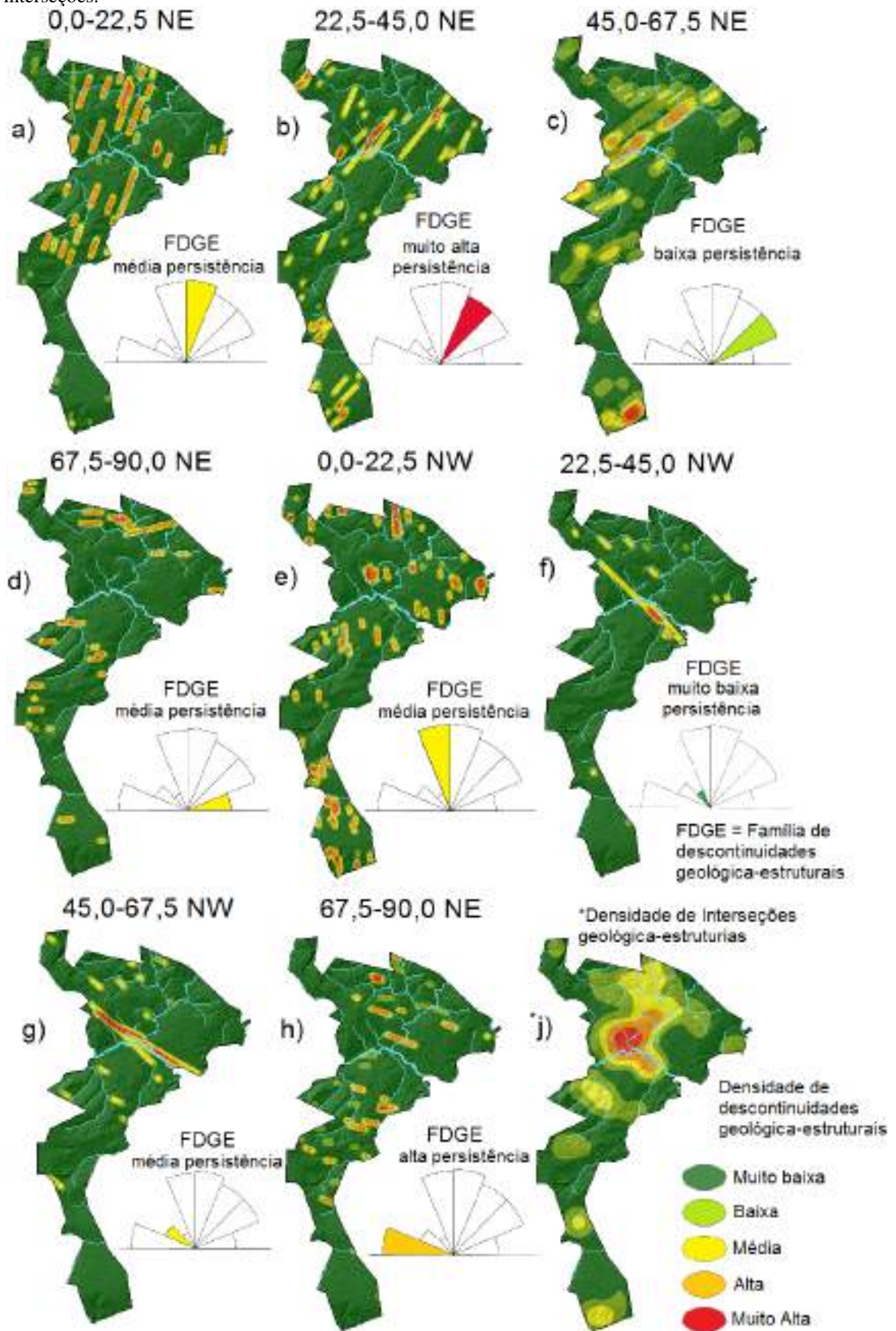
4.7 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS À DENSIDADE DE INTERSEÇÕES DE DESCONTINUIDADES GEOLÓGICA-ESTRUTURAIS

Na estimativa de densidade de interseções geológica-estruturais verificou-se que, cerca de 2%, ou 7 Km² do PUR apresentam fragilidades muito fortes, enquanto que, aproximadamente 13,5 km² ou 4% deste território está sujeito a fragilidades fortes, as quais equivalem a zonas de densidades elevadas. As fragilidades médias desta variável geoambiental cobrem o equivalente à 42,5 km² do PUR, o correspondente a 14% da área total. Baixas densidade de interseções das descontinuidades geológico-estruturais, participam com 28%, ou

seja, 84 Km² da área total do PUR, enquanto que 158 Km², ou ainda, 52%. Nesse sentido, a Figura 4.12 expressa os resultados descritos acima.

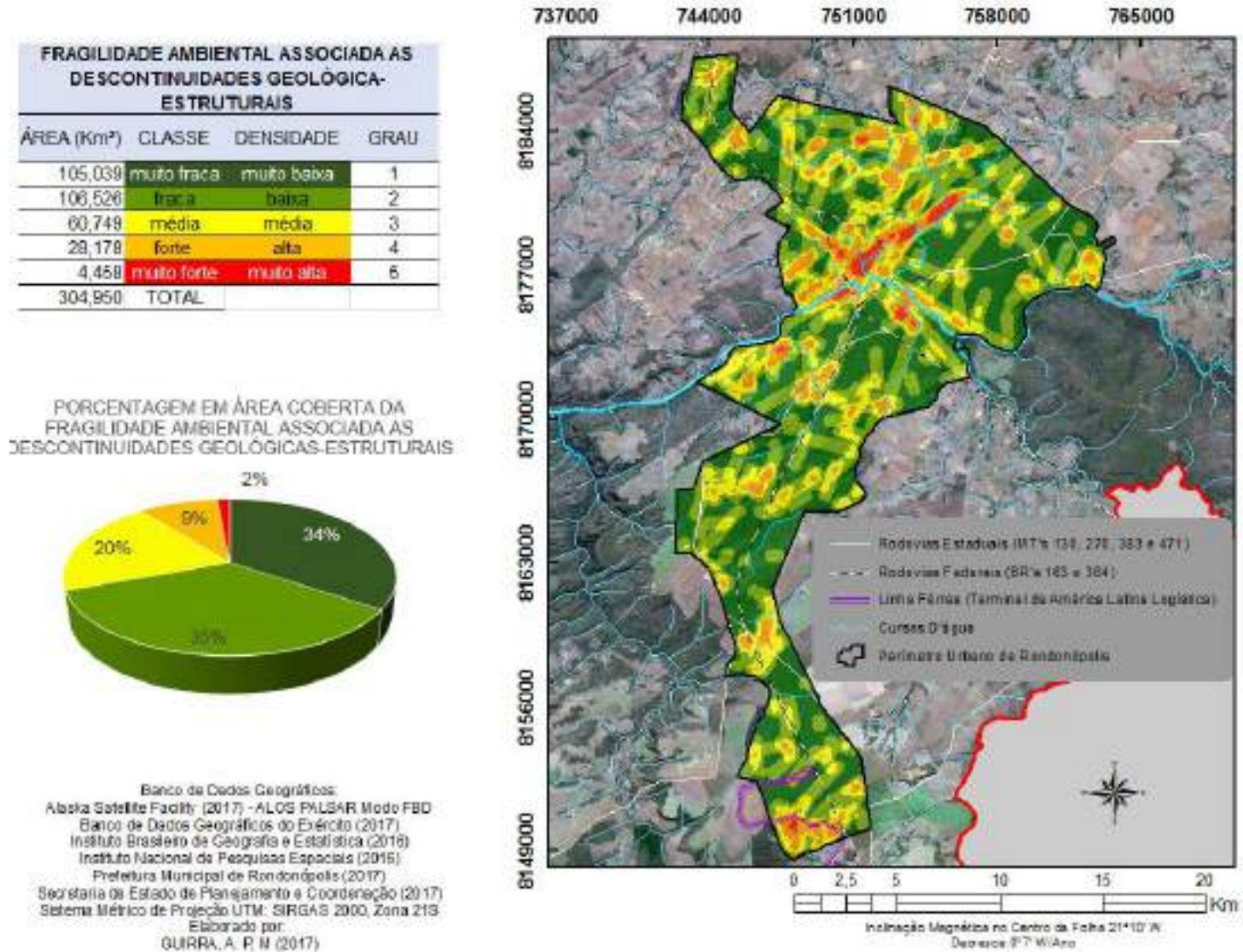
A influência das variáveis de descontinuidades geológica-estruturais (densidade linear e densidade de interseções) pode ser mais bem observada nas Figuras de 4.13 a 4.15.

Figura 4.10 – Família de descontinuidades geológica-estruturais classificadas por intervalos azimutais e considerando a densidade e persistência (comprimento x frequência) dos lineamentos e densidade das interseções.



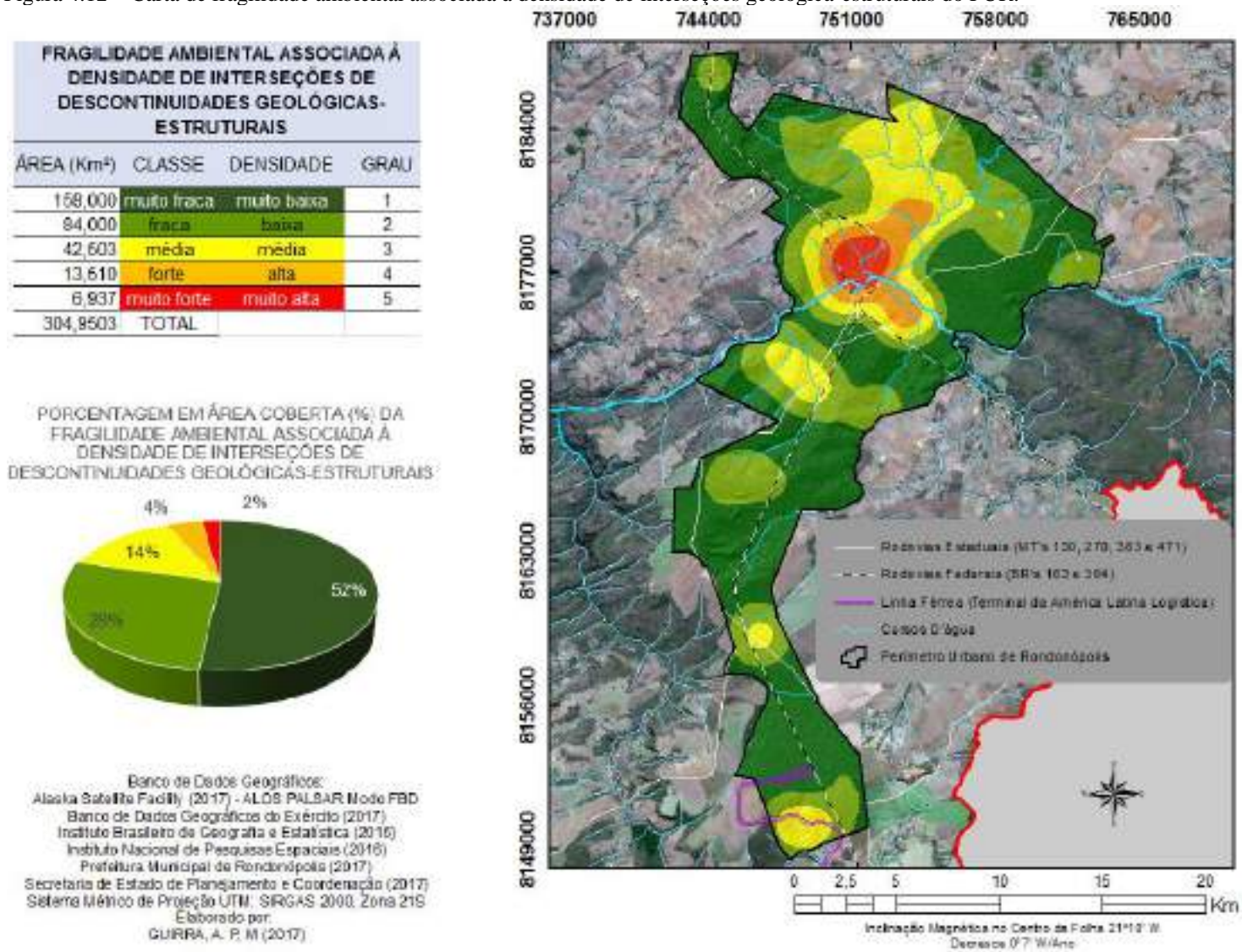
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.11 – Carta de fragilidade ambiental associada a densidade de descontinuidades geológica-estruturais do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.12 – Carta de fragilidade ambiental associada à densidade de interseções geológica-estruturais do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.13 – Fotografia de afloramento exposto falha normal de pequeno rejeito, onde a esquerda ocorre arenito pertencente a Formação Furnas, a direita siltito e arenito intercalados da Formação Ponta Grossa, no centro escorregamento e no topo depósito de colúvio detrítico.



