

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA**

DINAMERES APARECIDA ANTUNES

**DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM RELAÇÃO ÀS ESTRADAS
NO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS, PARANÁ, APLICANDO
ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

**PONTA GROSSA
2018**

DINAMERES APARECIDA ANTUNES

**DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL EM RELAÇÃO ÀS ESTRADAS
NO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS, PARANÁ, APLICANDO
ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, linha de pesquisa Dinâmicas Naturais e Análise Socioambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Rosemeri Segecin Moro

PONTA GROSSA

2018

A636 Antunes, Dinameres Aparecida
Diagnóstico da fragilidade ambiental em relação às estradas no Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná, aplicando Análise Multicritério/ Dinameres Aparecida Antunes. Ponta Grossa, 2018. 106 f.; il.

Tese (Doutorado em Geografia – Área de concentração – Dinâmicas Naturais e Análise Socioambiental.), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Rosemeri Segecin Moro

1. Analytic Hierarchy Process. 2. Álgebra de mapas. 3. Análise de entorno. I. Moro, Rosemeri Segecin. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa – Doutorado em Geografia. III. T.

CDD : 574.5

Ficha catalográfica elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos– CRB9/986

TERMO DE APROVAÇÃO

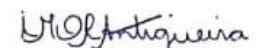
DINAMERES APARECIDA ANTUNES

"ESTRADAS E FRAGILIDADE AMBIENTAL NO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS, PARANÁ"

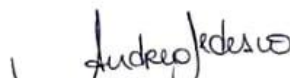
Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:



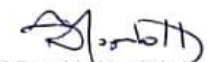
Profª Drª Rosemeri Segecin Moro/Orientadora
UEPG



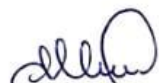
Profª Drª Lia Maris Orth Ritter Antiqueira
UTFPR



Profª Drª Andrea Tedesco
UEPG



Profº Drº Ronaldo Magalhães
UNICENTRO



Profº Drº Isobel Sandino Meneguzzo
UEPG

Ponta Grossa, 22 de Agosto de 2018

Dedico este trabalho à Amarilda, Thamiris e Thaís (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Dra. Rosemeri Segecin Moro, por me acolher na caminhada do Doutorado, por partilhar o conhecimento, por toda paciência, apoio e pela disposição de tempo nos dias mais improváveis de orientação. Saiba que é para mim um exemplo a ser seguido como professora e ser humano.

Aos professores que aceitaram participar da banca e contribuir com o trabalho: Dra. Lia Maris O. Ritter Antikeira, Dr. Ronaldo Maganhotto, Dra. Andrea Tedesco e Isonel S. Meneguzzo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que participaram em algum momento na minha formação, agradeço aos ensinamentos e por instigar as perguntas que me levaram ao caminho da pesquisa.

À Universidade Federal do Piauí, em especial aos colegas do Departamento de Transportes (DT), pelo incentivo, apoio e liberação em alguns momentos que foram essenciais ao desenvolvimento do trabalho.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), em especial ao escritório de Ponta Grossa.

Aos colegas de Doutorado e a todos os meus amigos pela paciência e troca de ideias, em especial a Elisana Milan pela parceria nesses anos de doutoramento.

A todos, que de alguma forma, ajudaram no desenvolvimento desse trabalho.

E agradeço, especialmente, aos meus amores: à minha mãe Amarilda, minha irmã Thamiris e meu noivo Gleifer, obrigada por toda a paciência que vocês tiveram comigo nessa jornada, por todo apoio e motivação.

RESUMO

O Parque Nacional dos Campos Gerais (PNCG) constitui uma importante unidade para a conservação, no entanto ainda há entraves à sua implementação, dificultando seu principal propósito, a conservação. Neste trabalho optou-se por metodologia de Análise Multicritério (AMC) para identificar as áreas críticas do PNCG, considerando os impactos de fluxos laterais direcionados às áreas naturais. Utilizou-se a Análise de Entorno, AMC por AHP (*Analytic Hierarchy Process*), e álgebra de mapas para gerar cartogramas de fragilidade referente a geologia, solos, declividade, uso e ocupação da terra e distância de estradas. Comparando-se os cartogramas de fragilidade com as classes na lógica booleana, percebe-se que para algumas áreas foram obtidos valores muito próximos ao limite das classes, de maneira que foram pouco representativos da verdade de campo. Por isso, considerou-se que o emprego da lógica *fuzzy* permitiu a melhor visualização dos intervalos, ainda que nesta ocorra uma limitação para a quantificação dos dados. Como resultado, observou-se que as áreas mais frágeis referem-se a Formação Furnas e sedimentos recentes associados a solos mais frágeis, com declividades mais altas e uso e ocupação da terra incompatíveis com a conservação. Há estradas e interseções com a rede hidrográfica em áreas de solos, geologia, declividade e usos e cobertura da terra frágeis, este padrão espacial pode afetar os processos ecológicos, gerando fragmentação da paisagem e desequilíbrios em habitats. Em relação às estradas, as áreas mais frágeis estão próximas aos pontos turísticos dentro do parque, como o rio São Jorge, a Cachoeira da Mariquinha e a fumaça Buraco do Padre. Estas áreas demandam atenção prioritária dos gestores, pois a intensidade de fluxo e mau uso podem gerar e acelerar processos de erosão e afetar a bio e geodiversidade.

Palavras-chave: *Analytic Hierarchy Process*. Álgebra de mapas. Análise de entorno.

ABSTRACT

The National Park of Campos Gerais (PNCG) is an important conservation unit, however it still have some difficulties towards its implementation and the achievement of its main goal, conservation. In this study we use Multicriteria Analysis to identify critical areas in PNCG considering the impacts of road lateral flux upon natural areas. It was applied buffer analysis, Multicriteria Analysis for AHP (Analytic Hierarchy Process) and map algebra to generate PNCG fragility cartograms related to geology, soils, slope, land use and occupation and roads distance. Comparing the fragility maps classified by boolean logic, some areas presented values very close to the class limits, so the classification was somehow far from the field veracity. As consequence, it was used *fuzzy* logic that showed better the class intervals, although limiting the data quantification. As results, it was observed that the most fragile areas are mainly under Furnas Formation and Recent Sediments, associated to fragile soils, higher slopes, and land use that are unsuitable for conservation. There are roads and rivers interceptions in very fragile areas, this spatial pattern could lead to fragmentation and habitat disturbances. Related to roads, the most fragile areas are close to tourist attractions inside the park as São Jorge River, Marquinha Waterfall, “Buraco do Padre” Cave. This areas demand priority actions from the park managers so the flow intensity and bad use can origin and accelerate erosion processes, affecting geo and biodiversity.

Keywords: Analytic Hierarchy Process. Map algebra. Buffering Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice Randômico em relação a ordem das matrizes	39
Figura 2 - Localização do PNCG.....	42
Figura 3 - Elaboração da base cartográfica.....	45
Figura 4 - Formações geológicas no PNCG.....	49
Figura 5 - Solos no PNCG.....	54
Figura 6 - Procedimentos para eliminar erros do MDE	55
Figura 7 - Hipsometria no PNCG.....	56
Figura 8 - Declividade no PNCG	57
Figura 9 - Etapas da classificação do uso e ocupação da terra	59
Figura 10 - Uso e ocupação da terra no PNCG.....	63
Figura 11 - Níveis AHP.....	64
Figura 12 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	65
Figura 13 - Álgebra de Mapas	71
Figura 14 - Procedimentos mapa de fragilidade.....	71
Figura 15 - Proc. para geração mapa de fragilidade em relação a estradas	73
Figura 16 - Classes de fragilidade para os critérios AHP	76
Figura 17 - Mapa de Fragilidade do PNCG.	78
Figura 18 - Estradas e áreas de entorno	81
Figura 19 - Pontos de interseção entre malha viária e hidrografia	82
Figura 20 - Fragilidade em relação a estradas	84
Figura 21 - Processos erosivos	85
Figura 22 - Estrada desativada na Fazenda Cambiju	85
Figura 23 - Ponte Preta	86
Figura 24 - Tabulação cruzada.....	87
Figura 25 - Classe 1 "muito baixa" fragilidade.....	87
Figura 26 - Classe 2 "baixa" fragilidade.....	88
Figura 27 - Classe 3 "moderada" fragilidade.....	88
Figura 28 - Classe 4 "alta" fragilidade	89
Figura 29 - Classe 5 "muito alta" fragilidade.....	89
Figura 30 - Tabulação cruzada.....	91
Figura 31 - Fragilidade geral do PNCG (lógica fuzzy), sem considerar as estradas .	92
Figura 32 - Fragilidade do PNCG considerando as estradas (lógica fuzzy)	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala de julgamento	38
Quadro 2 - Produtos utilizados na base cartográfica do PNCG	44
Quadro 3 - Características das bandas utilizadas do satélite Sentinel-2.....	58
Quadro 4 - Classes de uso e ocupação da terra	60
Quadro 5 - Graus de fragilidade do substrato rochoso do PNCG	65
Quadro 6 - Classes de Fragilidade para o atributo solo.	67
Quadro 7 - Grau de Fragilidade em relação aos solos no PNCG.....	68
Quadro 8 - Grau de Fragilidade em relação à declividade no PNCG.....	68
Quadro 9 - Grau de Fragilidade em relação à cobertura vegetal.	69
Quadro 10 - Fragilidade para uso e ocupação da terra no PNCG.....	70
Quadro 11 - Classes das áreas de entorno (buffers)	72
Quadro 12 - Classes de fragilidade	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de julgamento	37
Tabela 2 - Matriz de confusão da classificação de uso e ocupação da terra	62
Tabela 3 - Matriz de comparação pareada entre critérios	77
Tabela 4 - Área das classes de fragilidade considerando as estradas no PNCG	79
Tabela 5 - Matriz de comparação pareada AHP	80
Tabela 6 - Área das classes de fragilidade considerando as estradas no PNCG	83
Tabela 7 - Comparação de área e percentual dos mapas de fragilidade gerados	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 ECOLOGIA DE PAISAGEM: ABORDAGENS E CONCEITOS.....	14
2.2 ESTUDOS DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO A PARTIR DA ECOLOGIA DA PAISAGEM.....	18
2.3 CRIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS.....	20
2.4 ESTRADAS E IMPACTOS SOBRE O MEIO FÍSICO E BIOLÓGICO	27
2.5 CONCEITO DE FRAGILIDADE.....	32
2.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS.....	43
3.2.1 MATERIAIS	43
3.2.2 GEOLOGIA.....	46
3.2.3 SOLOS	50
3.2.4 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO	55
3.2.5 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	58
3.3 AHP APLICADA PARA DETERMINAR A FRAGILIDADE NO PNCG	64
3.3.1 DEFINIÇÃO DOS PESOS	64
3.3.2 ÁLGEBRAS DE MAPAS E ANÁLISE DE ENTORNO	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	94
6 REFERENCIAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

O Parque Nacional dos Campos Gerais (PNCG) foi criado por Decreto Federal no ano de 2006, localiza-se nos Campos Gerais na região centro oriental paranaense, em área de extrema relevância para a conservação, pois engloba singularidade geológica com locais de beleza cênica que nos ajudam a compreender parte da história da Terra. Também é importante por manter áreas com floresta de araucária, campos nativos e sua fauna respectiva, além de proporcionar conexão com outras unidades de conservação.

Passados doze anos da criação do PNCG, a sua implementação ainda não é uma realidade e acontece em passos lentos (Bach et al. 2015), as propriedades particulares na área ainda não foram desapropriadas e nelas é possível encontrarmos diversos usos contraditórios à uma Unidade de Conservação (UC), como agricultura, pecuária, mineração e turismo sem planejamento e acompanhamento (OLIVEIRA, 2014; BACH et al. 2015).

A escolha do PNCG como área de estudo se deu em virtude a sua importância para a conservação da bio e geodiversidade e também por sua situação política, de ser uma UC ainda não implementada e que necessita de subsídios para o plano de manejo e gestão.

Dentre os elementos antrópicos possíveis de impedir a conservação há as estradas, no PNCG estão presentes devido às atividades econômicas existentes. A infraestrutura de transporte interage com a paisagem circundante, pode-se citar como exemplo dos impactos ambientais visíveis os processos erosivos nas margens de algumas estradas.

As estradas podem ser consideradas como barreiras, pois geram processos de fragmentação da paisagem, gerando efeito de borda com alteração de habitat, causando impactos ambientais desde a sua implantação e continuando com sua operação (RODRIGUES, 2010). Os ambientes com efeito de borda representam um desafio interessante para a conservação e precisam ser levados em consideração nos planos de conservação e manejo para melhorar a adequação do habitat.

A estrada é um fluxo bidirecional, lateral e longitudinal, pois há condução de energia e matéria por meio desta e dentre processos acontecem desencadeando impactos negativos. Para a conservação, os fluxos laterais direcionados da estrada para as áreas naturais, são importantes porque interagem com toda a paisagem

próxima e ocasionam efeitos negativos como a fragmentação, introdução de poluentes e elementos exóticos, mudando a estrutura da paisagem.

Dessa forma, os fluxos laterais são considerados nesse trabalho, não no sentido de medir a sua intensidade, mas de identificar no PNCG quais são as áreas mais frágeis em relação às estradas e as variáveis que interagem com esta.

A fragilidade ambiental relaciona-se a ideia de que uma parte ou mesmo o todo de um ecossistema pode ser lesado com mais facilidade ou com alto risco de irreversibilidade (ALBUQUERQUE et al, 2015). De acordo com Ross (1994), o estudo da fragilidade deve considerar os componentes do estrato geográfico como os tipos de solo, geologia, declividade e uso e ocupação da terra, estes são os critérios comumente utilizados.

Considera-se neste trabalho como hipótese a possibilidade acrescentar aos critérios de avaliação de fragilidade ambiental já consagrados (geologia, solos, declividade e uso da terra) as estradas como uma das variáveis a serem consideradas, devido aos efeitos que pode ocasionar à paisagem.

Para a análise da fragilidade ambiental um mecanismo eficaz é a construção de mapas de fragilidade ambiental, estes são úteis ao planejamento e gestão ao identificar as áreas frágeis.

De modo a gerar os mapas avaliando a fragilidade busca-se aplicar metodologia baseada no uso da Análise Multicritério (AMC) por meio da técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process* - Processo Analítico Hierárquico), Análise de Entorno e Álgebra de mapas.

A AMC permite que vários critérios sejam avaliados de maneira integrada e a AHP permite estimar o peso que cada um destes tem na análise.

Na Análise de Entorno cria-se uma área de entorno ao redor da estrada para delimitar a o efeito de borda que para posterior avaliação junto a AMC e a álgebra de mapas.

O texto está organizado em referencial teórico, onde são expostos os conceitos e trabalhos que nortearam o estudo, como os de Ecologia de Paisagem, impactos de estradas em áreas de conservação e formas de avaliá-los.

Em seguida há uma breve caracterização da área de estudo, posteriormente, são explicitados os procedimentos metodológicos, os resultados e discussão e as considerações finais e recomendações.

1.1 OBJETIVO GERAL

Gerar mapa de fragilidade ambiental considerando a influência das estradas usando técnicas de geoprocessamento, Análise de Entorno e Análise Multicritério (AMC).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar a área de estudo com elaboração de banco de dados espaciais conforme escala adequada à análise espacial e dados disponíveis;
- Processar de dados espaciais e geração de mapeamentos derivados (uso da terra, relevo, declividade, NDVI, solos, geologia);
- Seleção de parâmetros influenciadores da fragilidade ambiental e seus pesos;
- Aplicar AMC e gerar mapa de fragilidade ambiental a partir dos critérios definidos anteriormente;
- Aplicar Análise de Entorno nas estradas;
- Definir os parâmetros para fragilidade ambiental a partir das estradas;
- Aplicar AMC e gerar mapa de fragilidade ambiental considerando a estrada como critério;
- Gerar mapa de conflitos entre os mapas de fragilidade ambiental a partir da álgebra de mapas;
- Comparar os mapas de fragilidade gerados e mapa de conflitos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Parque Nacional dos Campos Gerais - PNCG é uma unidade de conservação localizada na região centro leste do estado do Paraná com grande relevância pelos seus aspectos ecológicos e geodiversidade, para o qual um significativo acervo de informações vem sendo amealhado nas últimas décadas, incluindo abordagens na escala de paisagem.

Em estudos de unidades de conservação devem ser avaliadas de forma integrada diversas variáveis bióticas e abióticas constituintes da paisagem, analisando a sua dinâmica e inter-relações de maneira interdisciplinar. Nesse sentido, a Ecologia da Paisagem permite a utilização de abordagens sistêmicas ao agregar fatores ecológicos e padrões espaciais na mesma análise, empregando geoprocessamento. Deste modo, o referencial teórico a seguir consiste numa breve revisão conceitual da Ecologia da Paisagem e geoprocessamento nos estudos geográficos, especificamente em unidades de conservação no Brasil.

2.1 ECOLOGIA DE PAISAGEM: ABORDAGENS E CONCEITOS

A paisagem é um dos conceitos chave na Geografia, sendo um tema antigo e bastante discutido para se entenderem as relações sociais naturais em um determinado espaço (SCHIER, 2003). Para a compreensão desse conceito uma das abordagens mais empregadas atualmente é a Ecologia da Paisagem.