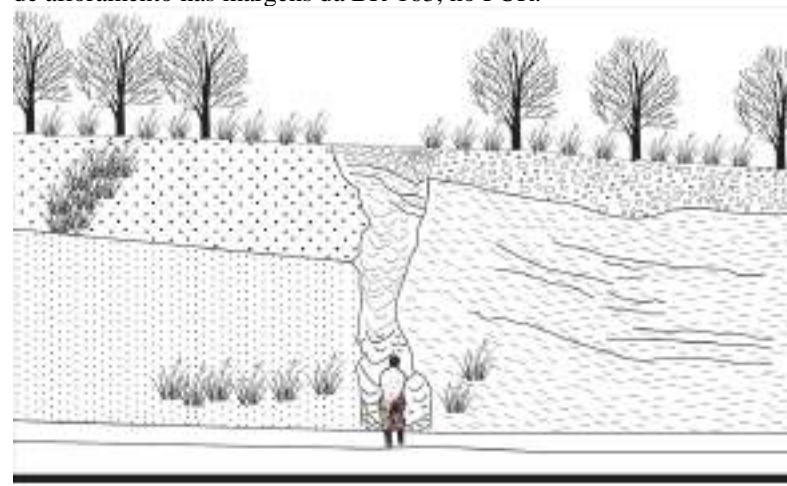
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.15 – Movimento de massa de deslizamento rotacional, no talvegue do Córrego Escondidinho, setor extremo centro-oeste do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)


Figura 4.14.1 – Esquema representativo da Figura 4.13, demonstrando como regiões com discontinuidades geológica-estruturais impulsionam o desenvolvimento de processos de instabilidade do meio físico. Exposição de afloramento nas margens da BR-163, no PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.14.2 – Legenda da Figura 4.14.1.

LEGENDA

-  Movimento de massa do tipo escorregamento, composto por sedimentos inconsolidados areia-siltito-argilosos e fragmentos de colúvio detrítico, arenito e siltito
-  Colúvio detrítico, constituído por sedimentos inconsolidados: areia-quartzosas média à grossa e fragmentos de arenito lamarinho-cascalho à calhaus
-  Siltito, argilito e arenito fino à médio-arenoso fino à grossa com estratificação plana-paralela, deformadas por tectonismo
-  Arenito-quartzoso médio-branco-arenoso fino à muito-grosso com estratificação plana-paralela
-  Arenito-quartzoso médio-branco-arenoso fino à grossa com estratificação plana-paralela

Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

4.8 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS ASSOCIADAS AOS NIVEIS DE URBANIZAÇÃO E GRAU DE PROTEÇÃO E COBERTURA DO SOLO

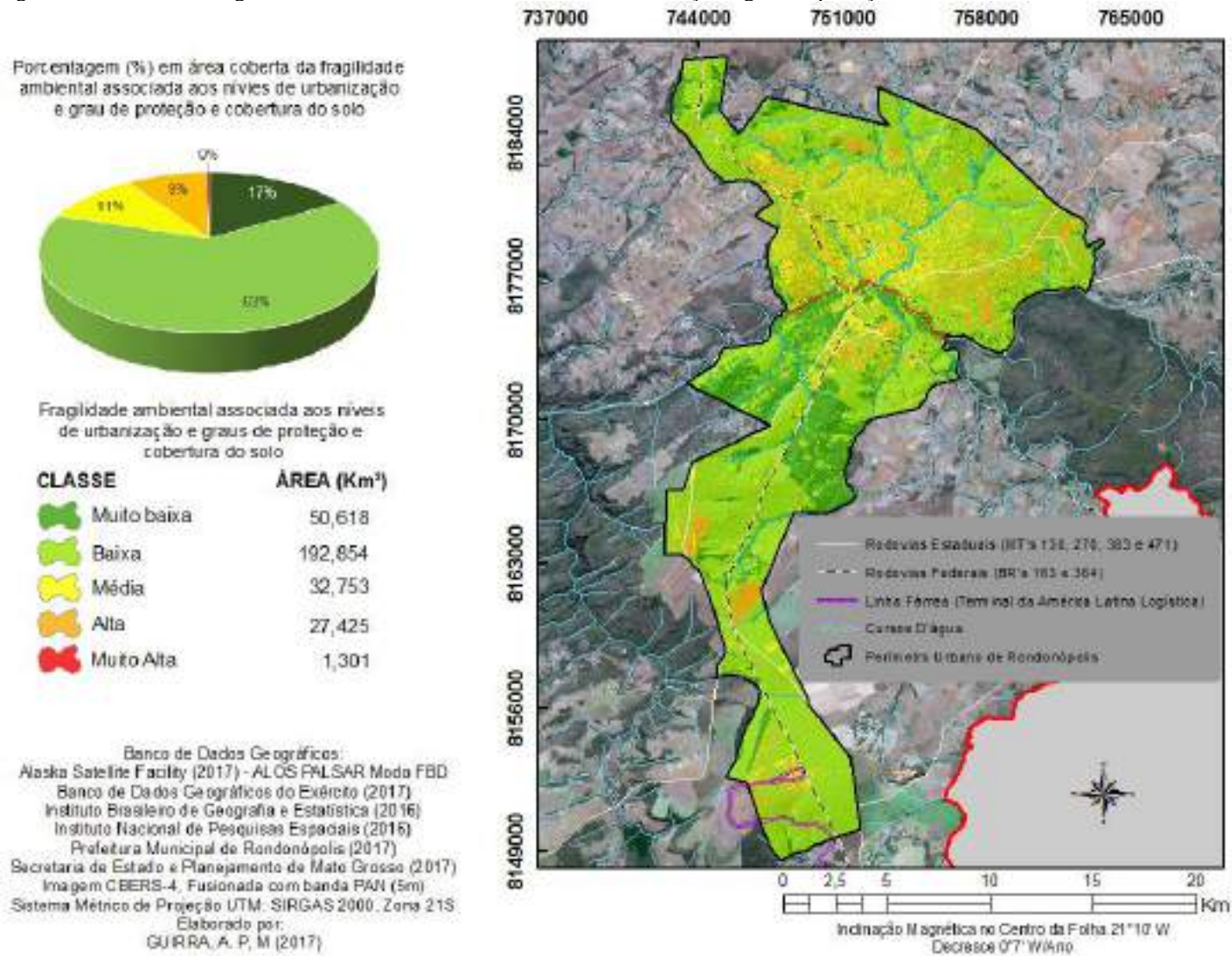
Reconheceu-se que grande parte do PUR, cerca de 193 Km², ou seja, 63%, está inserido em área onde a malha urbana não está consolidada, com solo permeável a semipermeável, com declividades variando de muito baixa a muito alta. Nestes setores ocorrem gramíneas, arbustos e plantações de culturas de ciclo curto (soja e milho na entressafra), ao longo de curvas de nível e terraceamentos, com fragilidade baixa.

Outros 17% do PUR, equivalentes à 51 Km², correspondem fragilidade muito baixa, e são constituídos por setores que apresentam formações arbustivas e arbóreas com estrato herbáceo denso, geralmente com baixa à médio nível de urbanização, em áreas de baixa declividade. Verifica-se usos de reflorestamento e/ou florestamento, além de drenagem eficiente favorecida pelo estrato vegetal bem desenvolvido, onde há o predomínio da infiltração e minimização do escoamento superficial.

As regiões com fragilidade média, representaram o equivalente à 11% de todo o território do PUR, ou seja, 33% aproximadamente. Estas áreas possuem malha urbana efetivamente consolidada, com baixa a média eficiência de drenagem, com presença de asfaltamento e solo totalmente impermeabilizado, onde há recorrência de episódios de alagamentos por mais de uma vez ao ano. Predomínio de baixas declividades, média presença de equipamentos para controle de cheias, infiltração e redução do escoamento nas vias de circulação, nos lotes e nas construções. Fragilidades altas desta variável geoambiental constituíram aproximadamente 27 Km², o correspondente a cerca de 9% da área do PUR, são setores onde ocorrem malha urbana consolidada e não consolidada, associada a fragmentos de solos expostos, onde há recorrência, por mais de uma vez ao ano, de fluxos concentrados de enxurradas na forma de lama e detritos, nos períodos de chuvas intensas, podendo em algumas ocasiões impedir e/ou dificultar o fluxo de veículos e pessoas.

Já cerca de 1,3 km² do PUR, ou seja, 0,004 % representam classes de fragilidade muito alta e são identificados como áreas onde ocorrem corpos d'água, áreas urbanizadas susceptíveis à inundações e/ou alagamentos sazonais, com declividade média a muito forte incorporados ao sistema de drenagem. Situados em ambiente de planície fluvial e terraços colúvio-aluvionares, com presença de bancos arenosos, pulverulentos ou colapsíveis nas suas margens dos cursos d'água. Locais onde ocorrem o pastoreio/pisoteio de gado, sobretudo nas zonas periféricas a malha urbana consolidada. Correspondem a águas fluviais com elevada turbidez e recorrência de descartes de resíduos sólidos em seus tributários. Verificar o exposto acima, conforme apresentado na Figura 4.16 abaixo:

Figura 4.16 – Carta de fragilidade ambiental associada ao nível de urbanização e grau de proteção e cobertura do solo.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

4.9 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS POTENCIAIS

Quando se analisa a influência das variáveis geoambientais sem interferência das formas de uso e ocupação do solo, percebe-se que cerca de 57% do PUR, ou seja, aproximadamente 173 km² se insere nos domínios de fraca fragilidade, enquanto que, 26%, ou ainda, 82 Km² ocupam o terreno com classes de fragilidade média.

Já fragilidades muito fracas, correspondem a aproximadamente 15% do PUR, cerca de 46 Km², sendo que fragilidades fortes abrangem um pouco mais que 1%, equivalendo a 3,4 km². Verificou-se que não houve ocorrência de fragilidades muito fortes no condicionamento de processos erosivos, quando se integra e pondera as diversas variáveis geoambientais consideradas neste estudo.

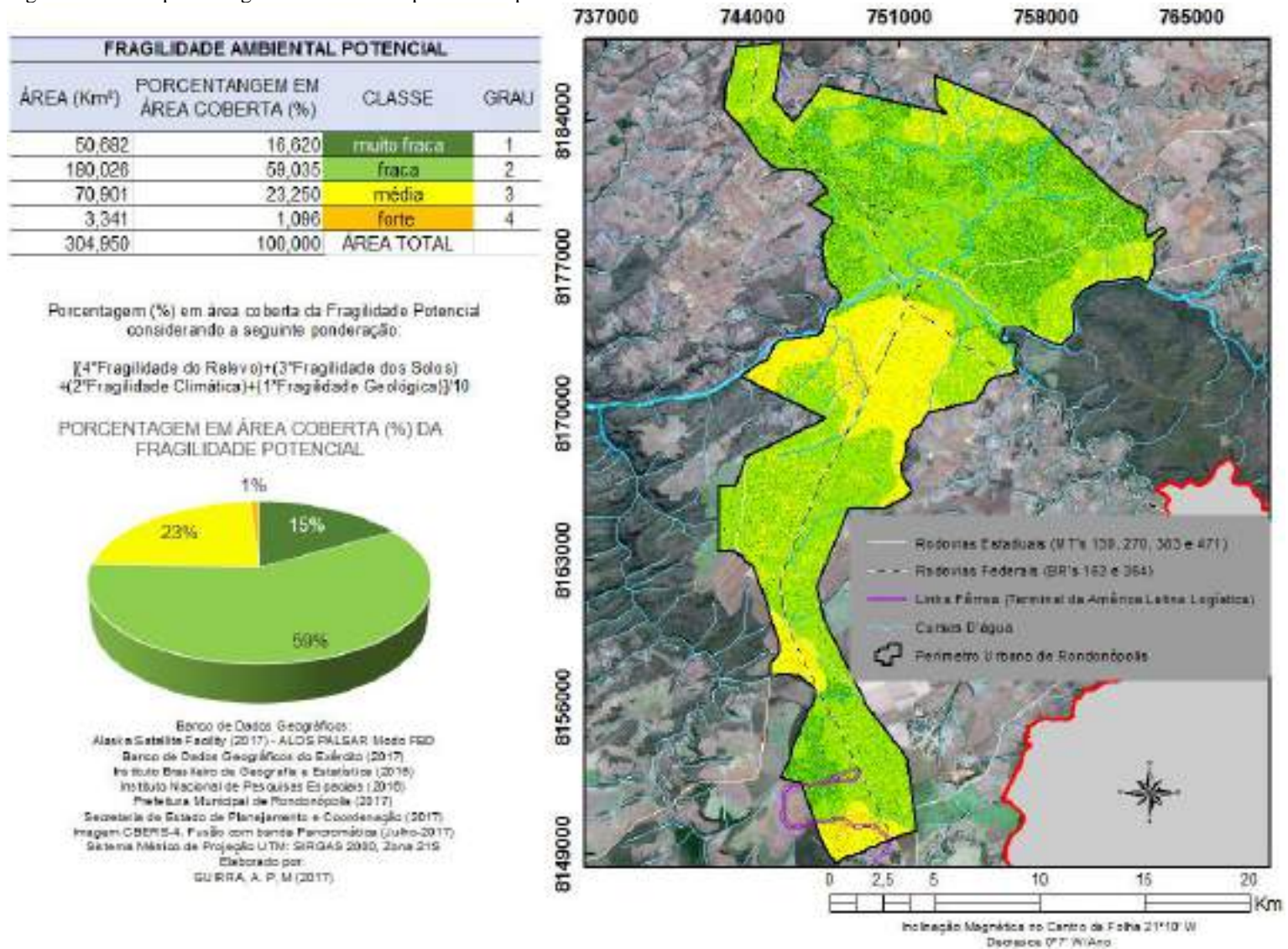
A Figura 4.17 corrobora o exposto acima, com o mapa sintético de fragilidade ambiental potencial do PUR.

4.10 CARTA DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS EMERGENTES

Ao considerarmos a influência dos níveis de urbanização e grau de proteção e cobertura do solo, diante das fragilidades potenciais do ambiente, verificou-se que houve o predomínio da classe de fragilidade emergente fraca, apresentando cerca de 61 % em área do PUR, o que equivale a 185 km² aproximadamente. A segunda classe de fragilidade emergente de maior expressão em área foi a fraca, com 21%, ou seja, equivalente à 64 Km².

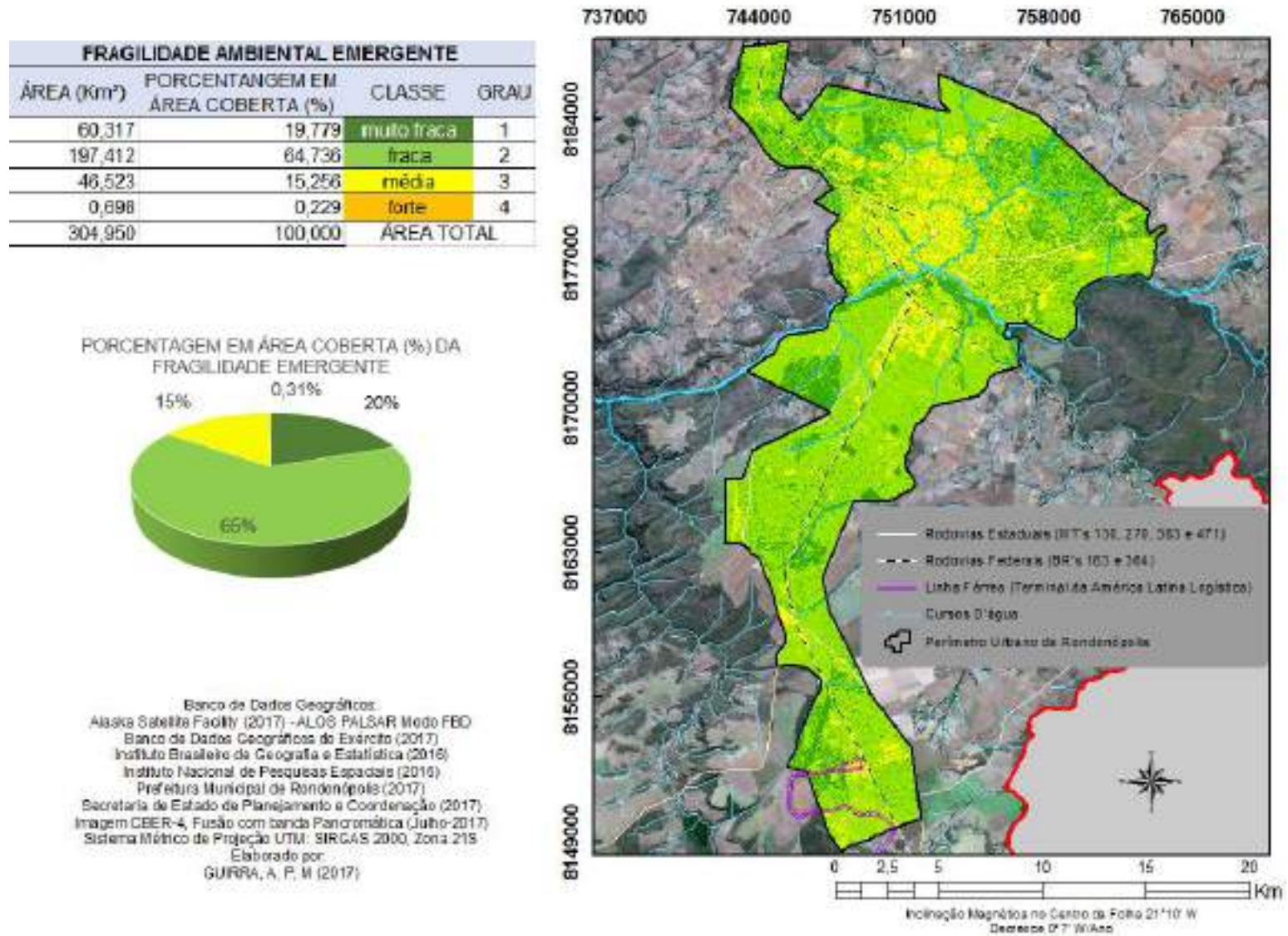
As fragilidades médias corresponderam a cerca de 18%, com área de 55 Km² aproximadamente. Já as fragilidades fortes expressaram uma área de cerca de 0,929 km², ou ainda, 0,305%. Não houve ocorrência de fragilidades extremas, muito fortes, considerando as variáveis geoambientais abordadas neste estudo, tal como demonstrado na Figura 4.18.

Figura 4.17 – Mapa de fragilidade ambiental potencial a processos erosivos lineares do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.18 – Mapa de fragilidade ambiental emergente a processos erosivos lineares do PUR.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

De uma maneira genérica, quando se compara as situações apresentadas pelos mapas de fragilidade potencial com a emergente, denota-se que a conformação das formas de uso e ocupação favorecem a atenuação das fragilidades em alguns setores do PUR, sobretudo aqueles onde há cobertura vegetal densa de portes arbóreos, arbustivos ou nas regiões de cultivo de monoculturas com práticas conservacionistas do solo.