Tricart (1977), argumenta que a Geografia Física é um aspecto da Ecologia, porque tem como objeto de estudo o meio ambiente, que está incluso no conceito de ecossistema com o ser humano, o qual tanto influencia quanto é influenciado pelo ambiente. Ainda segundo Tricart (1977), utilizar a orientação conceitual e metodológica da Ecologia na Geografia Física, e vice versa, levaria a uma visão mais global dos aspectos de cunho ambiental, do ordenamento do território, da compreensão global da paisagem, integrando diversos elementos numa análise socioambiental. Assim, a origem da Ecologia da Paisagem é consequência também do desenvolvimento da Ecologia de Ecossistemas, da observação das inter-relações da biota (incluindo o homem) com o seu ambiente, formando um todo.

Enquanto Hobbs (1994), argumentava que a Ecologia da Paisagem seria considerada uma área de conhecimento emergente, em busca de arcabouços teóricos

e conceituais sólidos, Siqueira, Castro e Faria (2013), por outro lado, destacam o fato de que a Ecologia da Paisagem nasce conclamando geógrafos e ecólogos a trabalharem juntos na análise da paisagem e, ao envolver pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, unifica conceitos de várias áreas como a Geografia, Antropologia, Biologia e Ecologia. No entanto, a Ecologia da Paisagem apresenta duas abordagens distintas, a geográfica e a ecológica (METZGER, 2001).

A abordagem geográfica teve suas origens com pesquisadores geógrafos na década de 1970, a partir das proposições de Carl Troll em 1939, e foi fortemente influenciada por disciplinas da Geografia Humana, Fitossociologia e Biogeografia. Na perspectiva da abordagem geográfica, a paisagem é conceituada como a entidade visual e espacial total do espaço vivido pelo homem e há três aspectos que a caracterizam, conforme menciona Metzger (2001):

1. Preocupação com o planejamento da ocupação territorial, mediante conhecimento dos limites e potencialidades de uso econômico de cada unidade da paisagem;
2. O estudo das paisagens fundamentalmente modificadas pelo homem, ou paisagens culturais,
3. Análise de amplas áreas espaciais, nesse sentido englobando questões em macro escalas espaciais e temporais.

O conceito da paisagem, na abordagem geográfica seria:

Conjunto interativo da paisagem composto por “ecossistemas” ou por unidades de “cobertura” ou de “uso e ocupação do território”, sendo que a escolha de umas dessas três formas de representar as unidades da paisagem é feita (arbitrariamente) pelo observador. Os limites entre esses conjuntos interativos da paisagem seriam então definidos por três fatores: o ambiente abiótico (formas de relevo, tipos de solo, dinâmica hidrogeomorfológica, parâmetros climáticos, em particular), as perturbações naturais (fogo, tornados, enchentes, erupções vulcânicas, geadas, por exemplo) e antrópicas (fragmentação e alteração de habitats, desmatamento, criação de reservatórios, implantação de estradas, entre outros). Estes fatores condicionam, em primeiro lugar, a presença de determinadas unidades” (METZGER, 2001, p. 4).

A abordagem ecológica da paisagem surgiu na década de 1980 e foi impulsionada principalmente por pesquisadores norte-americanos e o grande desenvolvimento tecnológico advindo de ferramentas computacionais, das imagens de satélite, do geoprocessamento, das análises espaciais e geoestatística. De acordo

com Metzger (2001), dá-se maior ênfase às paisagens naturais ou a unidades naturais da paisagem, à conservação da biodiversidade e ao manejo de recursos naturais, e as escalas espacial e temporal variam dependendo do objeto e espécie de estudo.

A conceituação de paisagem nesse enfoque é definida como:

“Conjunto de habitats que apresentam condições mais ou menos favoráveis para a espécie ou a comunidade estudada. Desta forma, o olhar sobre a paisagem é feito através destas espécies, de suas características biológicas, em particular de seus requerimentos em termos de área de vida, alimentação, abrigo e reprodução. Dentro desta perspectiva, a escala espaço-temporal de análise não é obrigatoriamente ampla, como na primeira abordagem, pois ela depende da escala de ação/percepção da espécie/comunidade em estudo” (METZGER, 2001, p. 4).

Com relação à Ecologia da Paisagem, Metzger (2001) aponta a nítida dualidade nas duas abordagens. Considerando a análise geográfica, o autor menciona que há uma ecologia humana de paisagens, que considera como centro das análises as interações do ser humano com seu ambiente e que, nesse sentido, a paisagem é fruto dessa interação da sociedade e natureza. Há também uma ecologia espacial de paisagem, seguindo a abordagem ecológica, onde o centro da preocupação está na compreensão das consequências do padrão espacial nos processos ecológicos.

Segundo Galvão e Faissol (1970), invenções causam revoluções não só na tecnologia, mas também no próprio conhecimento científico e da maneira de produzi-lo, e o advento da computação trouxe novas possibilidades às pesquisas. Na Geografia, associa-se o início do uso da computação e das geotecnologias à tendência de aplicação tecnológica-prática de suas pesquisas, e a esse estágio deve-se a revolução quantitativa na Geografia. Por meio de métodos de análise de dados mediante técnicas matemáticas, físicos e estatísticas, a quantificação ofereceu meios pelos quais a teoria pôde ser desenvolvida e melhorada, colocando a Geografia próxima às outras ciências, como a Ecologia, onde leis gerais de estruturação, organização e modelos podem ser formulados. Conforme Vitte (2007), com a Geografia Teórica e Quantitativa se iniciou o uso da modelagem e suas variáveis e, para o seu tratamento, o uso do computador teve papel fundamental favorecendo o armazenamento e correlação de dados, facilitando a manipulação de volumes maiores e condições de atualizações. Portanto, há analogias entre a abordagem ecológica de Paisagem e a Geografia Teórica e Quantitativa, ainda que alguns autores, como

Metzger (2001), apontem uma dualidade no objeto de análise nas duas abordagens. Considerando a análise geográfica, o autor menciona que há uma ecologia humana de paisagens, que considera como objeto de estudo as interações do ser humano com seu ambiente, e que nesse sentido a paisagem é fruto dessa interação da sociedade e natureza. Já na análise ecológica de paisagem, o centro da preocupação está na compreensão das consequências do padrão espacial nos processos ecológicos, antrópicos ou não, tendo como objeto final a sociedade e/ou a natureza apenas. Ainda assim percebe-se a Ecologia da Paisagem como uma ciência completamente correlacionada à Geografia, na temática das relações humanidade e meio ambiente e no uso de geoprocessamento nas análises.

Retomando Metzger (2003) e o estudo da relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, é necessário quantificar padrões espaciais, a chamada estrutura da paisagem. Há diferentes parâmetros, métricas e índices para a quantificação da estrutura da paisagem. Estes podem ser divididos em parâmetros de composição e parâmetros de disposição, passíveis de análise mediante Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Processamento Digital de Imagens (PDI).

De acordo com Lang e Blashke (2009), o conceito de estrutura de paisagem aplica-se ao estudo do mosaico de paisagem que surge do padrão e ordenamento espacial das unidades de paisagem. Assim, trabalha com as feições espaciais/estruturais observáveis e mensuráveis na paisagem, caracterizando as suas condições, seu desenvolvimento e sua mudança temporal. Estruturas e padrões espaciais são manifestações espaciais/temporais de processos que ocorrem em diferentes planos de escala, e busca-se caracterizar as condições a partir de feições espaciais mensuráveis e observáveis, causas e efeitos da heterogeneidade espacial sobre os diferentes processos ecológicos. Diversos autores argumentam que a observação desse ordenamento somente é possível a partir de uma certa distância mínima, empregando-se o Sensoriamento Remoto.

Em diversos trabalhos de Ecologia da Paisagem o uso de unidades de paisagem está associado ao nível hierárquico de escala. De acordo com Metzger (2001), a escala é definida a partir do observador, resultando em análises tanto de micro quanto de macro escala, dependendo do objeto de estudo e da dependência espacial entre as unidades de paisagem. Ou seja, o seu funcionamento e dinâmica

dependem de interações com unidades vizinhas, e sua problemática é o efeito da estrutura da paisagem ou seu padrão espacial nos processos ecológicos.

Na Ecologia da Paisagem há três aspectos básicos essenciais, conforme ressalta Neef (1967) apud Lang e Blashke (2009): estrutura, função e mudança.

A estrutura, de modo geral, preocupa-se com a configuração específica da paisagem no que se refere ao seu tamanho e forma, ao seu tipo e distribuição quantitativa, bem como ao seu arranjo no espaço. Os elementos servem como indício para identificação da distribuição de energia e matéria, de organismos e populações;

Função, consideram-se as interações entre os elementos da paisagem, seus componentes e componentes do sistema, com enfoque na permuta e no fluxo de energia, matéria e organismos;

Desenvolvimento e mudança, ou seja, a mudança de estrutura e função dependendo do tempo. Laush (1999) designa medidas da estrutura da paisagem como “indicadores por meio de padrões, composição e configuração [...] e sua [...] mudança espacial-temporal, permitindo conclusões sobre a mudança da paisagem (LANG; BLASHKE, 2009, p. 111).

Leser (1997) apud Lang e Blashke (2009) afirma que os compartimentos da paisagem, como os diferentes usos da terra, as rochas e solo, os tipos de estradas, etc. são designados como geofatores. Nesse trabalho, optou-se por considerar a paisagem na abordagem geográfica apresentada por Metzger (2001), composta por unidades de uso e cobertura da terra e condicionada por geofatores quantificáveis, naturais e antrópicos. No entanto, busca-se extrapolar a dualidade ecológica ao considerarmos as estradas e os fluxos viários como um aspecto da estrutura espacial, fruto da interação da sociedade humana com o ambiente, com consequências no padrão espacial dos processos ecológicos locais. Serão considerados os parâmetros de composição, pois estes visam a compreensão de que unidades estão presentes na paisagem, qual o seu estado de riqueza e a área ocupada por estas. Já os parâmetros de disposição quantificam o arranjo espacial em graus de fragmentação, isolamento, conectividade e complexidade das manchas que compõe a paisagem (METZGER, 2003).

2.2 ESTUDOS DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO A PARTIR DA ECOLOGIA DA PAISAGEM

De acordo com Bensusan (2006), a implementação e estabelecimento de unidades de conservação é o principal instrumento para a conservação da biodiversidade, citando Mulongoy e Chape (2003), ao mencionar que neste início do século XXI 80% dos países possuem áreas protegidas e essas somariam 11,5% da superfície terrestre.

Segundo Pureza, Pellin e Pádua (2015) e Bensusan (2006), a existência de áreas protegidas remota há tempos antigos, sendo que há registros do ano de 252 a.C. na Índia em que o imperador ordenou a proteção de áreas florestadas e de determinadas espécies terrestres e aquáticas. Também data do século III, ainda na Índia, reservas reais de caça. Na Rússia houve a criação de florestas sagradas e senhores feudais tinham reservas de florestas para suprimento de madeira, caça e pesca por toda a Europa. No Brasil, há registros de que já em 1605 havia a preocupação de proteger áreas para a conservação da espécie do pau-brasil; e no Rio de Janeiro, no século XVIII, com a derrubada das matas, tanto que em 1796 declarava-se, em Cartas Régias, que as matas e árvores eram de propriedade da Coroa, com o objetivo de coibir a derrubada (PUREZA; PELLIN; PADUA, 2015).

Segundo Diegues (1999), o Brasil apresenta uma das maiores taxas de diversidade biológica do planeta, no entanto, a fragmentação dos habitats e a supressão da vegetação nativa são consideradas ameaças à biodiversidade nacional e global, pois interferem nos parâmetros demográficos de diferentes espécies e na estrutura e dinâmica dos ecossistemas (SIQUEIRA; CASTRO; FARIA, 2013). Uma das alternativas para conservação da biodiversidade é a implementação de áreas de proteção, que são territórios geográficos definidos e objetivam garantir a conservação da natureza e dos ecossistemas a longo prazo.

Ressalta-se que, de acordo com Pureza, Pellin e Pádua (2015), mundialmente a terminologia utilizada é 'áreas protegidas', enquanto no Brasil se utiliza 'unidade de conservação', portanto consideram-se como sinônimos esses dois termos nesse trabalho.

De acordo com Pivello e Korman (2005), uma Unidade de Conservação (UC) é um fragmento de área com vegetação natural, com sua fauna associada e suporte abiótico, mas que mantém trocas e fluxos com o ambiente circundante. Logo, os arredores da UC e seus usos devem ser considerados em suas análises.

Na Ecologia da Paisagem consideram-se as UCs como integrantes de um sistema, e Diakonov (1988) *apud* Amorim e Oliveira (2008) argumenta que cada

paisagem possui a sua dinâmica funcional. Esta sustenta-se por mecanismo e balanços de fluxos de energia, matéria e informação específicos e por uma cadeia de relações reversíveis que asseguram a integridade e coerência do sistema.

Tricart (1977) argumenta que o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico para estudar os problemas do meio ambiente:

Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise - que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação - e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação - o que não é o caso de um inventário, por natureza estático” (TRICART, 1977, p. 19).

O autor supracitado conceitua sistema como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia, os quais se originam de relações de dependência mútua entre os fenômenos. A partir dessas relações o sistema apresenta propriedades que lhe são inerentes e diferem da soma das propriedades de seus componentes, garantindo assim dinâmica própria.

Os fluxos podem ser de origem natural ou antrópica e suas relações interferem no funcionamento do sistema da UC, sendo importante o seu estudo e como minimizar as suas influências na UC e área de entorno. Entre os principais fluxos que podem estar presentes nas UCs estão os referentes a cursos de água, movimentação de fauna, dispersão de propágulos e sementes da vegetação, circulação de ventos, concentração de umidade, precipitações e outros movimentos climáticos, processos erosivos, uso e ocupação da terra, transporte e movimentação de pessoas e sistema viário. Nesse sentido, o emprego da Ecologia de Paisagem no estudo de UCs é muito pertinente, pois esta considera especialmente o sistema e os fluxos nas análises.

2.3 CRIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS

Esse capítulo destaca a importância e histórico das UCs no Brasil e apresenta as políticas públicas envolvidas e os encaminhamentos para a criação do PNCG.

Bensusan (2006) argumenta que o surgimento das áreas protegidas inicialmente vinha de duas motivações: a preservação de locais sagrados por

questões históricas e religiosas e a manutenção de estoques de recursos naturais. Foi na segunda metade do século XIX que paisagens naturais começaram ser consideradas para a conservação. No entanto, sempre presente a premissa religiosa na qual “as paisagens naturais possuíam um forte componente sobrenatural e até mesmo religioso: as paisagens sublimes eram aqueles raros lugares onde o ser humano teria maior chance de entrever a face de Deus” (BENSUSAN, 2006 p.13). Em decorrência dessa vertente ‘religiosa’, grande parte das UCs no mundo ocidental foram criadas com base no mito da natureza intocada, ou seja lugares isentos da ação humana (BENSUSAN, 2006; DIEGUES, 1999).

O Parque Nacional de Yellowstone nos Estados Unidos da América, de 1872, é o primeiro parque nacional instituído nos moldes como os conhecemos hoje, e seguiu o conceito de lugar intocado, onde o ser humano seria apenas um visitante (BENSUSAN, 2006). O parque objetivava proteger a beleza cênica do local e é referenciado como primeira tentativa de implementar o manejo de unidades de conservação. A primeira unidade de conservação similar no Brasil, foi o Horto Botânico de São Paulo, criado em 1896, que tinha como objetivo a produção de mudas para replantio em áreas de lavou de café e pela extração de madeiras para a produção de lenhas para ferrovias (PUREZA; PELLIN; PADUA, 2015).

À medida que foram sendo criadas várias UCs em nível mundial, a falta de um padrão de definição e objetivos dos parques levou à criação, em 1948, da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), que buscou o estabelecimento de padrões e categorização nacional de áreas protegidas e políticas de conservação.

Segundo Bensusan (2006), para o Brasil, foi no antigo Código Florestal de 1934 que se introduziu o conceito de unidades de conservação dividido em três categorias: florestas protetoras, florestas remanescentes e florestas de rendimento. Os parques se incluíam na categoria de florestas remanescentes. Houve a criação, nesta década, dos Parques Nacionais de Itatiaia (1937), do Iguaçu e da Serra dos Órgãos (1939). Ainda na década de 1930 haviam 226 UCs e grande parte delas foi criada em áreas sem aptidão para outros usos econômicos, em situações casuísticas para a destinação de um ou mais imóveis da União. Ainda não havia preocupação conservacionista, como a preservação da biodiversidade, tampouco com os princípios básicos da biologia da conservação na delimitação das áreas a serem protegidas (OLIVEIRA, 2014).

Na Constituição de 1988 foi definido que compete ao poder público designar áreas protegidas e garantir que elas contribuam para a existência de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Mais de dez anos depois, foi promulgada a Lei nº 9.985 de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Esta reúne o conjunto de unidades de conservação federais, estaduais e municipais que são classificadas em Unidades de Proteção Integral (as quais objetivam preservar a natureza admitindo apenas o uso indireto dos seus recursos naturais) e as UCs de uso sustentável (em que é possível compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais).

Dentre as Unidades de Proteção Integral do SNUC está a categoria de Parque Nacional que, de acordo com Brasil (2000), visa a preservação dos ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. Sua posse deve ser de domínio público, portanto as áreas particulares devem ser desapropriadas.

Conforme OLIVEIRA (2014), atualmente a criação de UCs no Brasil se baseia na Convenção sobre a Biodiversidade Biológica (CDB), que estabelece um plano estratégico e metas com o objetivo de conservação da biodiversidade estabelecidas durante a ECO-92 (Convenção das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD) e se constitui como instrumento de grande importância às questões relacionadas ao meio ambiente (MMA, 2018). Em 2006, a 8ª Conferência das Partes da CDB, em Curitiba, atualizou e complementou a estrutura de metas e indicadores das Metas Nacionais da Biodiversidade.

Para o MMA (2007), O PROBIO é o mecanismo de auxílio técnico e financeiro na implementação do Programa Nacional da Diversidade Biológica - PRONABIO, tendo como objetivo identificar ações prioritárias, estimulando subprojetos que promovam parcerias entre os setores públicos e privados, gerando e divulgando informações e conhecimentos no tema. É importante na criação das UCs, pois subsidia levantamentos como o mapeamento da cobertura vegetal dos biomas, os diagnósticos de espécies exóticas invasoras, atualização de listas de fauna e flora em extinção, variedades locais e parentes silvestres de espécies de plantas nativas cultivadas, dentre outros. Um dos principais instrumentos do PROBIO é o Mapa de

Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (OLIVEIRA, 2014), o qual contemplou os campos paranaenses e as florestas de araucárias como prioridade alta e muito alta para a conservação (MMA-BRASÍLIA, 2003), com vistas a promover a conservação de 17% dos biomas presentes no território brasileiro.

O PNCG que localiza-se nos Campos Gerais do Paraná, uma zona fitogeográfica com predomínio de campos, existindo matas ciliares e cerrados no entorno de rios e há capões isolados com florestas de araucárias (MAACK, 1950).

As áreas com florestas de araucárias e campos sulinos até o fim da década de 1990, participavam com percentual muito pequeno em UCs Federais de Proteção Integral ou Uso Indireto, por isso a importância de se dar prioridade a essas áreas que originalmente ocupavam grande parte do território, mas com os usos econômicos houve devastação da cobertura original.

Silva e Dinnouti (1999) apud Oliveira (2014) apontam que tais valores de área de UC de campos sulinos e florestas de araucárias eram respectivamente de 0,62% e 0,27%, sendo menores ainda nas UCs estaduais, ou seja muito abaixo do recomendado pela CDB e que não garantiam a conservação do bioma e da biodiversidade da região, sobrando apenas poucos fragmentos desconectados. Destaca-se também que na região sul do país, localização principal de ocorrência dessas formações fitogeográficas, o desmatamento acontecia com avanços em função do agronegócio.

Em função disso, o MMA mediante a portaria nº 49/2002 elaborou um Grupo de Trabalho (GT) multidisciplinar e multi-institucional, com o objetivo de elaborar estudos e apresentar propostas de preservação dos remanescentes de Floresta Ombrófila Mista. Essa ação do MMA era de importância, pois de acordo com o relatório do PROBIO Araucárias em relato preliminar ao MMA, havia evidências de que nessa época existiam somente 0,8% (66.109ha) de Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná, sendo que este estado originalmente teria mais de 37% (7.378.000ha) de seu território ocupado por esta formação fitogeográfica (MAACK, 1950).

Oliveira (2014) menciona que o GT apresentou ao MMA um relatório com recomendações e com indicação de áreas para a criação de UCs, estas motivaram as Portarias nº 506 e 507 de 20 de Dezembro de 2002 do MMA, que delimitavam poligonais para estudos mais detalhados, a realização de estudos técnicos preliminares, consultas públicas e procedimentos administrativos para criação das

UCs e implantação de medidas de proteção e recuperação das áreas. As áreas compreendidas neste polígono situavam-se nos municípios paranaenses de Tuneiras do Oeste, Candói, Guarapuava e Palmas, e nos catarinenses de Ponte Serrada, Abelardo Luz e Água Doce.

Foi criado o NAPMA/MMA (Núcleo da Mata Atlântica e Pampa / Ministério do Meio Ambiente), este apontou áreas como prioritárias para a criação de UCs na Mata Atlântica centrando esforços na região da floresta com araucárias no Paraná e Santa Catarina, e nessa época estabeleceu informalmente uma força-tarefa, com a missão de estudar, identificar, avaliar e propor a criação de UCs, esta foi denominada de Força-Tarefa das Araucárias (OLIVEIRA,2014).

O autor supracitado menciona que além de indicar a área dos polígonos as Portarias determinavam a suspensão de plantio de espécies exóticas no interior e no entorno das áreas, permitindo somente o reflorestamento com araucárias e espécies nativas. Este fato incidiu na resistência de empresas e proprietários privados paranaenses e catarinenses, pois estes afirmavam que se seguissem as recomendações comprometeriam a produção de grãos, carnes e leite, e impediriam produtores rurais de trabalhar. A mobilização deste setor motivou a reedição das Portarias, esclarecendo que as restrições previstas só teriam aplicação às atividades agrícolas, pecuárias e de reflorestamento novas, ficando de fora as áreas onde tais atividades já eram praticadas anterior a sua publicação.

No trabalhos de campo, o grupo de estudos constatou desmatamentos recentes, em curso e exploração de espécies florestais nativas nos polígonos delimitados nas Portarias, afora a conversão dessas áreas para a agricultura. Consequentemente houve descaracterização ambiental em uma das áreas passíveis de criação de um Parque Nacional, na região de Candói. Em Guarapuava e arredores foram constatados diversos fragmentos distribuídos ao longo da Serra da Boa Esperança, e devido a dispersão e baixa conectividade, a área foi considerada apta para ser uma UC Federal de Proteção Integral. Devida a essas inviabilidades a Força-Tarefa das Araucárias buscou localizar outras áreas para criar UCs, e assim em 2004 junto ao IAP iniciou-se as buscas na região dos Campos Gerais do Paraná, nas proximidades de Ponta Grossa, Paraná (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com Oliveira (2014), houve interesse em uma área nas proximidades de Imbituva onde havia um extenso fragmento de floresta com araucárias em estado de regeneração; formações hidromórficas (várzeas) ao longo

do rio Tibagi e alguns afluentes; e um mosaico de florestas com araucárias, campos sulinos e formações rupestres, localizado entre os municípios de Ponta Grossa, Castro e Carambeí, num trecho da Escarpa Devoniana. Ressalta-se que a área junto a Escarpa Devoniana já havia sido considerada prioritária para a conservação em um outro projeto apoiado pelo PROBIO. Dessa forma, a Força-tarefa se mobilizou para o levantamento da área, sendo realizado um sobrevoo em Agosto de 2004 e os levantamentos de campo a partir de Fevereiro de 2005, contando com técnicos do MMA, do IBAMA, da SEMA/PR, IAP REDE PRÓ-UC, COSMO, UFSC, etc.

A área junto da Escarpa Devoniana após visitas em campo foi categorizada na proposta de Parque Nacional, o que futuramente viria ser o PNCG. Para delimitar a área de 21.620 ha seguiu-se as diretrizes da biologia da conservação, ampliando a conectividade entre os principais remanescentes de vegetação natural da área foco e minimizando os efeitos de borda, incluiu-se áreas com potencial de regeneração da vegetação natural e de uso público. Visando a garantia da conectividade e conservação da biodiversidade, foram incluídas áreas expressivas de uso agrosilvipastoris e edificações no polígono preliminar de limites da UC (OLIVEIRA, 2014).

A Força-Tarefa das Araucárias visitou as outras áreas e além do PNCG indicou ao MMA a proposição de criação das seguintes UCs: no Estado de Santa Catarina - Estação Ecológica da Mata Preta, Parque Nacional das Araucárias, Área de Proteção Ambiental das Araucárias, Refúgio de Vida Silvestre dos Campos de Palmas, e no Paraná: Reserva Biológica das Araucárias e Reserva Biológica das Perobas.

De acordo com o SNUC são necessárias a realização de consultas públicas para a criação das UCs e para isso MMA e IBAMA se organizaram, postaram em Diário Oficial da União, jornais de grande circulação, enviaram ofícios via correio e meio digital à classe política, e veiculação em rede de TV local. Oliveira (2014) conta que a reunião de consulta pública em Ponta Grossa para a criação do PNCG ocorreu em 19 de Abril de 2005, sob clima de expectativa e apreensão, com descontentamento exposto por parte de proprietários e representantes de setores do agronegócio com manifestações nem sempre respeitadas, houve também muitas manifestações de apoio por parte de acadêmicos da UFPR e UEPG.

Após a reunião de consulta pública houve mobilização dos proprietários, empresários e pessoas físicas contrárias ao PNCG, aconteceram manifestações

contrárias ao parque, e pressão política mediante solicitações de informações e esclarecimentos e ação na justiça Federal do Paraná contestando a criação das UCs na região dos Campos Gerais. Foi feito pedido de liminar por proprietários da região para a suspensão da criação do PNCG, o argumento era que não foram convocados a participar da consulta pública e nem teriam sido realizados estudos técnicos e disponibilizados à população com antecedência a reunião. Dirigentes do MMA também foram convocados a esclarecer as propostas das UCs da região no Congresso Nacional, onde a FAEP (Fundação da Agricultura do Paraná) apresentou relatório alegando que toda a região seria afetada na produtividade agrícola e geraria desemprego, tal fato só criou alarde à população (OLIVEIRA, 2014).

Após discussões e ajustes junto a comissões técnicas municipais se chegou a proposta definitiva do PNCG com 21.287 ha, dessa forma o MMA solicitou ao Tribunal Regional Federal de Porto Alegre que julgasse a decisão que suspendeu os procedimentos para criação do PNCG, o qual suspendeu a liminar. Dessa forma, em Março de 2006 o então Presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva assinou o Decreto de Criação da UC PNCG e outras propostas pela Força-Tarefa das Araucárias (OLIVEIRA, 2014).

No entanto, ainda assim as resistências continuaram, houve denúncia em 2005 de que havia formação de quadrilha e que os dirigentes das instituições envolvidas na criação do parque estivessem se beneficiando financeiramente, acusação que foi apurada e que se constatou que não tinha fundamento.

Com as resistências e desagradados a criação do PNCG a sua implementação também teve consequências, Oliveira (2014) argumenta que até essa época haviam propriedades que o órgão gestor sequer realizou visita formal, nem teve reunião com os proprietários em relação ao plano de manejo, gestão e regularização fundiária. Faltam recursos financeiros, pois sem estes não é possível fazer a desapropriação dos imóveis particulares, enquanto isso não ocorre e sem plano de manejo para a UC, atividades incompatíveis continuam a existir e gerar impactos negativos na área.

Argumentam Meneguzzo (2015), é essencial que além da criação as unidades de conservação sejam de fato implementadas, para que os recursos naturais não fiquem em estado de vulnerabilidade, são necessárias políticas integradoras, pois estas permitem conglomerar diversas questões que trariam melhorias para a sociedade e o meio físico e biológico.

Vemos que a mais de uma década da criação do PNCG, as dificuldades continuam, as áreas não foram desapropriadas, encontramos em visitas a campo vários usos inadequados, como por exemplo turismo desenfreado na beira do rio São Jorge e Cachoeira de Santa Bárbara, reflorestamos em várias áreas, e diversas outras que ocasionam em impactos ambientais negativos.

Há mais de uma década da criação do PNCG, as dificuldades continuam, uma vez que as áreas não foram desapropriadas e encontra-se vários usos inadequados, somente em 2018 foi criado o Conselho Consultivo do PNCG.

2.4 ESTRADAS E IMPACTOS SOBRE O MEIO FÍSICO E BIOLÓGICO

A infraestrutura de transporte é um artefato da cultura que interage com a paisagem circundante - as estradas são manifestações físicas das conexões sociais e das decisões econômicas e políticas que levam à mudança do uso da terra (COFFIN, 2007). Os estudos de efeitos ambientais dos sistemas de transportes em particular das estradas interessam a diversas áreas da ciência geográfica e ecológica.

Segundo Freitas, Teixeira e Metzger (2009) e Hawbaker et al. (2005), as estradas variam de forma e propósito, conectando-se em redes com densidades diversas, determinadas pelo relevo e os serviços oferecidos pela rede. Os autores ressaltam a importância da compreensão da distribuição da malha viária em relação também ao uso e cobertura (florestas, cursos de água, terras agrícolas e instalações rurais e urbanas) para diagnosticar áreas de vulnerabilidade na paisagem. O microclima que circunda uma estrada difere da área vizinha, pois dependendo das propriedades térmicas do pavimento, pode absorver mais calor da radiação solar, com afetando assim os solos e vegetação adjacentes (FORMAN et al., 2002).

A fragmentação causada por estradas é alternativamente medida pela quantidade de borda originada ao se criar novos usos pela interrupção de um habitat antes contínuo (FORMAN, 1995), criando mosaicos de habitats ao longo dos lados da estrada (REED; JOHNSON-BARNARD; BAKER, 1996). Portanto, as estradas implicam mudanças na estrutura das paisagens ocasionando diversos impactos, introduzindo poluentes e elementos exóticos, fragmentando populações de plantas e animais, causando mudanças comportamentais e mortalidade (FORMAN et al., 2002).

As estradas ocasionam efeitos primários e secundários sobre a biota (BENNETT, 1991; COFFIN, 2007). Delgado, Arévalo e Fernández-Palacios (2001) e

Coffin (2007) lembram que as estradas assumem comportamento de corredores na paisagem, como elementos lineares que ligam dois fragmentos anteriormente conectados (METZGER, 2001). Âs (1999), Coffin (2007) e Mader, Schell e Kornacker (1990) mencionam que espécies invasoras de plantas e animais, facilitadas ao longo das bordas a partir dos corredores formados por estradas, reduzem a biodiversidade nativa. Também Yahner (1998) aponta que espécies que dependem de habitats interiores relativamente extensos e não perturbados têm menor probabilidade de sobreviver em ambientes de borda. Além disso, segundo Warren et al. (2006), os ruídos têm um efeito variável sobre os animais. Normalmente, os mais vulneráveis são os que dependem do som, como as aves, as quais podem ter afetados seu comportamento e sucesso reprodutivo. Variáveis relacionadas às estradas como intensidade de tráfego gerando ruído e luminosidade afetam sua permeabilidade, comprometendo a capacidade de locomoção de diversas espécies.

Coffin (2007) ressalta que há décadas se publicam pesquisas sobre os efeitos das estradas sobre as populações de animais selvagens e que, com o desenvolvimento das análises em escala de paisagem, iniciaram-se estudos voltados para os efeitos mais amplos das estradas na fragmentação da paisagem e na interação com os processos paisagísticos. Para avaliar as implicações de estradas na paisagem, Forman et al. (2002) criaram o termo *Ecologia dos Transportes*, que busca integrar os princípios da Ecologia da Paisagem com a engenharia rodoviária e automotiva, baseado na evidência de que as estradas causam efeitos nos componentes, processos e estruturas do ecossistema.

A Geografia tem dado pouca atenção às consequências não desejadas das estradas. No entanto a aplicação de teorias e métodos dos geógrafos da área de transportes poderia auxiliar no avanço da compreensão sobre a dinâmica dos sistemas rodoviários e paisagens, bem como tentar diminuir os efeitos ecológicos negativos das estradas no meio ambiente (COFFIN, 2007). Um dos fatores a ser levado em consideração na avaliação dos impactos das estradas nas UCs é a dimensão de borda.

Os usos da terra e os padrões são importantes no estudo dos impactos das estradas na paisagem. Autores como Hawbaker et al. (2005) observaram que quanto maior a área com agricultura e densidade de moradias próximo as estradas, maior será a fragmentação da paisagem. Portanto, deve-se considerar a relevância das interfaces entre estradas e o ambiente circundante, em relação: à geologia, se há bom

grau de coesão dos minerais e rochas, ao solo, se este é desenvolvido, se permite o desenvolvimento de vegetação densa, em relação à vegetação, se esta é composta por espécies arbóreas ou herbáceas, etc. Os impactos das estradas serão menores quanto menor a fragilidade da área em seu entorno.

Dentre os processos de delimitação de borda há a Análise de Entorno, que envolve a criação de uma área de entorno (*buffer*) em determinada feição geográfica e, posteriormente, a identificação e análise dos elementos contidos nesta (LIU et al., 2008). Essa análise é feita com o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por meio de arquivo vetorial da feição geográfica e técnicas que contemplam a criação do *buffer*, muitas vezes sobreposto a imagens orbitais e classificações digitais que auxiliam a identificação de padrões e elementos. O tamanho da área de entorno é bastante variável, uma vez que o impacto de cada estrada pode se estender a dezenas ou milhares de metros, dependendo das características da estrada e do habitat perturbado (PALOMINO; CARRASCAL, 2007; LIU et al., 2008).

A seguir são apresentados alguns resultados de parâmetros significativos empregados para a definição de *buffers* nos principais temas relevantes à paisagem e conservação. Como nem todos os fenômenos variam em escala linear, são observadas discrepâncias entre as variadas leituras.

Em relação às mudanças em parâmetros hidrológicos e qualidade da água, Forman e Alexander (1998) afirmam que as estradas podem se estender até a rede de drenagem de córregos quando há interseção entre eles. A água, ao entrar com maior energia nos canais de rios, aumenta sua vazão, erodindo banco de canais, varrendo o canal e aumentando a probabilidade de inundação a jusante. Além da erosão, Forman et al. (2002) e Coffin (2007) argumentam que há substâncias que afetam tanto as áreas mais próximas da própria estrada quanto as que podem ser transportadas por meio da água e do vento para distâncias maiores, percolando na paisagem mediante o escoamento das águas pluviais. Xiao, Yang e Cai (2017) argumentam que frequentemente os solos das estradas e seu entorno podem estar altamente compactados, pobres em nutrientes e contaminados com metais e hidrocarbonetos. Há também problemas de contaminação nas valas de drenagem de escoadouros que resultam em corpos d'água temporários, cuja qualidade de água é fortemente afetada pelos contaminantes químicos da estrada. Além disso a superfície impermeável da estrada aumenta o volume de escoamento e pode gerar maior potencial para processos erosivos.