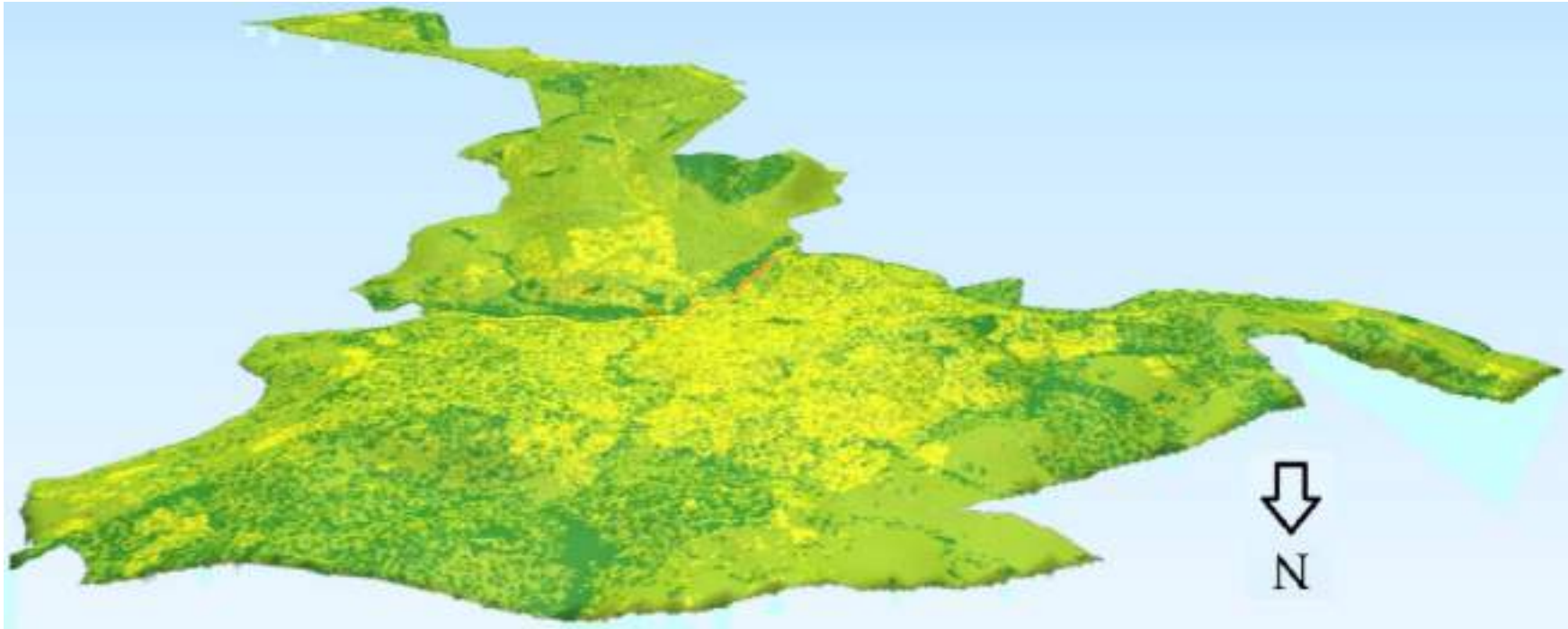
Em contrapartida a relação entre fragilidades potenciais e emergentes no PUR, nos setores onde transcorre a malha urbana efetivamente consolidada houve acentuação das fragilidades aos processos erosivos lineares. Esse aspecto deve-se ao fato de que nas áreas construídas do PUR a impermeabilização das vias de circulação por asfaltamento confluindo ou convergindo com vias não pavimentadas (solo exposto compactado) configuram áreas com maior tendência a incidência e/ou evolução das erosões. Nestes casos, os fluxos de enxurradas, causados pelo escoamento concentrado, tendem a ter alto potencial de erosão, causando prejuízos significativos ao poder público municipal e as famílias.

Verifica-se que há elevada produção de sedimentos para os canais de drenagens, especialmente na estação úmida, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os que historicamente registraram os maiores volumes acumulados de chuva para a série temporal analisada. As medidas preventivas relativas aos eventos sazonais de enxurradas, alagamentos, movimentos de massa, erosões e inundações, portanto, devem ser implementadas no período seco (abril a setembro), priorizando aquelas áreas com históricos recorrentes destes tipos de desastres naturais.

A planície colúvio-aluvionar que bordeja o vale fluvial do rio Vermelho foi subestimada nos resultados das fragilidades potencial e emergentes, devido a baixa intensidade das cartas litoestratigráficas e pedológicas, as quais restringiram a ocorrência destas fácies sedimentares recentes com material semi-consolidado a inconsolidado a estas porções do terreno. Nesse sentido, a escala de 1:250.000 não se demonstrou adequada para o detalhamento das fragilidades aos processos erosivos lineares na área urbana, contudo o mesmo serve como indicativo de áreas prioritárias a investigação e detalhamento progressivo, servindo como modelo preditivo nas ações futuras de mapeamento ou análise em campo.

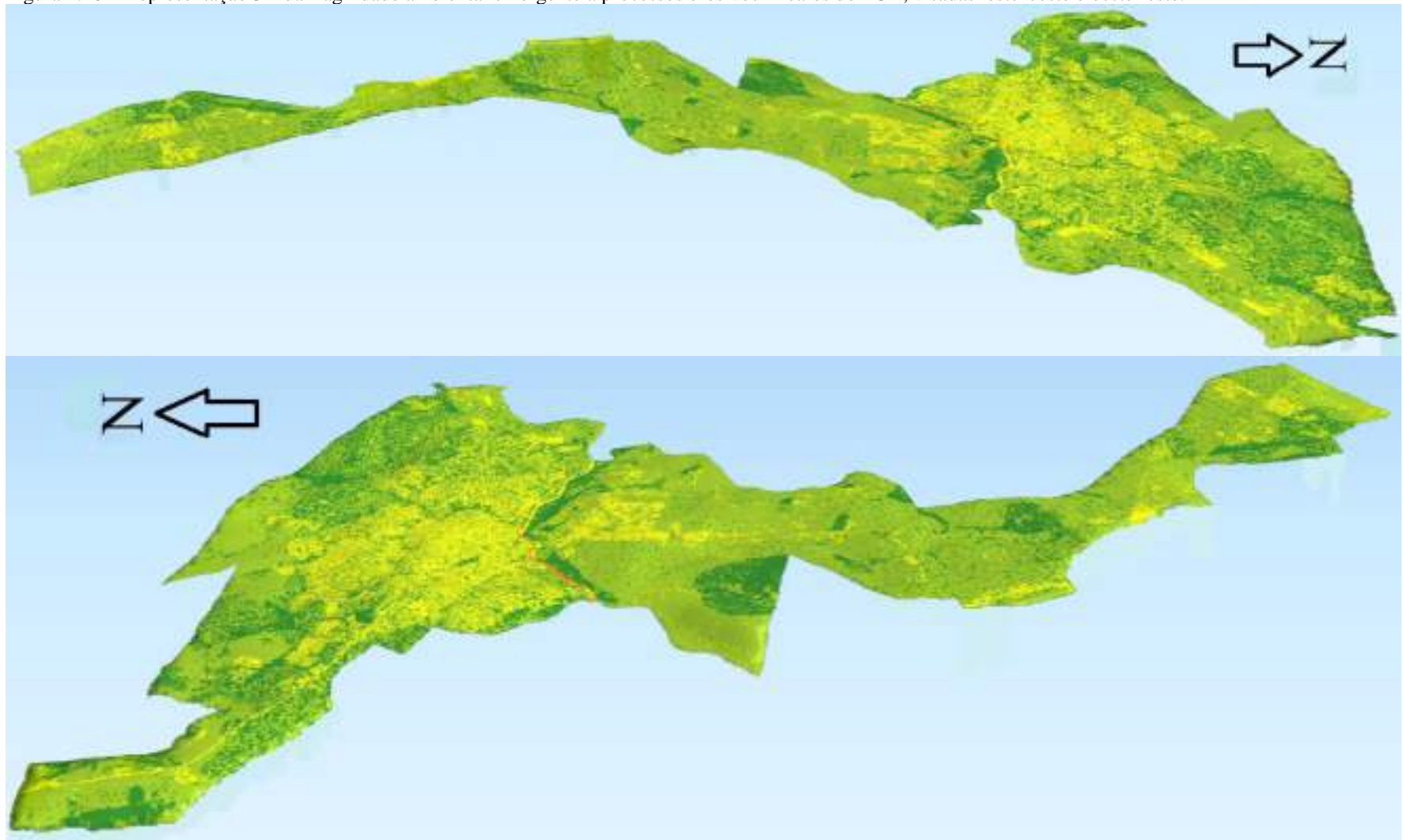
As figuras 4.19, 4.20 e 4.21 demonstram o modelo 3D do terreno do PUR com as fragilidades emergentes verificadas em quatro direções distintas, tal como segue:

Figura 4.19 – Representação 3D da fragilidade ambiental emergente a processos erosivos lineares do PUR, visada norte-sul.



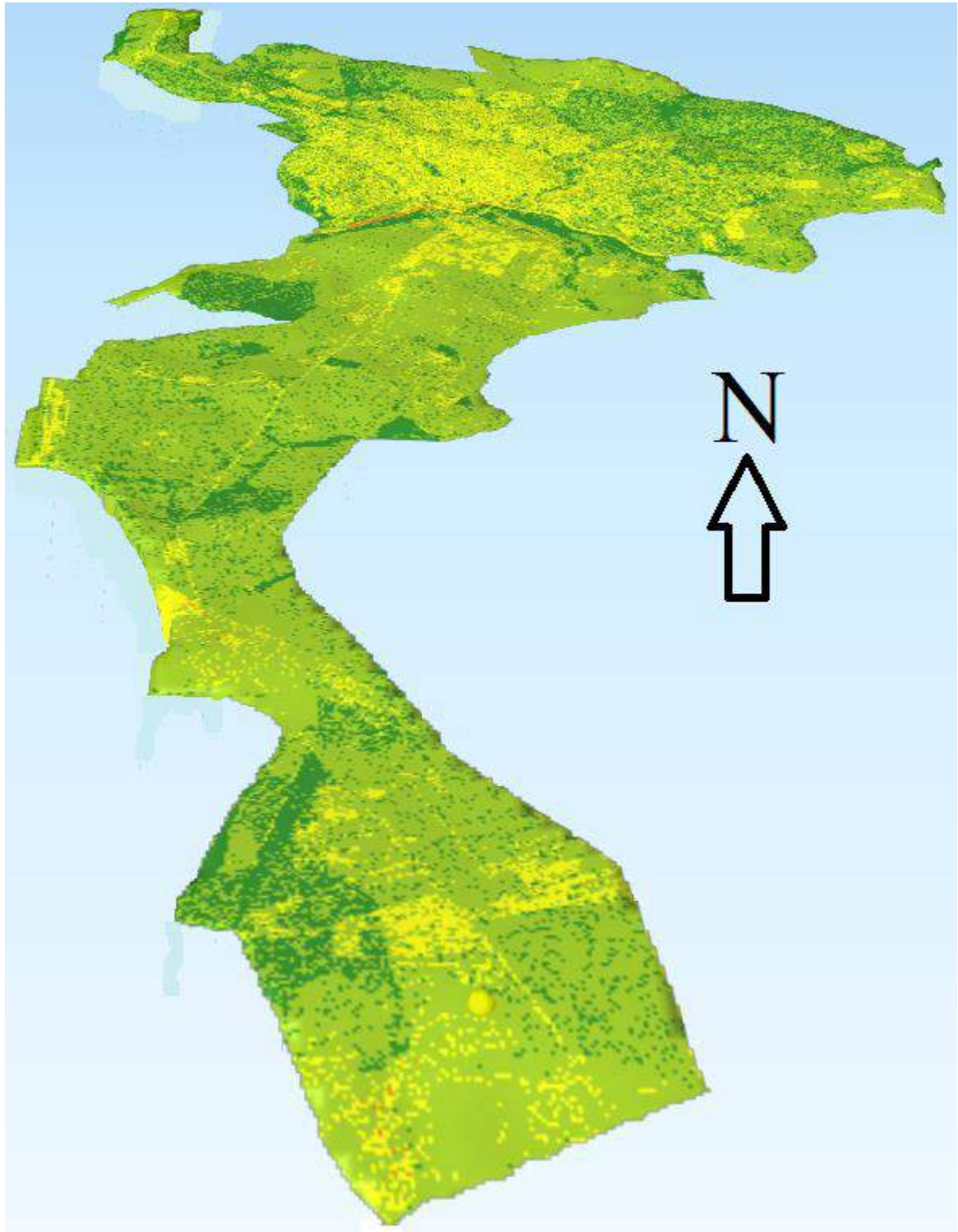
Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.20 – Representação 3D da fragilidade ambiental emergente a processos erosivos lineares do PUR, visadas leste-oeste e oeste-leste.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Figura 4.21 – Representação 3D da fragilidade ambiental emergente à processos erosivos lineares do PUR, visada sul-norte.