Com o objetivo de estudar as relações entre a estrada e a erosão no solo em uma larga escala, Xiao, Yang e Cai (2017) avaliaram vários *buffers* e consideraram na análise também a declividade e os mapas de distribuição espacial da erosão no solo sobre várias classes de uso da terra. Onde a erosão do solo foi mais severa as distâncias das estradas tinham até 1.000 metros das estradas. Para Jones et al. (2001), seria de 30 metros a distância média de retenção de nutrientes (e contaminantes) sobre cursos de água, e até 100 metros para Baker, Weller e Jordan (2006).

Lottering e Mutanga (2012) definiram que o efeito de borda sobre florestas de eucalipto varia até 40 metros, de acordo com o tipo de estrada, principal ou secundária, sendo que foram analisadas distâncias desde 20 até 100 metros da estrada. Já Saunders et al. (2002), para florestas nativas e exóticas, definiram diferentes medidas para as análises de entorno independente do nível de estrada, possibilitando analisar efeitos no distanciamento da estrada em *buffers* de 20m, 50m, 100m e 300 metros, sendo que, em média, mais de 10% das classes comuns de cobertura do solo estavam sob habitat de borda num *buffer* estabelecido de 50 m, e isso aumentava para 30% e até 60% sob um *buffer* de 300 m, de acordo com alguns tipos de cobertura.

Watkins et al. (2003), com o objetivo de relacionar a cobertura da vegetação, profundidade e solo e estradas florestais não pavimentadas, utilizaram 11 distâncias a partir da estrada, de 0 até 90 metros, e identificaram a ocorrência de espécies exóticas até os primeiros 5 metros da estrada. Para Blumenfeld et al. (2016), os efeitos sobre a vegetação se estenderam além dos 100 metros e foram mais intensos na tipologia agrícola. No entanto variações nos parâmetros abióticos foram percebidos já antes de 70 metros. Delgado et al. (2007) não encontraram diferenças significativas entre estradas pavimentadas ou não na mudança de microclima da borda para o interior de florestas latifoliadas e de coníferas. Em qualquer dos casos, as temperaturas apresentam-se inalteradas por apenas 3m, enquanto a luminosidade persiste até 6m, e a cobertura vegetal só apresenta alterações a partir dos 10 metros.

Para comparar diferentes rotas de transporte (estradas e ferrovias) e seus efeitos à diversidade da paisagem, Su, Xiao e Li (2013) utilizaram análise de *buffer* que variaram de 200 a 2.000 metros e observaram que a uma distância superior a 200m os valores das métricas de diversidade aumentaram gradualmente e tornaram-se estáveis após atingir o máximo na distância de 400-600 m.

Palomino e Carrascal (2007), procurando identificar distâncias limiaries nas quais cidades e estradas alterariam os padrões de espécies da avifauna nativa, como regra geral utilizaram *buffer* de 400m para distância de áreas urbanas e 300m de distância para estradas. Concluíram que a avifauna, mata e pastagens suportam uma menor riqueza de espécies quando uma estrada fica a menos de 110m de distância. Marsh et al. (2017) e Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2009), analisando a distribuição espacial de anuros, verificaram os maiores efeitos negativos nas distâncias de 250 a 1000 metros.

Delgado, Arévalo e Fernández-Palacios (2001) observaram que a penetração de ratos nas florestas latifoliadas se dava mais rapidamente e mais para o interior do que em florestas de coníferas, independente da topografia, mas definiram um *buffer* de 60m como viável para avaliar este efeito de borda em ambas as coberturas florestais. Wunderle Júnior (1997) registrou que a movimentação de pequenas aves se concentrou em até 80 metros a partir da borda de uma floresta nativa e Farwig, Schabo e Albrecht (2017) não encontraram barreiras entre fragmentos para este grupo de dispersores. Para áreas abertas, tanto mesófilas quanto hidrófilas, Wilson et al. (2014) definiram em até 700 metros a área de maior influência de borda sobre aves.

Em linhas gerais, na ausência de estudos locais sobre os elementos envolvidos, parece razoável utilizar as seguintes distâncias potenciais de borda:

- interface estrada/áreas abertas mesófilas: até 100 metros para vegetação; até 700 metros para aves.
- interface estrada/áreas abertas hidrófilas: até 1.000 metros para anuros; até 700 metros para aves.
- interface estrada/áreas florestais nativas: até 70 metros para a vegetação; até 80 metros para pequenos vertebrados;
- interface estrada/áreas florestais exóticas (plantadas): até 40 metros para a vegetação.
- interface estrada/flúvios (cursos de água): até 100 metros para parâmetros bióticos e abióticos.

Como constatou-se na literatura, o uso da análise de entorno a partir da criação de *buffers* é bastante utilizada e cabe ao pesquisador avaliar qual a distância mais adequada ao seu objeto de estudo. O *buffer* pode ser utilizado sobreposto a temas de análise ambiental, como geomorfologia, uso e ocupação da terra, tipologia

de solos, etc. Os dados geomorfológicos e de declividade são considerados indispensáveis para estudos integrados da malha viária e paisagem, pois permitem relacionar às configurações do terreno, a distribuição dos núcleos e elementos antrópicos, e os usos da terra em função das limitações conferidas pelo relevo (SANTOS, 2004).

2.5 CONCEITO DE FRAGILIDADE

Definir as áreas de maior fragilidade em uma UC constitui uma etapa importante a ser considerada nos Planos de Manejo e zoneamentos, permitindo que estratégias para a conservação das áreas sejam adotadas.

De acordo com Ross (1994), a maioria dos ambientes naturais estavam em equilíbrio dinâmico até que a sociedade humana intervisse de maneira progressiva e intensa ao explorar recursos naturais, o que ocasiona desequilíbrios temporários ou permanentes.

Gimenes e Augusto Filho (2013) citam Ratcliffe (1971) e Smith e Theberge (1986) no que diz respeito ao conceito de fragilidade ambiental, em que esse seria a desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no ambiente, sendo esta característica intrínseca antônima do termo 'estabilidade' e uma medida de sensibilidade inerente de um ecossistema às pressões ambientais associadas à exposição de ameaças que podem perturbar o equilíbrio existente. Albuquerque et al. (2015) argumentam que a fragilidade faz referência somente à ideia de que alguma parte ou mesmo o todo de um ecossistema pode ser lesado com mais facilidade ou com alto risco de irreversibilidade.

De acordo com Spörl e Ross (2004), a fragilidade ambiental é o grau de suscetibilidade a qualquer tipo de dano, ou seja, está relacionado aos ambientes em situação de risco, como a erosão e o assoreamento.

Outros dois conceitos bastante mencionados em trabalhos com foco ambiental são os de impacto e risco ambiental. Segundo Sánchez (2006), impacto ambiental é a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana, ressaltando que se trata de um conceito amplo, positivo ou negativo. Impactos ambientais podem ser causados por ações humanas que impliquem em supressão, inserção ou sobrecarga de certos elementos no ambiente (SÁNCHEZ, 2006). Já o risco ambiental está relacionado com

o funcionamento de um empreendimento (SÁNCHEZ, 2006) como a implantação de uma estrada.

Compreende-se que uma determinada área possui fragilidades intrínsecas, como exemplo um solo raso, o que a tornaria vulnerável a impactos ambientais negativos como processos erosivos.

Nessa tese, trabalhamos a análise da fragilidade segundo Ross (1994), que exige o conhecimento dos componentes do estrato geográfico, como solos, geologia, avaliados de forma integrada. Franco et al. (2012) argumentam que esse estudo possibilita diagnosticar diversas categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes e cita o mapa de fragilidade ambiental como síntese dessa análise, sendo útil às atividades de planejamento e gestão das áreas.

De acordo com Gimenes e Augusto Filho (2013), o mapa de fragilidade define as áreas mais prováveis de serem atingidas por mudanças em sua dinâmica natural, sendo de grande utilidade em estudos de impacto ambiental, e contribui com os órgãos públicos e privados na elaboração do planejamento físico-territorial.

As estradas ocasionam uma série de impactos para a paisagem que a circunda, por exemplo, erosão, efeito de borda, fragmentação da paisagem, poluição sonora e química, já comentados em seção anterior.

Hawbaker et al. (2005) indicam que há variação na densidade da estrada e nos padrões de paisagem criados por estas que podem ser explicados em relação a variáveis que descrevem o uso e cobertura da terra e a variáveis ambientais.

De acordo com Freitas, Teixeira e Metzger (2009), é importante a compreensão da distribuição da estrada em relação ao relevo e uso e cobertura da terra para entender as áreas onde a paisagem é mais frágil. Elementos como o relevo, a hidrografia, cobertura florestal, tipo de solo, geologia e uso da terra afetam potencialmente nos impactos ocasionados por estradas. Por exemplo, um local com declividade alta será mais suscetível em relação a alguns impactos negativos e, portanto, mais frágil.

Muitos contaminantes são introduzidos nas estradas mediante escoamento rodoviário, de acordo com Coffin (2007):

Uma complexa e ampla gama de contaminantes associados com os veículos são introduzidos na paisagem através de escoamento rodoviário. Entre eles estão hidrocarbonetos, amianto, chumbo (Pb), cádmio (Cd) e cobre (Cu). Além disso, os produtos químicos associados à própria estrada ou sua manutenção, incluindo pesticidas, inseticidas e sais de degelo (por exemplo,

cloreto de magnésio) se combinam com o escoamento superficial e fazem seu caminho para sistemas de drenagem de águas pluviais (COFFIN, 2007, p. 398).

Portanto, verifica-se que os usos da terra e as variáveis de geologia, solos, declividade, são importantes no estudo dos impactos das estradas na paisagem. Dessa forma, consideram-se estes como critérios importantes para identificar as áreas mais frágeis no PNCG.

2.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Na análise da área de entorno essas temáticas, declividade, uso da terra, tipo de solo podem receber diferentes pesos em função da sua potencialidade e fragilidade, e um método preferencial para realizar esse procedimento é a Análise Multicritério, que é aplicada para a determinação de áreas mais sensíveis e com risco ambiental. A Análise Multicritério analisa alternativas para a resolução de problemas ao utilizar vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado (FRANCISCO et al., 2007). Miranda et al. (2017) construíram um modelo com base na Análise Multicritério, atribuindo diferentes pesos às variáveis relacionadas à cobertura do solo e declividade do terreno, com a finalidade de apresentar diferentes traçados para uma determinada a rodovia.

Após a preparação da base digital, são desenvolvidas as etapas metodológicas, como definição de variáveis (classes de declividade, uso da terra, etc); atribuição de notas para as classes de feição das variáveis; álgebra de mapas com atribuição de pesos para as variáveis já reclassificadas com notas; geração dos mapas finais para cenários distintos (CAMPOS; AZEVEDO; VASCONCELOS, 2013).

Os pesos variam em função das potencialidades e fragilidades dos espaços. Por exemplo, havendo um solo mais frágil, com declividade maior, este receberá maior peso. É uma maneira pertinente para avaliar áreas prioritárias para a conservação.

Os procedimentos para a concretização da Análise Multicritério podem ser estabelecidos em programas de SIG, e serão descritos em maior detalhe no tópico de metodologia.

Para diversos fenômenos é interessante a possibilidade de análise de diversos critérios de forma integrada, nesse sentido há destaque para a Análise

Multicritério (AMC) ou Análise de Decisão de Múltiplos-Critérios (MCDA - *Multiple-criteria Decision Analysis*) que pode ser definida como um conjunto de vários métodos que levam em conta critérios chaves ao auxiliar na tomada de decisões (GREENE et al., 2011).

As abordagens multicritério que, como o próprio nome sugere, consideram diversos critérios na sua elaboração, são empregadas para a resolução de problemas e suporte à tomada de decisões, realizadas a partir da seleção de critérios relevantes e da adição de seus valores ponderados.

Greene et al. (2011) argumentam que existem formas de agrupar o SIG com métodos multicritério e adaptar a AMC para uso em problemas espaciais. Segundo Malczewski (2006) em um nível rudimentar. A AMC associada ao SIG é um processo que transforma e combina dados geográficos e juízos de valor (as preferências do tomador de decisão) para obter informações para a tomada de decisões.

De acordo com Gdoura, Anane e Jellalie (2015), o aspecto geoespacial nas análises enfatiza o uso de SIG em combinação com a AMC para tratar e analisar espacialmente os fatores envolvidos e gerar mapas de adequação. A AMC é utilizada em diversas áreas, inclusive para questões ambientais, e vários estudos se beneficiam da vantagem da combinação AMC e GIS.

Castro et al. (2015) utilizaram a AMC com foco no planejamento urbano, com objetivo de selecionar áreas adequadas para implantação de universidades e loteamentos universitários, considerando que estas causam impactos no ambiente a ser instalado. Com objetivo semelhante, Gdoura, Anane e Jellalie (2015), buscaram localizar e classificar locais adequados para a recarga de aquíferos com água recuperada. Ambos os trabalhos utilizaram da técnica de AHP (*Analytic Hierarchy Process*), este processo de hierarquia analítica busca análise pareada dos critérios.

Michael e Samanta (2016) utilizaram a AMC para gerar um mapa de vulnerabilidade de deslizamentos de massa, com o uso da técnica WLC (*Weighted Linear Combination*), esta faz uma ponderação com pesos para cada critério. Conseguiram avaliar os parâmetros de cobertura vegetal, declividade, elevação proximidade de rios e lineamentos e consideraram que o mapa gerado é relevante para a gestão das áreas.

Franco et al. (2013) utilizaram a AMC para a definição de áreas prioritárias na restauração de Áreas de Preservação Permanente - APPs - no noroeste paulista, definindo os pesos para os critérios utilizados mediante a consulta de profissionais da

área. Utilizaram como critérios a categoria de APP (nascentes ou entorno dos cursos de rios), a proximidade da vegetação nativa, uso e ocupação da terra na APP, e vulnerabilidade à erosão, com isso integraram os planos de informação e atribuíram os pesos utilizando a Programação por Compromisso (CP), e obtiveram o mapa de prioridade à restauração florestal.

Conforme Longley et al. (2013) há diversos critérios que podem influenciar na fragilidade de um local, portanto eles podem ser utilizados na construção de uma estrutura conceitual geral e útil para a modelagem. Dessa forma considera-se essa abordagem adequada neste trabalho.

De acordo com Corseuil (2006), o AHP é um dos métodos de AMC mais utilizados. Ele auxilia a organizar e constituir um modelo racional de combinação de dados, admitindo a atribuição de pesos aos fatores para a tomada de decisão. É um método de fácil compreensão e possibilita trabalhar com diversas variáveis, permitindo a mensuração de elementos qualitativos e quantitativos e propiciando, assim, a estruturação do objetivo geral de maneira hierárquica e a representação dos elementos e sua contribuição ao atingir o objetivo (RIBEIRO; ALVES, 2016).

Desenvolvido por Saaty na década de 1970, o método consiste em elaborar um modelo que se assemelhe ao funcionamento da mente humana na avaliação de alternativas em tomadas de decisão. Seria como ‘quebrar’ um problema e depois agregar as soluções de todos os subproblemas em uma conclusão (SAATY, 1994), ou seja, subdivide-se o problema ou objetivo em diversos critérios que são subdivididos também. Após isso estes são analisados até chegar a uma decisão.

Fundamenta-se na lógica de comparação por pares entre os distintos critérios que influenciam a tomada de decisão, atribuindo um valor de julgamento ao relacionamento entre eles, conforme uma escala pré-definida.

De acordo com Saaty (1994), a aplicação do AHP contempla as seguintes fases:

- 1º. Estruturação dos critérios e alternativas;
- 2º. Julgamentos;
- 3º. Cálculo de prioridades locais;
- 4º. Verificação da consistência do julgamento;
- 5º. Cálculo das prioridades globais das alternativas.

Na primeira etapa têm-se a estruturação dos critérios e alternativas, sendo que critérios são os fatores ambientais que influenciam na análise, e alternativas são

as classes ou atributos dos critérios. Estes são organizados hierarquicamente em três níveis (DIAS; SILVA, 2014): 1) objetivo a ser alcançado; 2) Critérios; 3) Alternativas. Por exemplo, o objetivo pode ser a identificação de áreas passíveis de ser unidade de conservação, este seria o nível 1. O nível dois são as variáveis que influenciam na decisão, como a vegetação. O nível 3 são as classes ou alternativas dos critérios, no caso da vegetação pode ser campo, floresta, etc.

A segunda etapa, de acordo com Ribeiro e Alves (2016), consiste no julgamento, feito a partir da comparação por pares entre dois elementos de um mesmo nível em relação à sua importância ao nível superior. Os elementos são comparados a partir de uma matriz quadrada que tem ordem igual ao número de elementos subordinados ao nó imediatamente superior, estes são dispostos na mesma ordem, formando as linhas e as colunas da matriz como exemplificado na Tabela 1:

Tabela 1 - Matriz de julgamento

C₁	a₁	a₂	...	a_n
a ₁	1	x ₁₂	...	x _{1n}
a ₂	1/x ₁₂	1	...	x _{2n}
...	...	...	...	...
a _n	1/x _{n1}	1/x _{n2}	...	1

Fonte: Ribeiro e Alves (2006)

Na comparação por pares, analisa-se cada elemento da linha com o da coluna, relacionando qual deles é mais importante para o nível superior e registra o respectivo valor. Se o elemento A_i for mais importante do que o elemento A_j , algum valor de 2 a 9 é inserido. No caso do elemento ser menos importante, atribui-se um valor inverso a estes (1/2, 1/3, ...). Na diagonal fica a comparação de um elemento com ele mesmo, e por esse motivo sempre terá sempre valor 1, que é valor definido por Saaty para representar a não-dominância de uma alternativa sobre a outra.

Como se pode perceber na Tabela 1, a matriz de julgamento gera relações recíprocas:

... a matriz de comparação gera relações recíprocas conforme representado na Tabela 1. Assim, para cada julgamento registrado na posição de linha i e coluna j , representado por x_{ij} , há um valor igual a $1/x_{ij}$ na posição recíproca, isto é, na posição de linha j e coluna i . Considerando as posições de elementos de linha e coluna i e j , respectivamente, variando de 1 a n , os elementos x_{ij} obedecem às seguintes regras:

Regra1: Se $x_{ij} = \alpha$, então $x_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$, onde α é o valor numérico do julgamento baseado na escala de Saaty (1991). Logo, temos $x_{ji} = 1/x_{ij}$.

Regra2: Se a_{ij} é julgado de igual importância relativa a a_{ji} , então $x_{ij} = 1$ e $x_{ji} = 1$; e, em particular, $x_{ij} = 1, i=j$ (RIBEIRO; ALVES, 2016, p. 3).

De acordo com Saaty (2001), qualitativamente as pessoas têm a capacidade de dividir respostas três grandes categorias: alta, média e baixa. Refinando essas categorias chega-se à escala de 1 a 9, denominada como Escala Fundamental ou escala de razão de Saaty (Quadro 1).

Quadro 1 - Escala de julgamento

Escala numérica	Escala conceitual	Descrição
1	Igual	Os dois elementos comparados contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada	O elemento comparado é ligeiramente mais importante ao outro
5	Forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente o elemento em relação ao outro
7	Muito Forte	O elemento comparado é muito mais forte em relação ao outro
9	Absoluta	O elemento comparado apresenta o mais alto nível de evidência possível a seu favor
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos podem ser utilizados quando o decisor sentir dificuldades ao decidir entre dois graus de importância adjacentes	

Fonte: Saaty (1991) *apud* Ribeiro e Alves (2006)

Após realizados os julgamentos a próxima etapa é calcular as prioridades locais para cada elemento comparado na matriz. De acordo com Ribeiro e Alves (2016), estas podem ser obtidas calculando-se o principal autovetor da matriz e depois normalizando-o. Uma das formas de se obter o autovetor é a partir da média geométrica do elemento comparado e depois normalizá-lo. O valor obtido para cada linha corresponde ao total relativo de prioridades ou preferências em relação ao nível superior, e devem ser números entre 0 e 1, onde o somatório deve ser 1.

Depois de calculadas as prioridades locais é necessário verificar a consistência dos julgamentos. Estes podem ser feitos obtendo a razão de consistência (CR) e o índice de Consistência (CI).

Para serem obtidos o CR e CI calcula-se o autovalor da matriz de julgamento λ_{max} a partir do somatório do produto de cada total da coluna j da matriz de julgamentos por cada elemento na posição j da prioridade, considerando j a coluna da matriz de

julgamento variando de **1** a **n**. Considerando a matriz de julgamento, o vetor de prioridades (prioridades calculadas dos elementos) e a ordem (**n**) da matriz da matriz, o cálculo do autovalor é representado pela seguinte fórmula:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n T_j \cdot P_j \quad (2)$$

Gomes (2009) afirma que o valor teórico esperado de $\lambda_{\max}$ é n , portanto seu desvio é dado por $(\lambda_{\max} - n)$. Esta medida é calculada relativamente ao número de graus de liberdade da matriz ($n - 1$). Dessa forma, gera-se um Índice de Consistência representado por IC:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Conforme Saaty (1994), a partir do IC é calculada a Razão de Consistência (RC), utilizando o IR (Índice Randômico - Figura 1), que é um índice de consistência aleatório segundo a ordem das matrizes:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Figura 1 - Índice Randômico em relação a ordem das matrizes

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random Consistency Index (R.I.)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fonte: Saaty (1994).

Segundo Saaty (1994), a matriz de julgamento é considerada consistente se o CR calculado for igual ou inferior a 0,10.

A última etapa da AHP é o cálculo das prioridades globais das alternativas, as prioridades globais calculadas para cada critério correspondem à importância de cada critério em relação ao objetivo principal. De acordo com Ribeiro e Alves (2016), para se obter a prioridade global das alternativas, calcula-se o somatório das prioridades resultantes das alternativas em cada critério (nível hierárquico superior).

De acordo com Malczewski (2006), o método AHP pode ser empregado para derivar os pesos associados às camadas do mapa de atributos para posteriormente

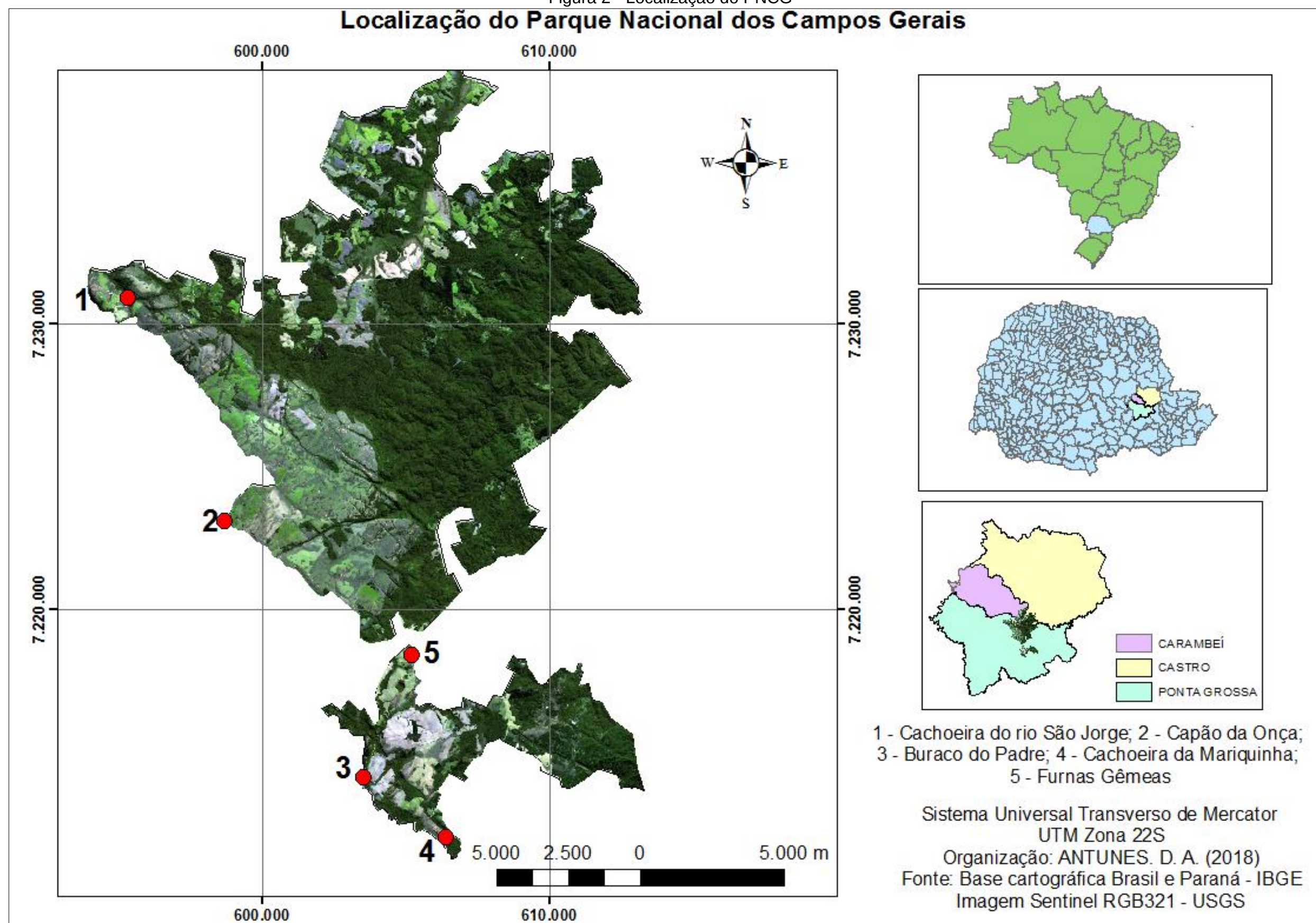
estes serem combinados em álgebra de mapas, dessa forma que foi utilizado este método neste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O PNCG se localiza no estado do Paraná, entre os municípios de Castro Carambeí e Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais no Paraná (Figura 2). Na região, e também no interior do PNCG, o patrimônio natural é rico e diverso, com rios, cachoeiras, relevos ruiniformes, escarpas, cânions, florestas com araucárias, campos naturais, etc. Resultantes de inúmeros processos geológicos, ecológicos e geomorfológicos, as paisagens são singulares e de extrema relevância para a conservação da bio e geodiversidade. (MENEGUZZO; FIORI, 2015). Neste tópico busca-se caracterizar o PNCG de acordo com aspectos geológicos, pedológicos, de hipsometria e declividade, de uso e ocupação da terra. Para isso foi necessária primeiramente a geração de uma base cartográfica em SIG, a qual será explicitada no subtópico a seguir.

Figura 2 - Localização do PNCG



Fonte: a autora

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DOS CAMPOS GERAIS

3.2.1 Materiais

Para a realização das análises propostas foi criada uma base cartográfica, ou seja, uma representação do espaço real em meio possível de ser visualizado, por meio de um SIG. O processo de estruturação de bases cartográficas para SIG é indispensável para a administração, gestão e posterior manipulação dos dados espaciais (SILVEIRA; CARNEIRO; PORTUGAL, 2008).

De acordo com Metzger (2003), deve-se pensar a base de dados em função do objetivo do estudo. É mandatório procurar fazer ou obter mapas em escala compatível com o objetivo da análise. Uma escala detalhada ou demasiadamente simples para os objetivos propostos resulta em um esforço desnecessário ou na impossibilidade de se atingir um objetivo. Se faz imprescindível indicar a acurácia do produto cartográfico gerado, de modo a possibilitar a avaliação dos erros.

No SIG pode-se agregar, em diferentes camadas, as variáveis de interesse. Segundo Menezes e Coelho (2002), essa é uma das principais facilidades que o mapeamento digital apresenta, ou seja, a possibilidade de separação das informações em planos distintos ou temas. Assim, o usuário pode definir e utilizar apenas os níveis de informação de interesse, sem necessidade de incorporar na representação, informações consideradas irrelevantes. Em se tratando do estudo de uma UC e os impactos de seu sistema viário, consideramos os tipos de solo, substrato geológico, altitude e declividade, uso e ocupação das terras e tipos de estradas.

A construção da base dos dados pode ser realizada mediante a aquisição de documentos cartográficos já existentes, no entanto, é importante avaliar o erro gráfico inerente à escala de representação deste documento. Embora os SIGs, possibilitem a visualização de diferentes informações gráficas em uma mesma escala, isso não significa que elas tenham a mesma escala de origem (MENEZES; FERNANDES, 2013). Portanto, com relação à ampliação de um desenho, isso não quer dizer que se está ampliando a escala, pois a ampliação da escala de uma carta só é possível se houver pontos suficientes para melhorar o detalhamento do desenho, caso contrário, será apenas uma cópia ampliada sem mudança de escala e de detalhes (TULER; SARAIVA, 2016). Dessa forma, os dados adquiridos servirão somente à escala de

aquisição, não podendo ser trabalhados em outras escalas, o que prejudica algumas análises que exigem escala mais detalhada.

De acordo com Tuler e Saraiva (2016), a precisão gráfica é a menor grandeza medida no terreno possível de ser representada em uma determinada escala e o erro de gráfico é a menor dimensão gráfica que se consegue representar em um desenho. Os valores para estes são determinados de acordo com o dobro da acuidade visual humana, que a NBR 13.133 de 1994 determina como sendo 0,2 mm. A partir disto pode-se calcular a menor dimensão tolerável para as escalas. Por exemplo, em uma escala de 1:100.000 a menor distância tolerável será de 20 metros ($e_m = E \times 0,0002m$ → $e_m = 100.000 \times 0,0002m = 20m$).

No Quadro 1 constam os planos de informação utilizados ao formar a base de dados, sua origem, escala e erro gráfico embutido.

Quadro 2 - Produtos utilizados na base cartográfica do PNCG

Plano de informação	Dado utilizado	Escala	Erro gráfico	Fonte
Uso e cobertura da terra	Imagem Sentinel	Resolução espacial: 10 m 1:50.000	10 metros	USGS
Declividade	Imagem ALOS PALSAR	Resolução espacial: 12,5 m 1:62.500	12,5 metros	UAF
Geologia	Arquivo vetorial do estado do Paraná	1:250.000	50 metros	ITCG
Solos	Arquivo vetorial do estado do Paraná	1:2.000.000	400 metros	ITCG

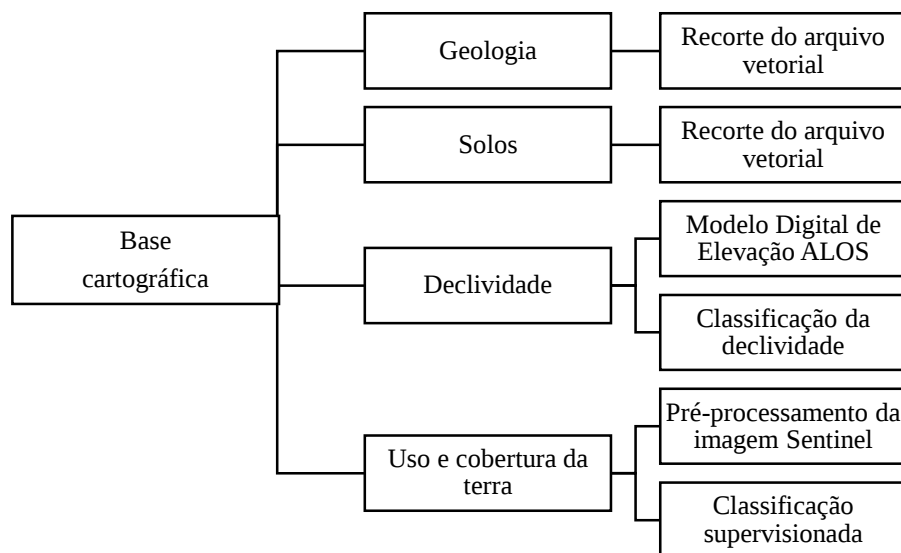
Fonte: a autora, 2018.

Sendo dados de diferentes fontes, escalas e erro tolerável, trata-se de uma representação de múltiplas escalas. Para Lindberg (1994), *apud* SOARES e D'ALGE, (2005) o conceito de representação multi-escalar é alternativa para a complexidade que se apresenta no mundo real. Soares e D'Alge (2005) argumentam ainda que estas se baseiam em representações que visam o armazenamento de todos os níveis de abstração de interesse, com preocupação na eficiência da extração da informação. Na representação multi-escalar os vários planos de informações possuem diversas representações topológicas, com diferentes níveis de abstração, mas são integradas numa única estrutura, não existindo preocupação de procedimentos que operem transformações geométricas aos elementos, o que pode causar inconsistências devido à precisão e detalhamento (SOARES e D'ALGE, 2005).

Deve-se ter consciência de que a agregação de dados em diferentes escalas ou resoluções influenciam no resultado estatístico. Portanto, é recomendável utilizar nas análises os planos de informação com escala e erro gráfico parecidos, ou considerar na análise do resultado a escala com o maior erro.

Nos próximos sub-tópicos, apresenta-se como foi adquirido e gerado cada plano de informação das variáveis de interesse. A Figura 3 mostra as etapas da elaboração da base cartográfica e, a seguir são explicitadas informações do processamento e características de cada uma.

Figura 3 - Elaboração da base cartográfica



Fonte: a autora.

3.2.2 Geologia

De acordo com Guimarães e Melo (2007) as paisagens naturais paranaenses são controladas de maneira marcante pelo seu substrato rochoso e, conseqüentemente, seu relevo. Isso pode ser notado também no PNCG, portanto neste tópico faz-se uma descrição das formações geológicas presentes (Figura 4).

Há dois grandes domínios geológicos no Estado do Paraná: a Bacia do Paraná e o seu Embasamento.

Grupo Itaiacoca

De acordo com Guimarães (2000), este grupo pode ser entendido também como Formação integrante do Grupo Açungui, e emprega-se ainda a denominação informal de Faixa de Itaiacoca. O grupo é disposto como uma faixa alongada seguindo a direção nordeste-sudoeste desde a região de Itaiacoca até a divisa PR-SP.

Conforme Melo, Guimarães e Santana (2010), nas rochas metamórficas do Grupo Itaiacoca é possível notar traços das enormes cadeias de montanhas que foram erodidas por centenas de milhões de anos, mas que tiveram suas origens a partir da compressão e deformação de bacias vulcanosedimentares sobre as placas tectônicas durante o Ciclo Brasileiro.

Guimarães (2000, p. 45) menciona que nesse grupo:

“São reconhecidos ao longo da faixa metassedimentos carbonáticos (normalmente dolomíticos), pelíticos e psamíticos (metacórsios e metarenitos), rochas metavulcânicas (metatraquitos a metabasaltos) e meta-subvulcânicas (principalmente metadiabásios) (Soares et al. 1987; Souza 1990; Prazeres et al. 1998). O metamorfismo foi pouco intenso, atingindo apenas a zona da clorita da fácies xisto verde, sendo comuns estruturas primárias reliquias (estromatólitos, estratificações cruzadas, amígdalas, etc.).”