Fonte: GUIRRA, A. P. M. (2017)

Ao analisarmos separadamente a influência das variáveis geoambientais em relação a topografia e as principais drenagens do PUR, observa-se que as declividades apresentam tendência a assumirem valores em porcentagem maiores nas margens dos canais dos cursos d'água, esse fato deve-se ao potencial de entalhamento dos córregos e rios, tais como verificado para os córregos: Queixada, Patrimônio, Bambú, Lourencinho e rio Vermelho. Apesar disso, os valores elevados de declividade também estão condicionados às vertentes amplas de colinas, demonstrando que pode haver rupturas abruptas no terreno, próximo a zona de contato entre arenitos da Formação Furnas com os siltitos/argilitos da Formação Ponta Grossa, promovendo pelo contraste reológico o aumento dessa inclinação, fora da influência com áreas vizinhas a rios e córregos.

Observa-se que as classes de curvatura horizontal, convergente, planar e divergente, assumiram valores bem específicos para cada célula unitária do modelo numérico de terreno (pixels), contudo, verificou-se que o modelo de curvatura tende a assumir para regiões de topo padrão de curvatura planar, enquanto que para os fundos de vale, percebe-se predomínio da classe convergente. O mesmo acontece para as curvaturas verticais, côncava, retilínea ou convexa, que para regiões de topo enfatiza classes retilíneas e para fundos de vale padrão côncavo. A fragilidade do terreno associada as formas geradas pela combinação das curvaturas vertical e horizontal e parametrizadas em cinco classes de fragilidade concentraram valores mais elevados em regiões de vales ou por onde ocorrem drenagens, predominando fragilidades baixas para os topos de colinas e concentrando valores medianos para as demais vertentes.

A fragilidade do relevo nesse sentido apresentou predomínio de classes de fragilidade medianas, seguidas por classes fracas e fortes, respectivamente. A fragilidade dos solos a sul é alta pela existência de neossolos quartzarênicos e no vale do rio Vermelho pela associação com sedimentos arenosos inconsolidados.

A fragilidade muito alta associada a litoestratigrafia corresponde aos depósitos aluvionares existentes no vale do rio Vermelho e as fragilidades altas aos siltitos físseis intercalados com argilitos, pertencentes a Formação Ponta Grossa. A fragilidade muito alta relacionada a densidade de descontinuidades geológica-estruturais ocorre alinhada com a drenagem do córrego Patrimônio e a maior densidade de interseções destas descontinuidades, favorecem fragilidades muito altas na zona de confluência entre os córregos Bambú, Patrimônio e rio Vermelho.

A fragilidade muito alta associada aos níveis de urbanização e grau de proteção e cobertura do solo está subordinada a calha de drenagem do rio Vermelho, enquanto que as fragilidades altas, desta variável ocorre tanto a norte quanto a sul onde há solos expostos.

Sendo assim a fragilidade potencial imprime a sul da malha urbana consolidada (setor industrial) valores medianos, onde observa-se que o tipo de solo é um dos fatores de maior influência, contudo as classes medianas estão condicionadas sobretudo ao nível de urbanização, proteção e cobertura do solo quando se analisa a fragilidade emergente.

A fragilidade do relevo apresentou, valores altos onde a declividade estava muito alta, balizando-se pela fragilidade associada as formas do terreno. Apesar do método de fragilidade ambiental á processos erosivos lineares não considerar a componente condutividade hidráulica do solo, a qual diz respeito a capacidade de o solo conduzir ou reter água nos seus poros, este fator indiretamente é estabelecido como hierarquizador dos níveis de erodibilidade do mesmo.

5. DISCUSSÕES

O uso de imagens de radar ALOS PALSAR modo FBD contribuiu para o refinamento e extração dos dados morfométricos do terreno, aprimorando efetivamente os contornos das curvas de nível, após o tratamento destas, constatou-se que houve mudanças na cobertura da área em porcentagem de classes de declividade, curvaturas horizontais e verticais, ressaltando fragilidades mais elevadas para estes temas.

Identificaram-se no PUR que as classes de declividades muito fortes estão situadas preferencialmente próximas as cabeceiras de drenagem, ou nas margens destas, podendo também ocorrer na transição entre os compartimentos geomorfológicos de 3º táxon (unidades morfológicas). Verifica-se que na transição dos padrões de relevo na forma de colinas com topo estreito e vertente curta para colinas com topo estreito e aplainado, no setor noroeste do PUR apresentam elevadas declividades (>30%). No setor centro-oeste próximo a margem esquerda do rio Vermelho, na transição entre colinas amplas com vertentes longas para planície fluviais associadas a terraços alúvio-colvionares ocorre afloramentos rochosos de arenitos quartzosos, estratificados e fraturados pertencentes à Formação Furnas, sendo comum a presença de blocos rolados, onde o gradiente de declividade é elevado.

Os setores onde ocorrem declividades elevadas e as formas do terreno apresentam-se convergentes côncavas ou convergentes retilíneas, resultando em fluxos hiperconcentradores e mesoconcentradores, respectivamente, associam-se a classes de fragilidade do relevo muito alta. Os setores com fragilidades do relevo fortes ou muito fortes atualmente não fazem parte

da malha urbana consolidada, apresentando muito baixo adensamento populacional, sendo comum o desenvolvimento de atividades agrícolas, ligadas a criação de gado, horticulturas, pisciculturas, ou ainda na zona de influência da linha férrea pertencente a América Latina Logística.

A ponderação dos graus e classes de fragilidade ambiental associados as formas do terreno, levando-se em consideração o caráter dos fluxos resultantes realçaram processos erosivos lineares, atribuindo fragilidades mais altas para vertentes convergentes, em detrimento das vertentes divergentes e planares, as quais tende a prevalecer erosões do tipo laminar. Sendo assim o modelo de fragilidade do relevo reforça padrões de erosão lineares, sendo necessário verificar como outros elementos morfométricos podem impulsionar a perda de solos por erosões laminares, ou aplicar a equação universal da perda de solos para atender este a este objetivo.

Quando se hierarquiza os tipos de solos conforme a erodibilidade e associam-se estes quanto aos níveis de urbanização observa-se que, a maior parte da malha urbana efetivamente consolidada no PUR, possui média eficiência de drenagem do fluxo superficial. Onde constata-se que a impermeabilização por asfaltamento e concretagem nem sempre veio acompanhada de instalações de galerias, canalizações pluviais, entre outros equipamentos de suporte a drenagem urbana, suficientemente adensados e capazes de reduzir os efeitos nocivos do escoamento, permitindo a ocorrência de enxurradas e alagamentos e enxurradas sazonais, nos períodos de chuva, predominantemente de outubro à março (estação úmida), com picos de pluviosidade historicamente registrados entre janeiro e fevereiro.

Percebeu-se que os Latossolos Vermelhos Eutróficos típicos correspondem a maior parcela de solo apropriado pelo setor imobiliário, possuindo naturalmente baixa capacidade de retenção de água, devido ao caráter textural do horizonte superficial mais arenoso, o que favorece a lixiviação, conforme Cassol e Lima (2003), quando não compactados por aterramento, contudo estes solos apresentam, em sua maioria, baixo potencial de erodibilidade, conformado aos usos atuais.

Os Latossolos Vermelho Eutróficos argissólicos, Latossolos Vermelho Eutróficos típicos e Latossolos Vermelho Amarelos Distróficos argissólicos situados nas porções mais elevadas do terreno, com predomínio de baixas declividades, em colinas com topo plano alongados e estreitos ou em colinas com vertentes amplas, são utilizados preferencialmente pela agricultura mecanizada no cultivo de soja e milho na entressafra, onde constata-se aplicações de práticas conservacionistas do solo, tais como, o terraceamento e a proteção por palhada da semeadura anterior, permitindo avaliar como muito baixa a fragilidade destes setores.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos latossólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos abrupticos plintossólicos ocorrem em cabeceiras de drenagem, ou próximos as vertentes com média a alta declividades, onde o nível d'água subterrâneo raso oscila sazonalmente, favorecendo a saturação de água nos solos devido sua baixa capacidade de transmissividade entre os horizontes concrecionários. Nestes ambientes são comuns o pisoteio de gado e a degradação de áreas de preservação permanente, dando início a processos de assoreamento de canais de drenagem.

Os Neossolos Litólicos Distróficos fragmentários, Neossolos Litólicos Distróficos típicos e Neossolos Quartzarênicos Órticos associados com Latossolos Vermelho-Amarelos Ácricos húmicos, são solos de alta erodibilidade e consequentemente alta fragilidade. Estas ordens de solo cobrem áreas correspondentes a parcelas do PUR com baixa densidade urbana, com atividades de bovinocultura e piscicultura, onde devem ser evitadas a expansão da malha urbana e/ou implementada medidas conservacionistas de proteção e cobertura do solo, afim de não permitirem a incidência e/ou a evolução de erosões lineares no terreno. Nestes setores é comum a presença de afloramentos rochosos de arenitos estratificados e fraturados, maciço à semi-compactos, com blocos rolados, denunciando movimentos de massa recentes de queda de blocos.

Ao observarmos como os elementos climáticos relacionados a chuva, intensidade pluviométrica e erosividade, atuantes no PUR, percebe-se que estes são elementos limitadores de classes de fragilidade mais elevados, os quais se apresentam predominantemente com valores escalares medianos, comparativamente as escalas pré-definidas de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica e da erosividade, considerando a mesma série de dados registradas por 15 estações meteorológicas convencionais de 1980 a 1990. Denota-se que foi de suma importância a aquisição de dados pluviométricos de estações circundantes à área de estudo para modelagem das isoetas, tendo em vista que estas assumiram maior representatividade no que tange as variações climáticas regionais, concordando com os dados obtidos por Marcuzzo (2011),

A intensidade pluviométrica assume valores crescentes do Planalto do Alto Taquari/Alto Araguaia em direção a Depressão Interplanáltica de Rondonópolis, ou seja, do Sul para o norte do PUR, alcançando uma variação máxima de 15,83 mm, entre estes compartimentos. Nesse contexto, a malha urbana consolidada, alcança valores mais elevados de intensidade pluviométrica do que o setor agroindustrial existente no PUR.