Identificam-se especialmente remotas seqüências sedimentares de rochas carbonáticas marinhas e vulcanossedimentares que podem ter origem em ambientes continentais, onde arenitos e arcóseos foram transformados em metarenitos e metacórseos, enquanto as rochas vulcânicas hoje aparecem como filitos, alguns deles ainda com estruturas vesiculares/amigdaloidais preservadas (MELO; GUIMARÃES; SANTANA, 2010).

Grupo Paraná - Formação Furnas

Nesta importante formação, há a presença de rochas e minerais como a caulinita e estruturas rúpteis (falhas e fraturas) que facilitam a percolação da água que promove a erosão, dando origem a uma série de erosões subterrâneas: furnas, lagoas, fendas, túneis, sumidouros, ressurgências e nascentes. Em consequência desta particularidade, esta formação se torna um importante aquífero com características cársticas, capaz de produzir água subterrânea em qualidade e quantidade, mas vulnerável à contaminação por poluentes e desenvolvimento de novas feições erosivas (MELO; GUIMARÃES; SANTANA, 2010).

Segundo Guimarães et al. (2007), tem como característica camadas tabulares e sucessão monótona de arenitos quartzosos de estratificação cruzada, estes se intercalam em níveis de conglomerados, sobretudo na sua porção basal.

Conforme Melo, Guimarães e Santana (2010), notadamente na porção média da unidade, são significativos os níveis de granulação mais fina (siltico-argilosos), diversas vezes com traços fósseis de invertebrados (icnofósseis). Há ainda, camadas com cascalho (grânulos e seixos), configurando conglomerados que são importantes nos primeiros metros da unidade, junto ao seu contato com as rochas mais antigas.

Grupo Itararé Indiviso

Segundo Guimarães et al. (2007), a sua subdivisão é motivo de bastante controvérsia, portanto nesse trabalho representa-se esse grupo sem dividi-lo. Situa-se estratigraficamente acima do Grupo Paraná (Formação Ponta Grossa) e o contato basal é erosivo com o Grupo Paraná, ou rochas do embasamento. Sua natureza é variada, é possível encontrar nesse grupo arenitos, siltitos, argilitos, etc. Esta diversidade é um reflexo dos subambientes deposicionais que existiram durante as condições glaciais há aproximadamente 300 milhões de anos (MELO; GUIMARÃES; SANTANA, 2010)

Complexo Granítico Cunhaporanga

Durante atividade tectônicas, aconteceram intensas atividades magmáticas que geraram intrusões graníticas que se intermeteram em meio às rochas preexistentes. O conjunto destes corpos ígneos e de lascas encaixantes proporcionou o surgimento do Complexo Granítico Cunhaporanga.

Guimarães (2000) argumenta que existem, ao menos, três linhagens magmáticas nesse complexo, sendo duas cálcio-alcálicas compostas por dioritos, quartzomonzodioritos, granodioritos, monzogranitos, sienogranitos. Há também uma linhagem alásquica que representa-se pelos álcali-feldspato granitos.

Segundo Melo, Guimarães e Santana (2010, p. 15), na porção sul-sudeste são encontrados “domínios constituídos por anfibólio biotita granodiorito a monzogranitos, ora predominantemente quigranulares, ora inequigranulares a porfiríticos, ou então fortemente porfiríticos”.

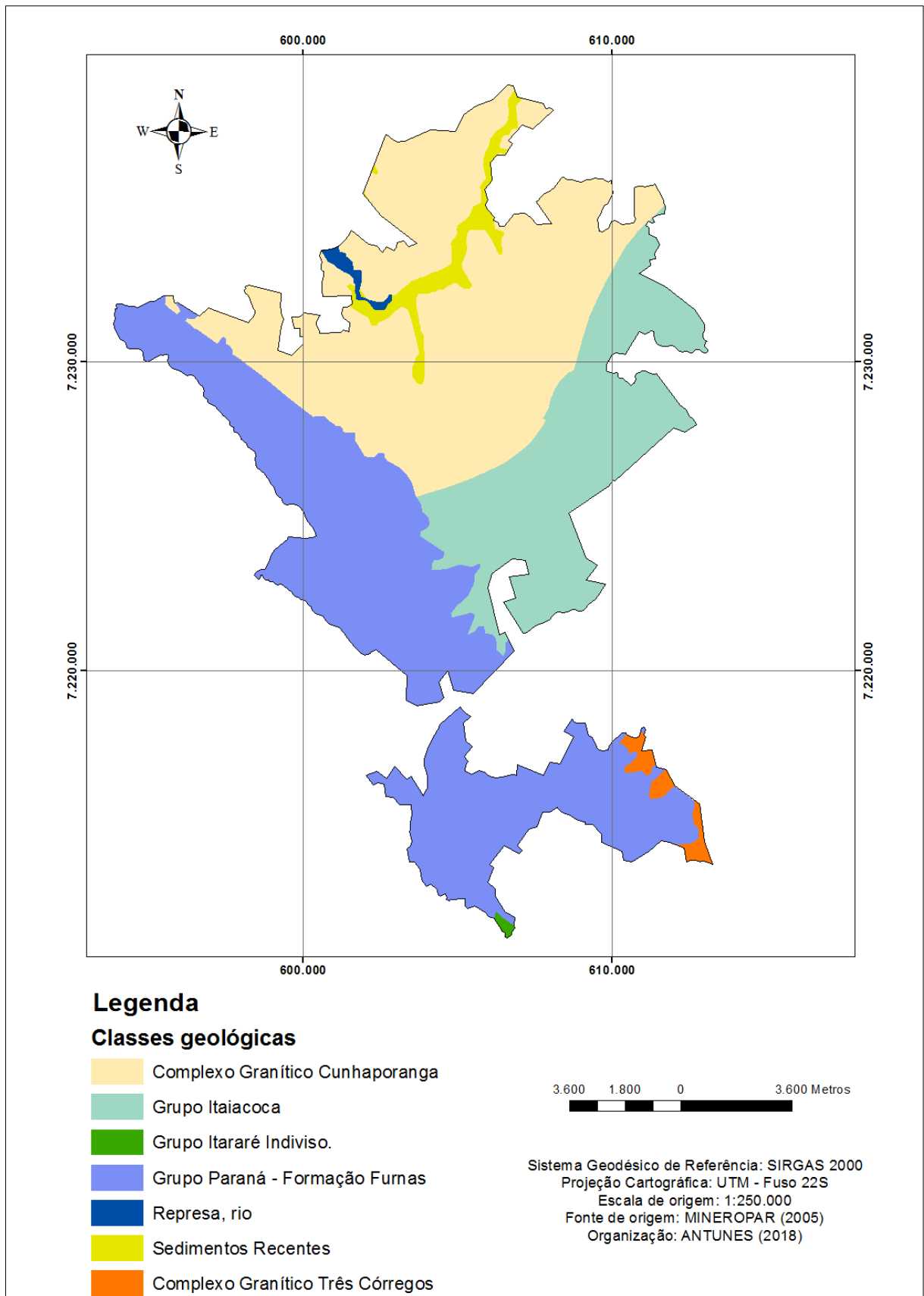
Complexo Granítico Três Córregos

Este complexo é localizado no leste do Paraná até o sul de São Paulo, possui faixa de orientação NE-SW, sendo recoberto a sudoeste e nordeste pela Bacia do Paraná. De acordo com Fuck et al. (1967) *apud* Guimarães (2000), há predomínio de diversas rochas granitoides cálcio-alcálicas, normalmente porfiríticas, intercaladas por grandes porções de rochas encaixantes na forma de ‘restos-de-teto’.

Sedimentos recentes

Segundo Guimarães et al. (2007, p. 31), a região dos Campos Gerais está em “processos de erosão e as acumulações de sedimentos quaternários podem ser consideradas como retenções temporárias dos materiais que estão sendo transportados ao longo das encostas e cursos fluviais”.

Figura 4 - Formações geológicas no PNCG.



Fonte: a autora.

3.2.3 Solos

Devido aos fatores de formação como o clima, diversidade geológica e geomorfológica na região dos Campos Gerais do Paraná, há grande variedade de solos encontrados no PNCG (Figura 5).

De acordo com OLIVEIRA (2014), a distribuição espacial dos solos no parque segue o embasamento geológico, diferenciando o Primeiro e Segundo Planaltos Paranaenses, ou seja o Embasamento cristalino e Formação Furnas, e também de áreas mais específicas com diques e *sills* de diabásio. Além disso, existe a influência das falhas e fraturas, pois estas direcionam os principais vales e, as redes de drenagem, resultando na dissecação atualmente observada, e refletem na exposição linear de cristas, onde são comuns os afloramentos de rochas.

Foram considerados para o estudo a classificação de solos de primeira ordem do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A área de estudo contempla os seguintes tipos de solo: Afloramento de Rocha, Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos e Nitossolos.

A seguir são descritas as principais características desses tipos de solo:

Afloramentos de Rocha: ausência de solo, com exposição da rocha matriz.

Argissolos: são os solos constituídos por material mineral com argila. A maioria dos solos dessa categoria possui acréscimo no teor de argila do horizonte superficial para o B, tem profundidades variáveis podendo ser forte até imperfeitamente drenados, com cores avermelhadas ou amareladas e, em alguns casos brunadas ou acinzentadas. Com relação à textura, essa varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt. Na questão de acidez, são fortes a moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2006). Sobre sua base e critérios, a Embrapa (2006) elucida:

Base - evolução avançada com atuação incompleta de processo de ferralitização, em conexão com paragênese caulínica-oxidíca ou virtualmente caulínica, ou com hidróxi-Al entre camadas, na vigência de mobilização de argila da parte mais superficial do solo, com concentração ou acumulação em horizonte subsuperficial.

Critério - desenvolvimento (expressão) de horizonte diagnóstico B textural em vinculação com atributos que evidenciam a baixa atividade da fração argila ou o caráter alítico. (EMBRAPA, 2006, p.72).

Cambissolos: as características desses solos variam muito em função da heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e condições climáticas. Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, este tem textura franco-arenosa ou mais argilosa e o *solum*, na maioria das vezes, apresenta teores uniformes de argila. Pode existir diferença marcante de granulometria do A para o B incipiente, em casos de solos desenvolvidos de sedimentos aluviais ou outros casos em que há descontinuidade litológica ou estratificação do material de origem (EMBRAPA, 2006). Sobre sua base e critérios:

Base - pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, alteração do material de origem expressa pela quase ausência da rocha ou da estratificação dos sedimentos, croma mais alto, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevados que os horizontes subjacentes.

Critérios - desenvolvimento de horizonte B incipiente em seqüência a horizonte superficial de qualquer natureza, inclusive o horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente deverá apresentar argila de atividade baixa e, ou, saturação por bases baixa (EMBRAPA, 2006, p.72-73).

Gleissolos: compreende solos hidromórficos, que tem em sua constituição materiais minerais que possuem horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E, ou de horizonte hístico. Os solos desta classe são saturados por água de maneira permanente ou periodicamente, salvo quando são drenados artificialmente. São solos mal ou muito mal drenados, em condições naturais. A água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície. São solos formados principalmente a partir de sedimentos, estratificados ou não, ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea. São caracterizados por forte gleização, o que implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização do ferro, admitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda a precipitação de compostos ferrosos (EMBRAPA, 2006). Sobre sua base e critérios:

Base - hidromorfia expressa por forte gleização, resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol

freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico.

Critério - preponderância e profundidade de manifestação de atributos que evidenciam gleização, conjugada à identificação de horizonte glei (EMBRAPA, 2006, p.73).

Latossolos: são os solos que têm em sua constituição material mineral, com horizonte B latossólico abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, com exceção do hístico. Estes solos estão em um estágio avançado de intemperização e são destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de subhorizontes, as cores geralmente são mais escuras no A, o horizonte B tem cores mais vivas, variando desde amarelas ou mesmo bruno-acinzentadas até vermelho-escuro-acinzentadas. De maneira geral, os teores da fração argila no *solum* aumentam gradativamente com a profundidade, ou permanecem constantes ao longo do perfil. A cerosidade, se presente, é pouca e fraca. São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos, sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos. Ocorrem em regiões equatoriais, tropicais e sub-tropicais. Sobre sua base e critérios:

Base - evolução muito avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização ou laterização), resultando em intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e mesmo secundários menos resistentes, e concentração relativa de argilominerais resistentes e, ou, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização.

Critério - desenvolvimento (expressão) de horizonte diagnóstico B latossólico, em seqüência a qualquer tipo de A e quase nulo, ou pouco acentuado, aumento de teor de argila de A para B (EMBRAPA, 2006, p.74).

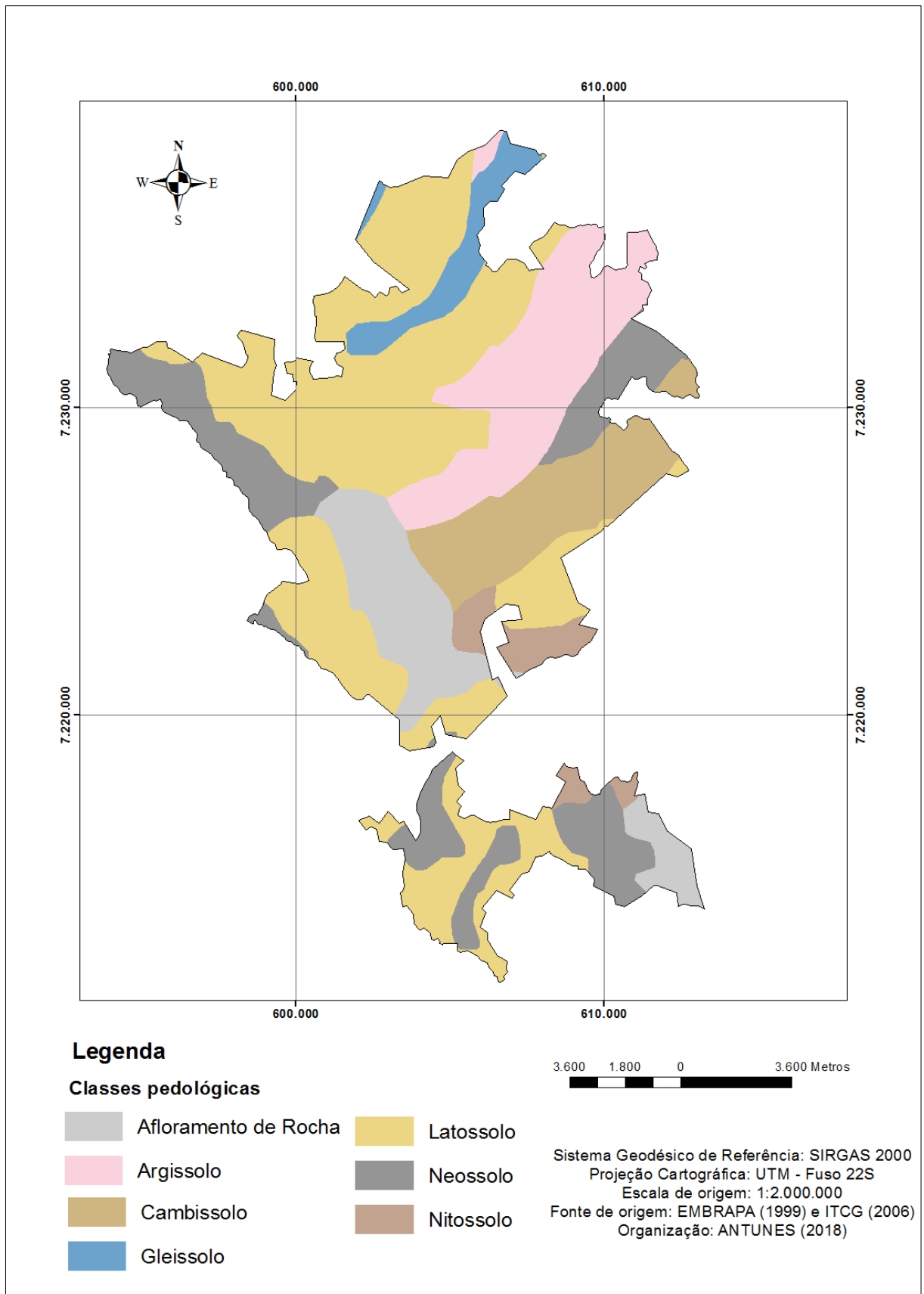
Neossolos: são solos que têm constituição mineral ou orgânica com baixa espessura e que, por baixas intensidades de processos pedogenéticos, não têm muitas mudanças do material de origem. Isso pode ocorrer em função dos fatores de formação como o clima, relevo e tempo e por características próprias do material de origem, que limitam a evolução desses solos (EMBRAPA, 2006). Sobre a base e critérios:

Base - solos em via de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos ou por características inerentes ao material originário.
 Critérios - insuficiência de expressão dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação. Exígua diferenciação de horizontes, com individualização de horizonte A seguido de C ou R. Predomínio de características herdadas do material originário (EMBRAPA, 2006, p.74).

Nitossolos: são solos que têm na sua constituição material mineral, com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa, estrutura com blocos subangulares ou angulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados. Nesta classe há exclusão de solos com incremento no teor de argila requerido para a maior parte do horizonte B textural, sendo a diferenciação de horizontes menos acentuada que a dos Argissolos. São solos profundos, com boa drenagem, de coloração variando de vermelho a brunada. De maneira geral, são moderadamente ácidos a ácidos, com argila de atividade baixa ou com caráter alítico, com composição caulinítico - oxídica. Sobre a base e critérios:

Base - avançada evolução pedogenética pela atuação de ferralitização com intensa hidrólise, originando composição caulinítica-oxídica ou virtualmente caulinítica, ou com hidróxi-Al entre camadas.
 Critério - desenvolvimento (expressão) de horizonte diagnóstico B nítico, em seqüência a qualquer tipo de A, com pequeno gradiente textural, porém apresentando estrutura em blocos subangulares ou angulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva nas unidades estruturais (EMBRAPA, 2006, p.74-75).

Figura 5 - Solos no PNCG



Fonte: a autora.

3.2.4 Modelo Numérico de Terreno

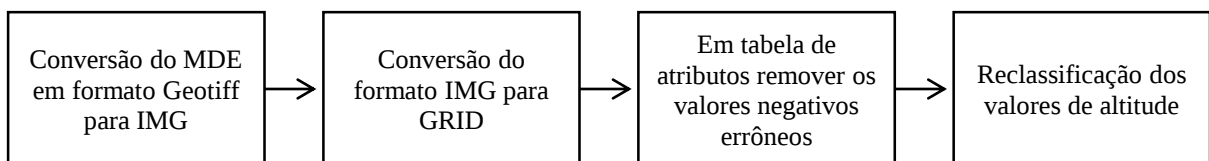
De acordo com Felgueiras e Câmara (2001, p. 1) “um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre”. A partir deles podem-se obter e elaborar outros dados como mapas de altitudes e declividade, variáveis de interesse nesse trabalho.

O Instituto de Geofísica da Universidade Fairbanks disponibiliza o MDE (Modelo Digital de Elevação) gerado por meio de imagens do satélite japonês ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) com sensor de radar PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) e resolução espacial de 12,5 metros. Após realizar o *download* das três cenas necessárias para compor a área de estudo e seu entorno, foram realizados procedimentos de correção de inconsistências de acordo com proposta de Oliveira (2017) que podem ser geradas desde a aquisição pelo sensor de RADAR, transmissão para estação e geração dos dados:

Essas imperfeições refletidas no *raster*, em seus pixels, precisam ser corrigidas, não meramente por uma questão estética, mas no intuito de corrigir todo o conjunto de dados do cálculo numérico de elevação. Sem o qual o modelo digital não iria condizer com a realidade do território nele representado (OLIVEIRA, 2017, p.2).

No *software ArcGis 10.3* foram realizados os seguintes procedimentos (Figura 6):

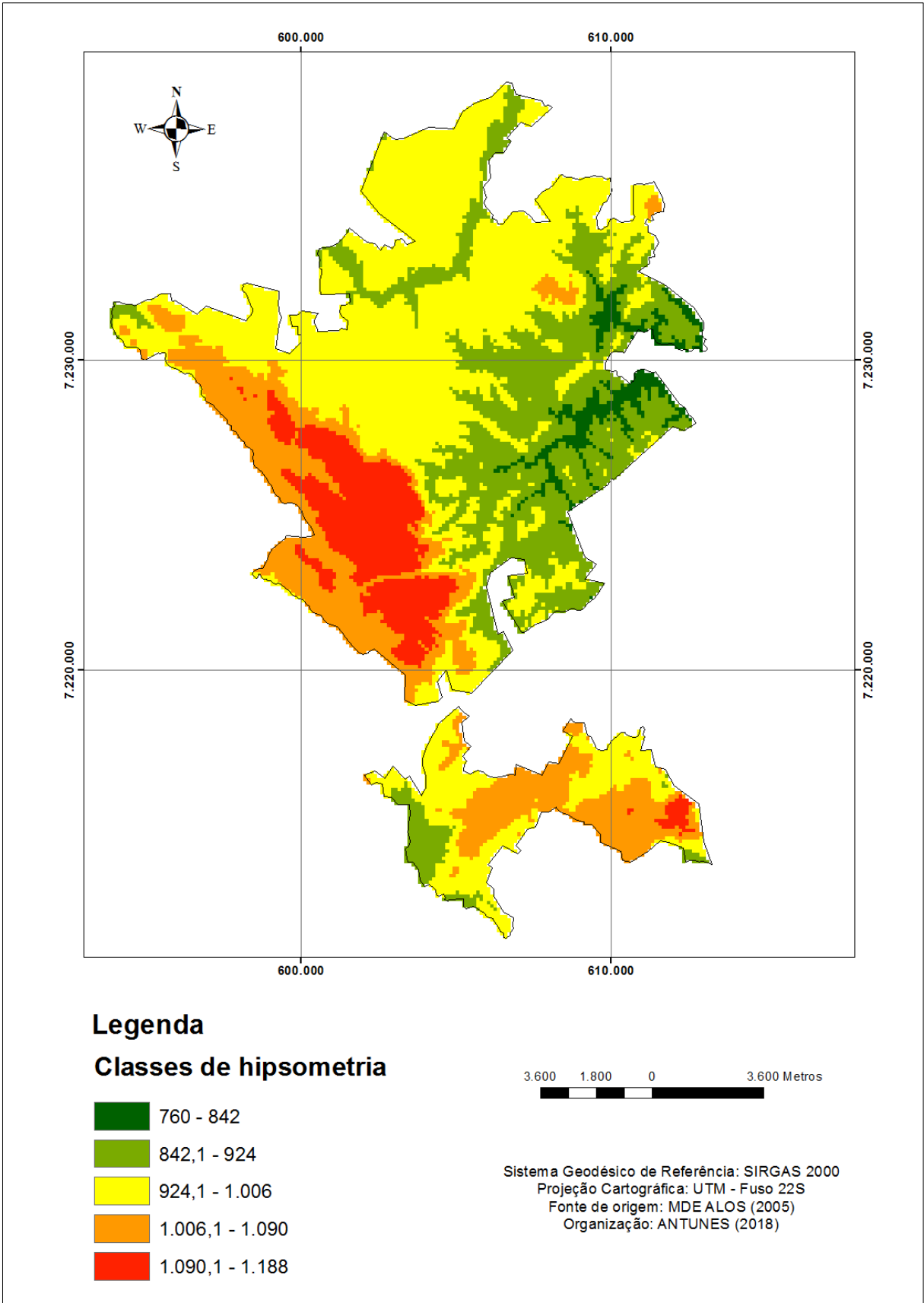
Figura 6 - Procedimentos para eliminar erros do MDE



Fonte: adaptado de Oliveira (2017)

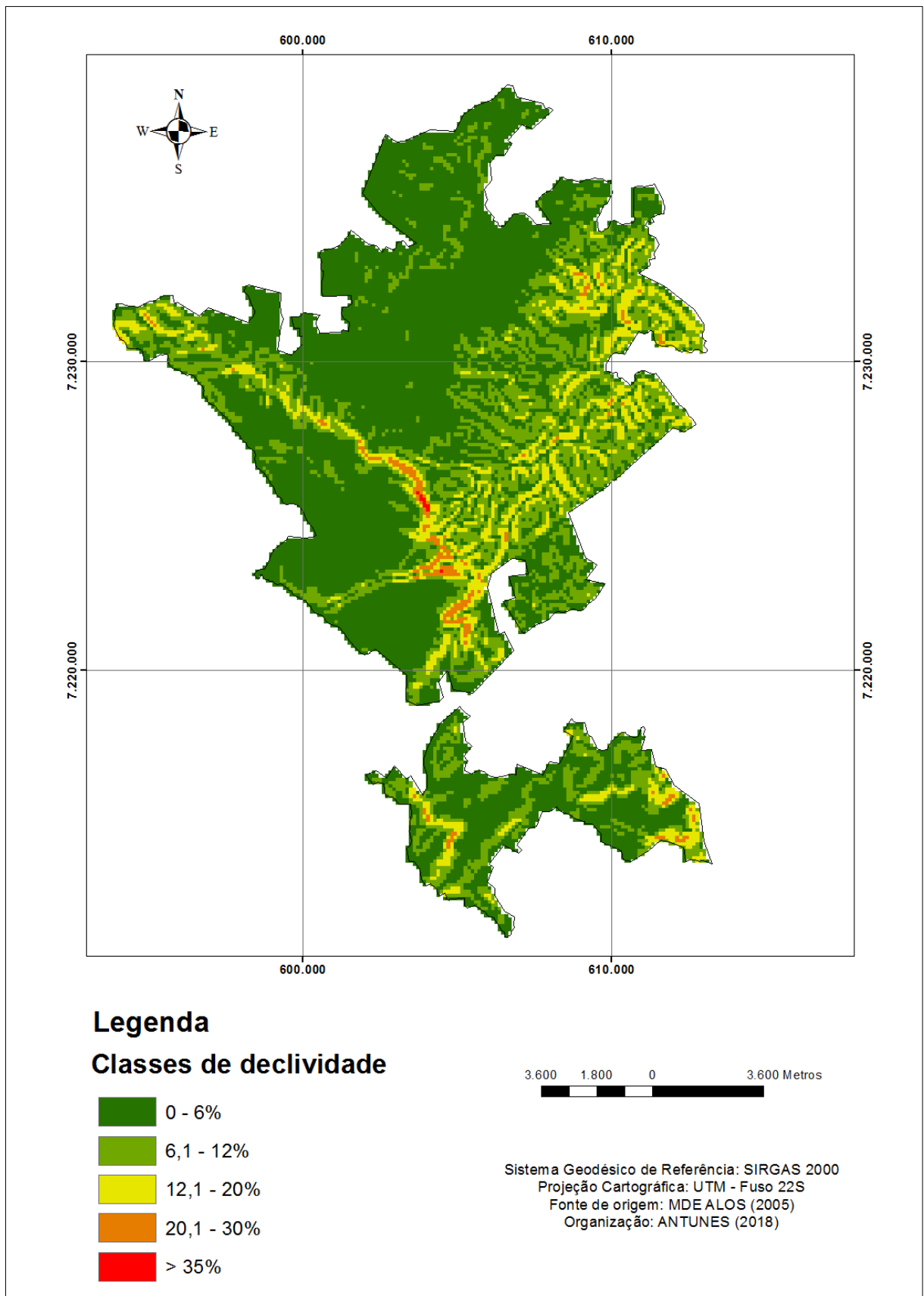
Após realizados os procedimentos a partir do MDE os dados de altitude foram utilizados para gerar os cartogramas de hipsometria e declividade, ilustrados nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Hipsometria no PNCG



Fonte: a autora

Figura 8 - Declividade no PNCG



Fonte: a autora.

3.2.5 Uso e ocupação da terra

O uso e ocupação das terras retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais (SANTOS, 2004). Pode-se partir de imagens de SR, com classificação digital, técnica de PDI (Processamento Digital de Imagens), que consiste em separar grupos de *pixels* com características espectrais semelhantes em categorias de uso e ocupação da terra (CENTENO, 2004).

Para realizar a classificação digital foram utilizadas imagens do satélite SENTINEL-2 disponíveis gratuitamente no site do USGS (*United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos). Para contemplar toda a área de estudo foram escolhidas duas cenas com datas de 15 de maio e 17 de junho de 2017. Foram utilizadas as quatro bandas multiespectrais com 10 metros de resolução espacial que contemplam as bandas espectrais conforme Quadro 3:

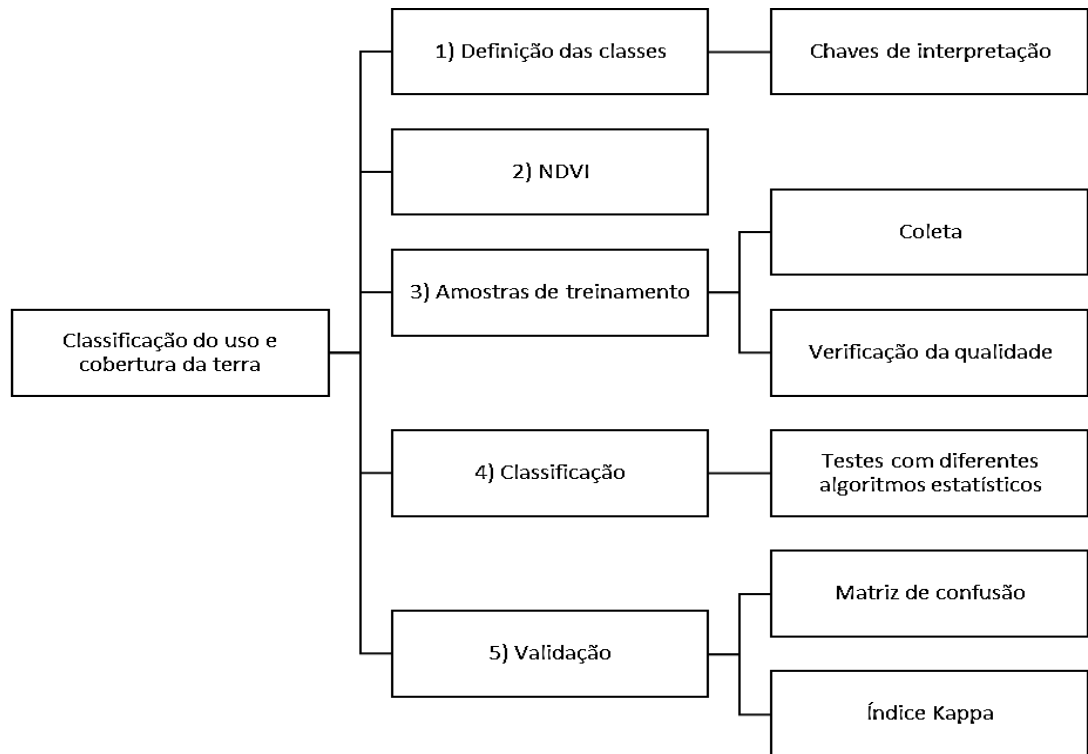
Quadro 3 - Características das bandas utilizadas do satélite Sentinel-2

Banda espectral	Comprimento de onda central
Banda 02 - Azul	490nm
Banda 03 - Verde	560nm
Banda 04 - Vermelho	665nm
Banda 08 - Infravermelho próximo	842nm

Fonte: adaptado de ESA www.esa.com

A classificação digital supervisionada (Figura 9) seguiu as seguintes fases: definição de classes, coleta das amostras de treinamento, verificação da acurácia das amostras de treinamento, classificação pelo algoritmo estatístico, e verificação da qualidade da classificação.

Figura 9 - Etapas da classificação do uso e ocupação da terra

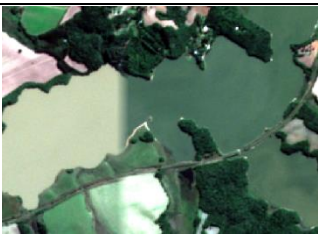


Fonte: a autora.

Para a definição das classes de uso e ocupação da terra foi realizada interpretação visual da imagem na tela do computador mediante os elementos fotointerpretativos. Estes incluem tonalidade e cor, tamanho, forma, textura, padrão, sombra, altura e profundidade, declividade, aspecto, situação e associação (JENSEN, 2009).

Definiu-se as seguintes classes: cobertura florestal, agricultura, corpos d'água, campos e afloramentos rochosos, áreas úmidas. O Quadro 4 mostra as classes com exemplos de algumas áreas. Na classificação digital a rotulação dos valores dos níveis digitais é feita utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais e seguem duas abordagens: a não supervisionada, onde o técnico só define o número de classes, e a supervisionada em que o técnico apresenta amostras de treinamentos para o algoritmo para então este realizar a classificação (MOREIRA, 2011).

Quadro 4 - Classes de uso e ocupação da terra

Classe	Composição verdadeira cor (R4G3B2) Imagens de maio e junho de 2017		Google Earth (imagens setembro de 2016)	
Cobertura florestal				
Agricultura				
Corpos d'água				
Campos e afloramentos rochosos				
Áreas úmidas				

Fonte: a autora.

A amostragem é essencial para a classificação supervisionada, pois dela depende a qualidade da classificação, devendo sempre coletar amostras puras e representativas que estejam distribuídas ao longo de toda a imagem. A qualidade das amostras foi verificada a partir da divergência transformada, que confronta os valores de pares de classes. Esses valores variam de 0 a 2, quanto mais próximo de 2,00 melhor é a separação entre as classes (CENTENO, 2004).

O algoritmo de classificação utilizado foi o MAXVER (Máxima Verossimilhança), que utiliza a média das respostas espectrais de cada classe das amostras de treinamento nas diferentes bandas e, assim, define a classe mais provável para cada *pixel*. Cada *pixel* tem sua probabilidade de pertencer a cada classe testada, e a categoria de maior probabilidade acolhe o *pixel* (CENTENO, 2004).

Para melhor separação entre as classes, optou-se por acrescentar como banda auxiliar na classificação o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada) que faz uma razão entre as bandas dos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo, conforme a Equação (5). Este índice se baseia na assinatura espectral destas duas bandas, que proporcionam maior contraste da vegetação (SHIMABUKURO et al., 1999; MOREIRA, 2011).

$$NDVI = \frac{(\text{Infravermelho próximo} - \text{vermelho})}{(\text{Infravermelho próximo} + \text{vermelho})} \quad (5)$$

De acordo com Congalton (1991), a maneira mais usual de representar a validação de classificação de dados de SR é sob a forma de uma matriz de erro, que é uma matriz quadrada de números estabelecida em linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostragem atribuídas a uma categoria específica em relação à categoria real como verificado em solo. Nas colunas são apresentados os dados de referência, e nas linhas a classificação gerada. A acurácia global da matriz de erros é calculada dividindo o total correto (isto é, a soma dos valores da diagonal) pelo número total de *pixels* na matriz de confusão. A precisão das categorias individuais pode ser calculada de forma semelhante: divide-se o número de *pixels* corretos pelo número total de *pixels* na linha ou coluna correspondente. No resultado

da classificação distinguem-se dois tipos principais de erro: erros de omissão e erros de inclusão.