Há uma contorção das isolinhas de intensidade pluviométrica, no sentido NNE/SSW, na região noroeste do PUR, que acompanha a transição entre a bacia hidrográfica do rio Vermelho

e a bacia hidrográfica do São Lourenço, bem como se alinham ao *trend* estrutural das discontinuidades geológica-estruturais mais persistentes verificadas nestes estudo, o que sugere a influência de altos e baixos estruturais na compartimentação do relevo, que por consequência altera o arranjo e distribuição das chuvas em escala regional de observação. Este fato deve-se aos fatores de altimetria, que é capaz de mudar o gradiente de pressão atmosférica e no padrão de circulação das massas de ar quente e frias, como é previsto nos modelos de chuva, porém ressalta-se que são necessários estudos mais aprofundados para identificar qual tipo de chuva predomina no PUR, podendo elas apresentarem-se frontais, convectivas ou orográficas.

Observou-se que as fragilidades da variável geoambiental, intensidade pluviométrica são diretamente proporcionais a precipitação média mensal e anual, o que confirma que esta variável se relaciona ao volume de chuva incidente sobre determinado terreno.

Quanto ao elemento climático erosividade, examina-se que este possui maior potencial erosivo na região do patamar de Planalto do Alto Itiquira/Alto Araguaia, setor sul do município, onde ocorre atividades agroindustriais. Atesta-se que a erosividade caracteriza padrão de ascendência do sentido norte-sul na região do PUR, onde as equações de base radial que modulam esta variável na região pluviométrica central e sul do Mato Grosso, de acordo com Almeida (2009), demonstram que não há proporcionalidade direta entre os elementos do clima que condicionam processos erosivos, tal como constatado por Guirra e Santos (2017), ao correlacionarem os graus de vulnerabilidade e fragilidades ambientais associados à intensidade pluviométrica e erosividade das chuvas nesta região.

Na maior parte do PUR a erosividade é muito forte, o que condiz com classes de fragilidade médias, quando se estabelece uma relação escalar proporcional entre os diagnósticos, sendo restrito a porção do extremo noroeste da área de estudo, valores de erosividade classificados como fortes, ou de fragilidade baixa para o mesmo tema. Certifica-se no modelo de espacialização das fragilidades ambientais, associados ao tema clima, que o componente erosividade além de considerar a intensidade da chuva em um intervalo reduzido de 30 minutos, pondera como fator de influência do padrão de circulação atmosférica regional, o qual por sua vez pode atenuar ou acentuar o potencial da chuva erodir, de acordo observado por Guirra e Santos (2017).

A hierarquização proposta neste estudo para os grupos de rochas e demais materiais geológicos, agrupados conforme a proposta originalmente engendrada por Crepani et al. (2001) em classes e graus de fragilidade de acordo com a resistência mecânica a erosão, possibilitaram além da complementação metodológica, avaliando uma componente relevante do ambiente físico, o balizamento dos fatores de subsuperfície que impõe condicionantes a instalação ou

evolução de erosões. O tema geologia, no que se refere as unidades litoestratigráficas mapeadas em escala 1:250.000 pela CPRM (2013), reavaliada quanto as suas principais características geotécnicas, correlacionada as formas de uso e ocupação do terreno com individualização das unidades morfológicas nas quais estas rochas ocorrem permitiram reclassificar as classes e graus de fragilidade de acordo com as especificidades da área de estudo.

Este procedimento tornou os produtos cartográficos gerados, informativos dos níveis de fragilidade do ambiente, mais coerentes à realidade do PUR, tendo em vista que o modelo de fragilidade dos ambientes fundamenta-se em princípios generalistas de causa e efeito que implicam direta ou indiretamente a perdas de materiais geológicos superficiais por ações erosivas.

Ao analisarmos a distribuição das descontinuidades geológica-estruturais no terreno do PUR, testemunha-se que o maior comprimento, frequência e consequentemente, persistência de descontinuidades está subordinada aos arenitos finos, siltitos e folhelhos fraturados e físseis, estratificados e intemperizados, semi-compactos à friáveis pertencentes a Formação Ponta Grossa. A incidência elevada de descontinuidades neste tipo de rocha, aumenta sua instabilidade mecânica, devido ao aumento da superfície de contato, facilitando seu desgaste por processos erosivos e meteóricos, constituindo zonas preferenciais de incidência de drenagens.

Observou-se que zonas com alta densidade de descontinuidades geológica-estruturais no PUR, foram capazes de alterar a direções das drenagens dos rios Vermelho, Arareau e córregos Macaco, Bambú e Patrimônio. Na planície fluvial do rio Vermelho, ocorre mudança abrupta na direção da drenagem de NW/SE para NE/SW, na zona de confluência com o córrego Bambú, influenciada tanto pela elevada densidade de descontinuidades quanto pela a interseção entre estas descontinuidades. Identifica-se que o paralelismo do baixo curso do córrego Lourencinho, próximo à confluência com o rio Vermelho reflete zona de descontinuidade em contato litoestratigráfico (Formação Furnas/Formação Ponta Grossa) por paraconformidade.

Constata-se que onde há afloramentos o arenito Furnas no território do PUR, há incidência média a muito alta de descontinuidades, relacionadas a fraturamentos, onde estes contribuíram para a presença de blocos rolados nos compartimentos com vertentes declivosas. No extremo oeste do PUR, a drenagem do córrego Escondidinho intercepta ortogonalmente setores de falhas bem definidas, promovendo zonas com vales encaixados com elevada instabilidade a movimentos de massa do tipo rastejo, solapamento e escorregamentos rotacionais em terraços colúvio-aluvionares pouco espessos, sobre terrígenas intemperizadas, semi-compactas com evidências de tombamentos de árvores de grande porte. Ressalta-se que

estas observações só foram possíveis com análise efetuadas em campo, como ferramenta complementar dos diagnósticos preliminares das fragilidades dos ambientes.

A carta de densidade de descontinuidades geológica-estruturais gerada pelo estimador de densidade linear demonstrou-se mais adequada, do que o estimador Kernel utilizado por autores tais como Messias e Ferreiras (2017), tendo em vista que o primeiro estimador conserva a geometria da descontinuidade, em contrapartida ao estimador Kernel, o qual espacializa áreas de influência de lineamentos com exagero horizontal, agrupando classes de densidade que não representam a tendência e direção destas descontinuidades, havendo no caso uma extrapolação da fragilidades desta variável geoambiental.

Constata-se a importância de considerar o grau de persistência das descontinuidades, tendo em vista que, as frequências, expressas por estereogramas azimutais, não consideram o comprimento das descontinuidades incidentes na superfície do terreno, o que pode mascarar o resultado da análise dos ambientes mais sensíveis aos processos erosivos. Ressalta-se que, os falhamentos identificados em afloramentos, tanto da Formação Furnas quanto da Formação Ponta Grossa, no PUR, são do tipo normal com alto ângulo, o que evidencia a influência de eventos de subsidência na borda noroeste da Bacia do Paraná, tal como indicado na literatura específica referente à evolução tectônica-estrutural desta bacia sedimentar (CORRADINI., 2011; MILANI et al., 2007; SANTOS, T. B. et al., 2015).

Percebe-se que a incidência de fraturas nos siltitos, arenitos e argilitos pertencentes a Formação Ponta Grossa geralmente se dão por pares conjugados e estas descontinuidades são mais penetrativas em comparação aos que incidem sobre os arenitos da Formação Furnas, na qual é mais raro evidências de pares conjugados de fraturas. Este fato demonstra que as competências das rochas destas formações terrígenas são diferentes e que não se pode considerar a mesma resistência mecânica para elas, apesar de ambas pertencerem ao grupo de rochas sedimentares.

Na espacialização da densidade de interseções de descontinuidades geológica-estruturais, tendo em vista que os graus mais elevados de fragilidade relacionados a este tema ficariam limitados ao ponto de ocorrência do cruzamento entre dois lineamentos, verificou-se que o estimador Kernel foi o mais adequado, uma vez que as demais áreas teriam os graus de fragilidade atenuados por esta variável. Nesse sentido, a geração do mapa sintético de fragilidade geológica estrutural, levando em consideração os mapas de fragilidade ambiental associada a litoestratigráfica, a densidade de descontinuidades geológica-estruturais e suas interseções configurou-se num modelo promissor de identificação de áreas mais susceptíveis

ao desenvolvimento de processos erosivos, sobretudo aquelas onde ocorrem afloramentos de rocha.

A utilização da imagem CBERS-4 do ano corrente, com resolução espacial de 5 metros, demonstrou-se viável na identificação e classificação das formas de uso e ocupação do solo, distinguindo previamente cinco principais unidades da paisagem: vegetação densa/de grande porte/eucaliptais, vegetação rasteira/gramínea/pastagem/agricultura de ciclo curto, áreas edificadas/malha urbana consolidada/asfaltamento/concretagens, solos exposto e cursos d'água. Sendo a proposta de Santos e Ross (2015), incorporada a reclassificação dos usos executadas no SIG, onde atribuiu-se classes mais próximas possíveis das condicionantes que revelam os níveis de urbanização do PUR.

Nesse contexto, observou-se que fragilidades altas ocorrem nos vales fluviais do rio Vermelho, o qual associa-se a depósitos aluvionares e bancos de areias quartzosas grosseiras e instáveis, bem como apresenta historicamente registros de inundações e movimentos de massa em suas margens. A fragilidade alta, para esta variável geoambiental, foi atribuída para áreas que apresentaram solos expostos, os quais predominam nas periferias da malha urbana consolidada e em parte do setor industrial, demonstrando que há nestes setores baixa infraestrutura relacionada a pavimentação das vias de circulação de veículos. Há também evidências de solos expostos na porção sul do PUR, destinada a atividades agroindustriais, onde verificou-se que os usos estão relacionados a gradeamento e aragem do solo para preparação de novos cultivos, bem como a existência de estradas vicinais/vias não pavimentadas.

As classes de fragilidade médias de uso e ocupação, constituem predominantemente a malha urbana efetivamente consolidada, com problemas de drenagens e alagamentos sazonais, podendo ocorrer inundações. Entende-se que os problemas drenagem dessa unidade contribuem também para fluxos de enxurradas de lama, detritos e resíduos sólidos, onde a baixa eficiência no escoamento e distribuição das águas pluviais promovem transtornos sazonais a população. Testemunha-se que os episódios de inundação, na malha urbana consolidada do PUR, não possuem períodos bem definidos de reincidência, e que estes eventos ocorrem ao longo de décadas, com precipitações anômalas de chuva.

As fragilidades ambientais potenciais fortes e médias estão condicionadas as regiões de ocorrência dos Neossolos Litólicos Distróficos fragmentários, Neossolos Litólicos Distróficos típicos, Neossolos Quartzarênicos Órticos e aos depósitos aluvionares, os quais estão inseridos em parte do setor industrial, área militar do Exército Brasileiro, áreas de plantio de eucaliptais, na região centro-sul do PUR, bem como em áreas de plantio de culturas de ciclo curto (soja e milho) e criações de gado, na área de influência da linha férrea da ALL.

As fragilidades ambientais emergentes fortes e médias cobrem principalmente regiões onde há solo exposto, tanto nos setores destinados a indústria, quanto em áreas dispostas para moradia e habitação. Observa-se que nas áreas periféricas da malha urbana consolidada há aumento de classes de fragilidade médias em relação as baixas e muito baixas. Regiões do setor sul do PUR, onde executam-se atividades agroindustriais apresentam fragilidades médias em terrenos com solo exposto devido a abertura de estradas vicinais ou para gradeamento e aragem do solo. Percebe-se que nas proximidades dos cursos d'água onde a vegetação é densa as fragilidades ambientais emergentes apresentaram-se muito baixas ou baixas.

Entende-se que a metodologia elaborada na modelagem das fragilidades das variáveis geoambientais condicionantes de processos erosivos demonstrou-se satisfatório no reconhecimento regional de áreas mais instáveis. Contudo ressalta-se que este modelo servirá como ferramenta preditiva, sendo necessários detalhamentos progressivos de cunho geológico-geotécnicos para apurarem o modelo apresentado. Ou ainda como sugerem Messias e Ferreira (2017), utilizar o teste estatístico Kolmogorov-Smirnov (KS), para avaliar o grau de aderência e significância das variáveis geoambientais, atribuindo-lhes pesos conforme a correspondência entre eventos hipotéticos e observados no terreno.

O uso do SIG's, e a utilização de banco de dados geográficos gratuitos para produção das cartas e mapas, viabilizaram economicamente a execução deste projeto, o qual poderá ser utilizado como instrumento útil ao planejamento ambiental e ordenamento do território, de modo que se possam compatibilizar as atividades produtivas e culturais com a capacidade de suporte dos sistemas socioambientais. As administrações públicas de outras localidades poderão adotar essa metodologia como instrumento de apoio aos planos diretores municipais.

6. CONCLUSÕES

A elaboração de um novo modelo para estudos de fragilidade dos ambientes, o qual integra informações de subsuperfície, resistência mecânica a erosão das unidades litoestratigráficas, densidade de lineamentos estruturais e densidades das interseções destes, demonstrou-se complementadora e eficiente na caracterização de zonas mais instáveis à instalação e/ou evolução de processos erosivos no terreno.

A distinção entre os elementos climáticos da chuva, intensidade pluviométrica e erosividade, verificadas neste estudo, constata que ambas devem ser consideradas nas equações de modelagem dos ambientes frágeis a incidência de erosões, tendo em vista que são variáveis geoambientais exógenas importantes na transformação dinâmica do relevo.

A caracterização dos fluxos resultantes, de acordo com a forma do terreno e a correlação com classes e graus de fragilidade mostrou-se eficiente na identificação de áreas sujeitas à instalação de processos erosivos lineares, não sendo indicada para verificação de áreas susceptíveis a perdas de solo por erosão laminar.

As adaptações implantadas pela correlação dos níveis de urbanização e graus de proteção e cobertura do solo configuraram elementos mais precisos na caracterização do uso do solo do PUR, tendo em vista que este apresenta atributos tanto de área urbana quanto de áreas agrárias. O uso de imagem de satélite de média-alta resolução, CBERS-4 do ano corrente, foi importante na distinção de alvos, contribuindo para análise das fragilidades que operam no terreno atualmente.

As fragilidades potenciais médias e fortes do PUR estão condicionadas principalmente aos tipos de solos, especificamente aos Neossolos e Argissolos, bem como, sedimentos inconsolidados de depósitos aluvionares existentes no vale fluvial do rio Vermelho. Enquanto que as fragilidades emergentes estão médias e altas correlacionam-se predominantemente as áreas com solos expostos, nas periferias da malha urbana efetivamente consolidada, nos setores industriais com elevada circulação de veículos de grande porte e áreas a sul do perímetro onde se desenvolvem atividades agroindustriais, com cultivo de soja e milho na entressafra.

O modelo de fragilidade ambiental dos ambientes a processos erosivos, com as complementações propostas neste estudo de caso poderá ser replicado para outros ambientes urbanos, considerando as especificidades do arranjo espacial das variáveis geoambientais que se ajusta a realidade dos mesmos, aperfeiçoando o zoneamento ambiental e os estudos prévios de impactos ambientais exigidos aos Planos Diretores Municipais.

Compreende-se que a metodologia ao utilizar banco de dados geográficos gratuitos, disponíveis em sites oficiais de órgãos federais, estaduais e municipais, exigiu pouco recurso para ser executado, o que permitirá agilidade e economia ao poder público na tomada de decisões mais acertadas ao ordenamento e gestão dos sistemas urbano-ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia à serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*. São Paulo, v. 18, 1969.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **HidroWeb** - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acessado em 22 de novembro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Página Inicial - Notícias. <http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor>. Acessado em 13 de maio de 2017.

ALASKA SATELLITE FACILITY. <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Acessado 21 de março de 2017.

ALBACETE, S. L. **Análise do sistema de saneamento ambiental em Rondonópolis-MT, a relação água e esgoto**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Cuiabá-MT. UFMT, 2008. 114 p.

ALBUQUERQUE, J. A., ALMEIDA, J. A., GATIBONI, C. L., ROVEDDER, A. P., COSTA, F. S. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, S. S., HERNANI, C. Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília-DF: **Embrapa Solos**, 2015. p. 25-50.

ALBUQUERQUE, J. A., CASSOL, E. A., REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 141-151, 2000.

ALMEIDA, C. O. S. **Erosividade das chuvas no Estado de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2009. 83 p.

BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., GONÇALVES, J. H., BAARS, F. J., DELGADO, I. M., ABRAM, M. B. LEÃO NETO, R., MATOS G. M. M. de., SANTOS, J. O. S. dos (Coords.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: sistema de informações geográficas - SIG. Rio de Janeiro. 2003.

BORGES, M. E. S., JÚNIOR. O. A. C., MARTINS. E. S. M., ARCOVERDE., G. F. B., GUIMARÃES, R. F., GOMES., R. A. T. Emprego do processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. **Espaço & Geografia**, v. 10, nº2. ISSN: 1516-9375. 2007. p. 401-429.

BRASIL, Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília-DF, jul 2001.

CARVALHO, J. R. P., ASSAD, E. D., PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1235-1242, set. 2012.

CASARIN, J. C. **Qualidade da água superficial e subterrânea na área urbana de Rondonópolis-MT**. Dissertação de mestrado em Ecologia e Conservação da Biodiversidade. Cuiabá. UFMT, 2003. 112 p.

CASSOL, E. A., LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 117-124, 2003.

CASTRO, I.E. Escala e pesquisa na geografia. Problema ou solução? **Espaço Aberto**. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, v.4, n.1, p. 87-100, 2014.

CASTRO, S. S., HERNANI, C. Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília-DF: **Embrapa Solos**, 2015. 367 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 415-440.

CONCEIÇÃO, R. A. C., SILVA, A. Q. Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu-PR, Brasil. INPE. 13 a 18 de abril. 2013. p. 3688-3695.

CORRADINI, F. A. **Geomorfologia fluvial, mudanças ambientais e evolução do megaleque do rio São Lourenço, quaternário do pantanal mato-grossense**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências da Terra. 2011. 164 f.

CORREA, A. C. B., FONSECA, D. N. Lineamentos de drenagem e de relevo como subsídio para a caracterização morfoestrutural e reativações neotectônicas da área da bacia do Rio Preto, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial. VIII SINAGEO, n.1, set. 2010.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S., FILHO, P. H., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 103 p. 2001.

CUTRIM, A. O., CAMPOS, J. E. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT com aplicação dos métodos GOD e POSH. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, n. 3. p. 401-411, 2010.

DEMAMANN, M. T. M. **Rondonópolis-MT: Campo, cidade e centralidades**. Tese de Doutorado em Geografia Humana. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo-SP. 2011. 250.p.

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

FAGUNDES, M. G., QUEIROZ FILHO, A. P. A variação de escala nas metodologias de fragilidade e vulnerabilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá/SP. **Boletim Goiano de Geografia**, vol. 34, num. 3. pp. 585-605. 2014.

FERREIRA, M. C., GARÓFALO, D. F. T., MESSIAS, C.G., FERREIRA, M. F. M. Um modelo espacial baseado em método de classificação Fuzzy, aplicado ao mapeamento de risco à erosão. In.: **Multidimensão e territórios de risco**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014. Pág. 95-100.

FERREIRA, N. H., FERREIRA, C. A. B. V., GOUVEIA, I. C. M. C. Mapa de Fragilidade Ambiental como auxílio para o Planejamento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v.12, n.03, 2016. p.44-58.

FERREIRA, M. V., TINÓS, T. M., PINTON, L. G., CUNHA, C. M. L. **A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: Proposta de técnica digital automática**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.15, n.4, (Out-Dez) p.585-600, 2014.

FRANCO, R. A. M., HERNADEZ, F. B. T. LIMA, R. C. Análise da fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

GARÓFALO, D. F. T., FERREIRA, M. C. **Mapeamento da fragilidade ambiental por meio de análise geoespacial: uma aplicação na alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim, APA Fernão Dias, MG.** Revista do departamento de Geografia, v. 29, p. 212-245, 2015.

GUIMARÃES, S. C. P., JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento de subzonas geoambientais das terras do município de Cujubim (RO), como subsídio a avaliação da aptidão agrícola. **Confins**. Revista franco-brasileira de geografia. 29/2016. n. 29.

GUIRRA, A. P. M. **O problema da escala na representação e análise de fenômenos objetivados pelos estudos geográficos.** XXVIII Semana de Geografia.GT05: Espaço e Recursos Naturais. 29 de maio à 03 de junho. p.11. 2017.

GUIRRA, A. P. M., SANTOS, C. A. M. O uso de geoestatística na correlação entre graus de vulnerabilidade e fragilidade ambientais associados à intensidade pluviométrica e erosividade das chuvas em parte da região sudeste e centro-sul matogrossense. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e I Congresso Nacional de Geografia Física.** Instituto de Geociência. Campinas – SP. v. 1, p. 1375-1387. 28 de junho à 02 de julho de 2017. DOI - 10.20396/sbfga.v1i2017.2046 - ISBN 978-85-85369-16-3

GUIRRA, A. P. M., SANTOS, C. A., NOGUEIRA, C. E. A evolução metodológica de fragilidade ambiental no Brasil e seu aspecto transdisciplinar. **IV Simpósio Nacional sobre Pequenas Cidades.** Cidades pequenas: dinâmicas, escalas e redes. Ituiutaba, Minas Gerais, Brasil, v.1, p. 1-17, 22 a 25 de novembro de 2016.

GIRÃO, O., CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia.** Recife: UFPE – dcg/napa, v. 21, n° 2, jul. /dez. 2004.

GUAPYASSU, M. S., HARDT, L. P. A. Avaliação de fragilidade ambiental: uma nova abordagem metodológica para unidades de conservação de uso indireto em áreas urbanas. **Floresta e Ambiente.** vol. 5 (1): 55-67, jan. /dez. 1998.

Huggel, C.; D. Schneider, D.; Miranda, P. J.; Granados, H. D.; Käab, A. Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modeling: A case study on lahars from Popocatepetl Volcano, Mexico. **Journal of Volcanology and Geothermal Research** 170 (2008) 99–110. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: fev./2017.

HOFF, R.; DUCATI, J. R.; BERGMANN, M. Comparação de dados de modelo digital de elevação - MDE: ASTER e SRTM por processamento digital de imagem para identificação de terroir vitivinícola na Folha Encruzilhada do Sul, RS, Brasil. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** Natal, Brasil, 25-30, p. 215-222. Abril, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades.** <http://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=510760>. Acessado em 09 de maio de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **DPI INPE.** <http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=terrahidro>. Acessado em 21 de outubro de 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **DPI INPE.** <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em 20 de agosto de 2017.

LANDAU, E. C. GUIMARÃES. D. P. Análise Comparativa, entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM, TOPODATA. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR,** Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p. 4003.

LATRUBESSE, E. M., RODRIGUES, S. C., MAMEDE, L. Sistemas de classificação e mapeamento geomorfológico: uma nova proposta: Florianópolis: Edição Especial – **Anais... II Simpósio Geosul**, v.14, n. 27, p. 682-697. 1998.

LIMA, G. F. C. A institucionalização das políticas e da gestão ambiental no Brasil: avanços, obstáculos e contradições. Editora UFPR. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 23, p. 121-132, jan./jun. 2011.

LUCAS, T. P. B., PLEC, D., ABREU, M. L., PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia** (versão eletrônica). Ano 09, v.13, jul./dez 2013.

LUCIANO, R. V., ALBUQUERQUE, J. A., COSTA, A., BATISTELLA, B., WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1733-1744, 2012.

MARCUZZO, F. F. N., ANDRADE, L. R., MELO, D. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.04. jan.2011. p.793-804.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências. v. 17, n. 2, jul. /dez. 2008.

MELGAÇO, L. M.; SOUZA FILHO, C. R.; STEINMEYER, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1215-1220.

MELLO, C. R., LIMA, J. M., SILVA, A. M., MELLO, J. M., OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27: p. 925-933, 2003.

MENDES, G. F., SOUZA, R. V., FILHO, J. L. A. A relação entre a hidrogeologia e os lineamentos estruturais do planalto serrano do estado de Santa Catarina, com uso de geotecnologias. **Anais... XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2016. p. 1-20.

MENEZES, P.M.L., COELHO NETTO, A L. Escala: Estudo de Conceitos e Aplicações. In: **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia**, Recife, CD ROM, 1999.

MESSIAS, C. G., FERREIRA, M. C. Aplicação do método de classificação Fuzzy para o mapeamento da fragilidade do terreno em relação à ocorrência de ravinas no Parque Nacional da Serra da Canastra. **Revista Espaço Geográfico em Análise – Ra'EGA**. Curitiba, v.39, P. 11-127, abr./2017.

MICELI, B. S.; DIAS, F. M.; SEABRA, F. M.; SANTOS, P. R. A.; FERNANDES, M. C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 1, n. 63. p. 192-201. 2011.

MILANI, E. J., MELO, J. H. G., SOUZA, P. A., FERNANDES, L. A., FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. 15(2), 2007. p. 265-287.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **GEOCATÁLOGO MMA**. http://geocatalogo.mma.gov.br/login/form_login.jhtml. Acessado em 15 de novembro de 2016.

MIRANDA, E. E. de., (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 31 ago. 2017

MORAES, A. C. R. **Meio Ambiente e Ciências Humanas**. Editora Hucitec, segunda edição. São Paulo, 81. p.1997.

MOURA, C. A., MATTOS, J. T., JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Análise de fraturamentos para determinação de áreas instáveis na faixa de dutos Osvat/Osplan – São Sebastião, em São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42(3), 2012. p. 585-596.

NASCIMENTO, M. D., MOURA, N. S. V., SOUZA, B. S. P., Fragilidades ambientais da cidade de Santa Maria/RS. **Revista Geografar**. Curitiba, v.11, n.2, p.67-93, jul-dez/2016.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente-SP**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental. Universidade Estadual Paulista – Campus Presidente Prudente. 2002. p. 211.

OLIVEIRA, D. B., MORENO, R. S., MIRANDA, D. J., RIBEIRO, C. S., SEOANE, J. C. S., MELO, C. L. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao norte do rio Doce, ES. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril, 2009. INPE. p. 4157-4163.

OLIVEIRA, H. P. V. **Tutorial para obtenção, correções e interpolação (opcional) do Modelo Digital de Elevação (sensor PALSAR) do satélite ALOS-1 de 2006 a 2011**. p. 1-8. 2016.

OLIVEIRA, T. D. S. **Avaliação do potencial das sub-bacias hidrográficas enquanto unidades espaciais de planejamento urbano integrado na cidade de Rondonópolis-MT**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Área de Concentração: Ambiente e Sociedade. Rondonópolis. 2016. 277 f.

PEDRON, F. A., DALMOLIN, R. S. D., AZEVEDO, A. C., KAMINSKI, J. **Solos urbanos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.5, p.1647-1653. Set-Out, 2004.

PENNA, N. A. Urbanização, Cidade e Meio Ambiente. GEOUSP – **Espaço e Tempo**, n° 12, pp. 125-140, 2002.

PIRES, C. A. F. & DAL'ASTA, A. P. Zoneamento geoambiental do perímetro urbano de Santa Maria – RS, Brasil. **Caminhos da Geografia**. Uberlândia. V.12, n.40, p. 278-290. Dez/2011.

PONSO, A. G. IZIPPATO, F. J. BACANI, V. M. Análise da fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do Córrego Ribeirão Dois Córregos, Selvíria (MS), utilizando técnicas de geoprocessamento. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.9, n.2, 2013, pp.227-238. 2013.

RODRIGUES, R. C. O ambiente natural em crise. Conceitos para uma filosofia política ambiental. **ethic@**, Florianópolis, v.5, n.3, p. 69-82, Jul 2006.

RONDONÓPOLIS. **Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Rondonópolis**. Lei Complementar N° 043, de 28 de dezembro de 2006. Rondonópolis, Mato Grosso, 2006. 266. p.

ROSA, M. R., ROSS, J. L. **Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade**. Revista do Departamento de Geografia. n. 13. 77-107 p. 1999.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. In: **Revista do Departamento de Geografia FFLCH – USP**, n° 6, São Paulo, 1992.

- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia FFLCH – USP**, n° 8, São Paulo, 1994.
- ROSS, J. L. S. Análise Geográfica Integrada. In: ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. 2006. p. 60-205.
- SALTON, J. C., COMUNELLO, E., FIETZ, C. R. Estimativa de índices de erosividade da chuva para o Estado de Mato Grosso. **EMBRAPA Agropecuária Oeste**. Dourados, MS. 1ª Edição (versão eletrônica). p.46, 2013.
- SANTOS, J. O. Relação entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v.14, n.2, p. 75-90, mai-ago. 2015.
- SANTOS, J. W. M. Mapeamento das áreas de risco de inundação do perímetro urbano de Rondonópolis – MT com emprego de geotecnologias. In: SANTOS, Jeater. **Produção do espaço e transformações socioambientais das paisagens do Mato Grosso**. Cuiabá: Ed UFMT, 2010. p.7-177.
- SANTOS, J. O., ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v.8, n. 10, p. 127-144, ago/dez. 2012.
- SANTOS. M. A questão do meio ambiente: Desafios para a construção de uma perspectiva transdisciplinar. **Interfaces. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** – v.1, n.1, Trad. 1, p.14. ago. /2006.
- SANTOS, T. B., MANCINI, F., CURY, L. F., FERREIRA, F. J. F. Proveniência de zircões detríticos e implicações para a paleogeografia da Formação Furnas no noroeste da Bacia do Paraná. **Geologia USP, Série Científica.**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 25-59, junho 2015.
- SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE MATO GROSSO. SEPLAN-MT. CAMARGO, L [Org.]. Atlas de Mato Grosso: abordagem socioeconômico-ecológica. Cuiabá, MT. **Entrelinhas**, 2011. 100 p.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **GEOBANK** - Carta Geológica da Folha SE-21-X-B (Rondonópolis). 2014. Escala 1:250.000. Disponível em <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acessado em 28 de junho de 2016.
- SETTE, D. M. **O Clima Urbano de Rondonópolis - MT**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Dissertação de Mestrado em Geografia Física. Universidade de São Paulo, 1996.
- SILVA, E. **Território, cidade e rede: O papel de Rondonópolis na expansão da soja no cerrado mato-grossense**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009. 213.p.
- SILVA, L. F., CUNHA, E. BACANI, V. M., BARBOSA, E. H. B., OLIVEIRA, T. C. M., SAKAMOTO, A. Y. PEREIRA, Z. V. Adaptação metodológica para avaliação da fragilidade ambiental da área de proteção ambiental (APA) municipal das nascentes do rio APA. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 4639-4646. 13 a 18 de abril de 2013.
- SILVA NETO, J. C. A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. In: **Revista Geografia**. v. 22, n. 1, p. 5-25. Londrina, 2013.
- SOUZA, J. L. L. L; GOMES, T. S.; DIAS, R.S.; OLIVEIRA, G. M. A.; SANTOS, R. L. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 2011. **Anais**. São José Dos Campos: INPE, p.4295-4302. 2011.

- SOUZA, L. A., SOBREIRA, F. G., Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas no planejamento urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**. 2014. ISSN:1808-0936. n. 67/1. p. 141-156.
- SOBREIRA, F. G., SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.
- SPORL, C. CASTRO, E. G. LUCHIARI. A. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Construção de Modelos de Fragilidade Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, p. 113-135. Volume 21. 2011.
- GONÇALVES, T. R. **Análise da viabilidade de mapeamento topográfico (Escala 1:100.000) na região amazônica através da integração de informações altimétricas SRTM-3 e planimétrica PALSAR: uma avaliação para a Serra dos Carajás (PA)**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- TOKASHIKI, C. C., SAES, G. S. Revisão estratigráfica e faciológica do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, baixada Cuiabana, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geociências**, volume 38 (4): 661-675 dezembro de 2008.
- TORRES, J. L. R., PEREIRA, M. G., OLIVEIRA, F. A., PAIVA, J., CORNÉLIO, E. P., FERNANDES, F. S. Análise das características quantitativas e qualitativas da microbacia do córrego barreiro, afluente do Rio Uberaba. **Revista Árvore**. v.35. n.4. Viçosa. julho-agosto. 2011.
- TRETIN. R. & ROBAINA. L. E. de S. Metodologia para mapeamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul. **Anais... XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – USP**. 05 a 09 de setembro de 2005.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1, Diretoria Técnica, Rio de Janeiro. 1977. 97 p.
- UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. **USGS**. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acessado em 21 de junho de 2016.
- VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.
- WANDERLEY, M. F. B. **Estudos em estimação de densidade por Kernel: Métodos de seleção de características e estimação do parâmetro suavizador**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Belo Horizonte-MG. 2013. 96 f.: il.