Moreira (2011) argumenta que a partir da matriz de confusão é possível obter a estatística *kappa*, que apresenta como vantagem a inclusão de todos os elementos da matriz de confusão e não somente os elementos da diagonal principal. O autor argumenta que os valores acima de 0,60 são muito bons, e acima de 0,80 são considerados excelentes. Elabora-se a matriz de confusão coletando novas amostras de treinamento, que serão confrontadas com a imagem classificada. Após a obtenção da classificação da imagem obtém-se, portanto, uma nova imagem com as classes de uso e ocupação da terra.

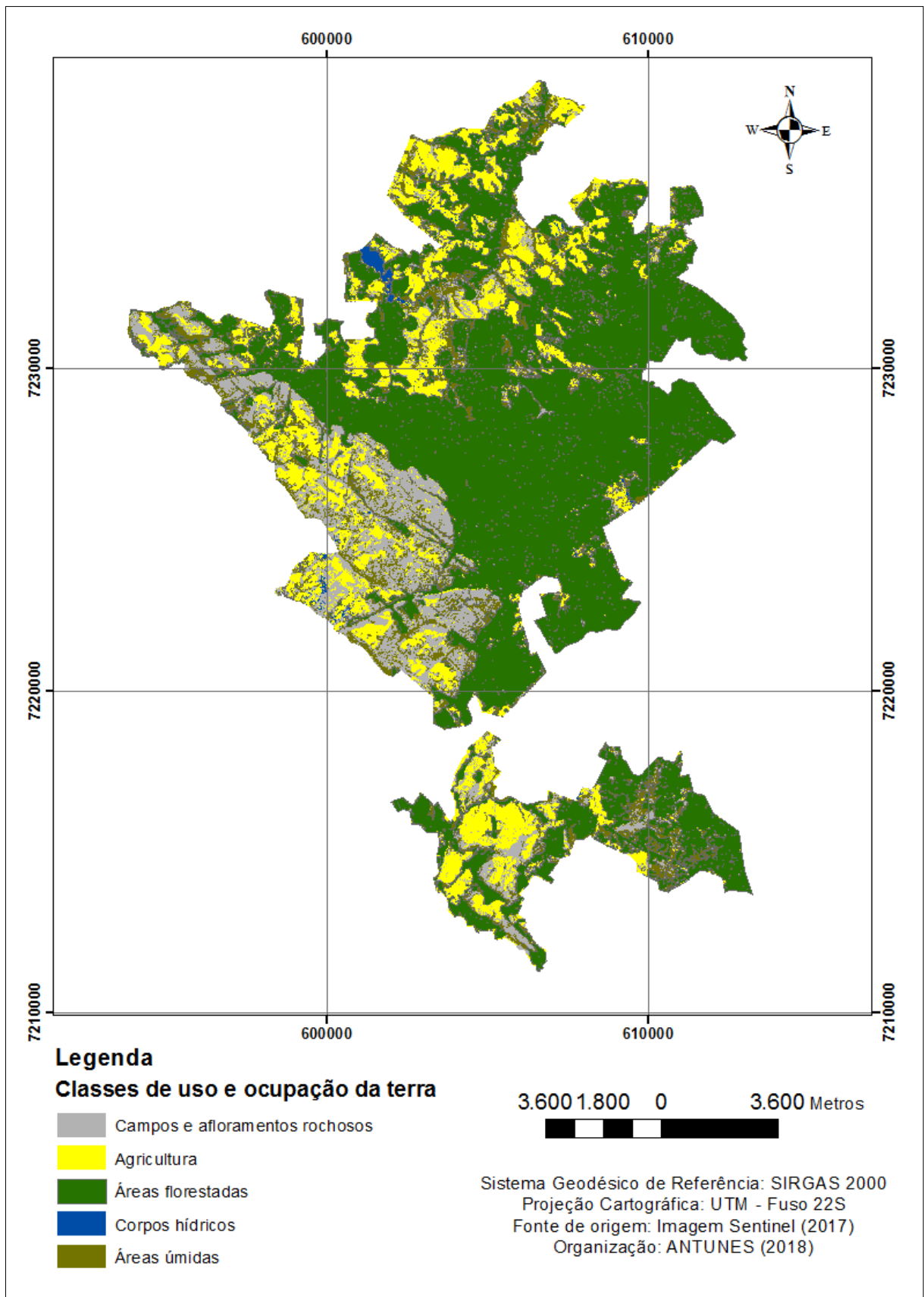
A classificação da imagem *Sentinel* foi realizada e na fase de coleta das amostras de treinamento obteve-se valor de divergência transformada adequado a todos os pares de classe. A Tabela 1 mostra a matriz de confusão da classificação, outro modo de medir o sucesso da classificação é por meio do coeficiente *Kappa*, quanto mais próximo a 1, maior será o desempenho da classificação. A classificação obteve índice Kappa de 0,87 o que, segundo Moreira (2011), considera-se muito bom. A Figura 10 ilustra a classificação.

Tabela 2 - Matriz de confusão da classificação de uso e ocupação da terra

Classes	Áreas florestadas	Áreas úmidas	Corpos hídricos	Agricultura	Campo e afloramentos rochosos	Total
Áreas florestadas	100%	0%	1%	0%	0%	21%
Áreas úmidas	0%	91%	8%	0%	10%	22%
Corpos hídricos	0%	0%	91%	0%	0%	18%
Agricultura	0%	0%	0%	90%	11%	20%
Campo e afloramentos rochosos	0%	9%	0%	10%	79%	20%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: a autora

Figura 10 - Uso e ocupação da terra no PNCG

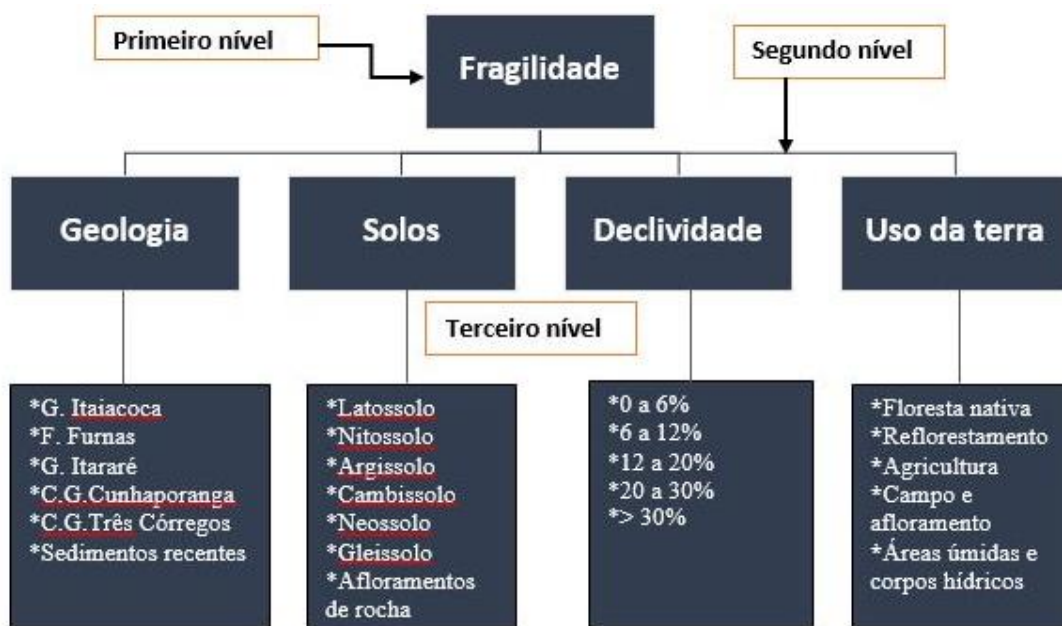


Fonte: a autora.

3.3 AHP aplicada para determinar a fragilidade no PNCG

Como primeiro nível da AHP foi considerado o objetivo, que é a determinação da fragilidade; no segundo nível considerou-se como critério as variáveis que contribuem para a fragilidade: Geologia, Solos, Declividade e uso da terra. Como terceiro nível, foram consideradas cada classe ou atributo dos critérios, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Níveis AHP



Fonte: a autora.

Definida a estrutura hierárquica, é necessário fazer a comparação pareada entre os critérios, utilizando a Escala Fundamental de Saaty variando de 1 a 9.

Para atribuir os valores dos julgamentos, primeiramente foram estudadas as características dos critérios com base em referencial bibliográfico. Para cada critério considerou-se uma hierarquia de 1 a 5 entre as suas classes, sendo a 5 de fragilidade maior. No próximo subtópico seguem os apontamentos realizados para cada critério.

3.3.1 Definição dos pesos

- Geologia:

Considerou-se que a fragilidade intrínseca da Geologia está relacionada ao grau de coesão das rochas (ligação entre os minerais ou partículas que o constituem) que indicam o quanto estas são resistentes à denudação (intemperismo e erosão) (CREPANI, 2001).

Crepani (2001) propõe uma escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns, variando de 1 a 3 (Figura 12), sendo quanto mais alto o valor, maior a vulnerabilidade.

Figura 12 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns

Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani (2001).

No Quadro 5 apresenta-se a escala de vulnerabilidade organizada para os grupos litológicos presentes no PNCG de acordo com MINEROPAR (2006) em função da escala de Crepani (2001).

Quadro 5 - Graus de fragilidade do substrato rochoso do PNCG

Geologia	Índice Crepani (2001)	Grau de fragilidade
----------	-----------------------	---------------------

Complexo Granítico Cunhaporanga	1,1 a 1,2	Baixa
Complexo Granítico Três Córregos	1,2 a 1,4	Baixa
Grupo Itaiacoca	2,1 a 2,4	Média
Formação Furnas	2,4 a 2,7	Alta
Grupo Itararé Indiviso	2,4 a 2,8	Alta
Sedimentos recentes	2,6 a 3,0	Muito Alta

Fonte: a autora.

O Complexo Granítico Cunhaporanga agrupa rochas como granodioritos, monzonitos e granitos com horblenda e biotita. No índice de Crepani (2001) atribui-se 1,1 a 1,2 (MINEROPAR, 2006). Em relação ao Complexo Granítico Três Córregos, segundo Guimarães (2000), há predomínio de rochas granitoides cálcio-alcalinas, que no índice de Crepani (2001) teria valor entre 1,2 e 1,4. Consideram-se estes dois grupos como de baixa fragilidade, pois são constituídos de rochas mais resistentes.

A Formação Itaiacoca, na escala de Crepani (2001), possui índice entre 2,1 a 2,4, assim classificou-se como de fragilidade moderada, pois tem ambiente predominante vulcano-sedimentar e agrupa rochas meta-siltitos, metavulcânicas, mármore dolomíticos e dolomitos, metarenitos, quartzitos e micaxistos, que não são tão resistentes a denudação.

A Formação Furnas, segundo Mineropar (2006), tem como ambiente predominante depósitos aluviais e litorâneos. As rochas que agrupa são arenitos médios a grosseiros e conglomeráticos e siltitos. Na escala de Crepani (2001) tem índice de 2,4 a 2,7. Classifica-se como de fragilidade alta, pois o Arenito Furnas tem na sua constituição grãos de quartzo cimentados com caulinita, esta que pode sofrer corrosão desagregando a rocha (MINEROPAR, 2006).

Conforme Mineropar (2006), o Grupo Itararé Indiviso, agrupa as rochas folhelhos e siltitos cinzentos, arenitos esbranquiçados, diamictitos, ritmitos, arenitos grosseiros avermelhados, que na escala de Crepani (2001) tem índice de 2,4 a 2,8, portanto considerados como de fragilidade alta.

Sedimentos recentes têm como ambiente predominante os fluviais atuais e sub-atuais, agrupa rochas aluviões, argilitos, arcósios, areias, cascalhos e turfeiras, que não são consolidados e resistentes como outros minerais e rochas. No índice de Crepani (2001) apresentam índice de 2,6 a 3,0 e classificam-se como de fragilidade muito alta.

- Solos

Considerando as características dos solos também foram atribuídos pesos em função de sua fragilidade. As classes basearam-se nas proposições de Ross (1994), Franco et al. (2012) e Melo et al. (2014).

Conforme argumentam Albuquerque et al. (2015), internacionalmente o termo 'solos frágeis' é empregado para áreas em que o solo possui textura média (mais arenosa) e baixo teor de matéria orgânica, o que leva à baixa estabilidade de agregados, que em relevos declivosos são suscetíveis à erosão hídrica.

A fragilidade dos solos relaciona-se, portanto, às suas características de resistência a processos erosivos e, para Kawakubo et al. (2005), divergências nos atributos físicos, químicos e bióticos esclarecem a maioria das ocorrências em que alguns solos apresentam mais propensão a processos erosivos do que outros em uma mesma condição ambiental. A extensão e tipo de cobertura vegetal, por exemplo, podem aumentar em muito o grau de agregação de partículas em solos frágeis.

Ross (1994) definiu classes de fragilidade dos solos considerando características determinantes das características físicas e químicas dos solos: textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e sub-superficiais. As classes de fragilidade de Ross (1994) embasam diversos trabalhos como o de Franco et al. (2012), o qual adaptou a classificação ao Sistema Brasileiro (EMBRAPA, 2006), utilizada por Melo et al. (2014) na análise da fragilidade ambiental potencial dos solos do Paraná (Quadro 6).

Quadro 6 - Classes de Fragilidade para o atributo solo.

Classes de Solo	Classes de Fragilidade	Grau de fragilidade
Latossolos	Muito baixa	1
Argissolos	Baixa	2
Cambissolos	Moderada	3
Espodossolos/Neossolos	Alta	4
Gleissolos/Organossolos/Afloramento de Rochas	Muito alta	5

Fonte: Adaptado de Franco et al. (2012)

A justificativa para a escolha dos pesos recai sobre as características dos solos, e as mais relevantes na atribuição de pesos são aquelas ligadas à sua estabilidade quanto ao poder de agregação e retenção de água.

Latossolos e Nitossolos, que possuem maior nível de desenvolvimento, são mais profundos e possuem boa porosidade e permeabilidade, costumam ser friáveis

e de baixa plasticidade, portanto classificam-se como de muito baixa fragilidade. Argissolos, com profundidade menor, costumam ser intemperizados e por isso menos estáveis que os Latossolos, no entanto ainda são considerados como tendo baixa fragilidade.

Cambissolos ocupam posição intermediária, como fragilidade moderada.

Entre os solos pouco desenvolvidos, mais frágeis, Neossolos não apresentam material orgânico suficiente para garantir coesão e retenção de água e Gleissolos, ao contrário, costumam ser mais frágeis por sua hidromorfia, sendo mal drenados, instáveis e altamente restritivos ao tipo de vegetação que os recobre.

Dessa forma, a fragilidade para os solos do PNCG ficou classificada da seguinte maneira:

Quadro 7 - Grau de Fragilidade em relação aos solos no PNCG.

Solo	Classes de fragilidade	Grau de fragilidade
Latossolos	Muito baixa	1
Nitossolos	Muito baixa	1
Argissolos	Baixa	2
Cambissolos	Moderada	3
Neossolos	Alta	4
Gleissolos	Muito Alta	5
Afloramentos de rocha	Muito Alta	5

Fonte: a autora.

Em relação à declividade, foram utilizados os intervalos de classe definidos por Ross (1994), considerando que quanto maior a declividade, maior a fragilidade associada, conforme exposto no Quadro 8:

Quadro 8 - Grau de Fragilidade em relação à declividade no PNCG.

Declividade	Classe de fragilidade	Grau de fragilidade
0 a 6%	Muito baixa	1
6 a 12%	Baixa	2
12 a 20%	Moderada	3
20 a 30%	Alta	4

> 30%	Muito alta	5
-------	------------	---

Fonte: adaptado de Ross (1994)

- Uso da terra

Classificou-se a fragilidade em relação ao uso e ocupação da terra de acordo com Ross (1994) e Crepani (2001), considerando em relação a esse critério que quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menos frágil é a área. Quanto mais desenvolvida a cobertura vegetal mais estável encontra-se o ambiente, em função da profundidade radicular e do grau e cobertura de biomassa aérea. Para Crepani (2001), a densidade da cobertura vegetal é importante para a proteção da paisagem diante de processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão. Para isso atribuiu-se grau de fragilidade baixo para as áreas com alta densidade de vegetação e grau de fragilidade alto para as que têm baixa densidade.

No Quadro 9 constam as classes e graus de fragilidade apontados por Ross (1994) ao relacionar o tipo de cobertura vegetal à proteção dos solos, aplicadas à classificação da fragilidade dos usos do PNCG.

Quadro 9 - Grau de Fragilidade em relação à cobertura vegetal.

Tipo de uso e cobertura	Classe de fragilidade	Grau de fragilidade
Florestas / Matas naturais / florestas cultivadas com biodiversidade	Muito baixa	1
Formações arbustivas natural densa Mata homogênea de Pinus densa Pastagens com baixo pisoteio de gado Cultivo de ciclo longo	Baixa	2
Cultivo de ciclo longo em curvas de nível Pastagens com baixo pisoteio Silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas	Moderada	3
Cultura de ciclo longo de baixa densidade Culturas de ciclo curto	Alta	4
Áreas desmatadas e queimadas recentemente Solo exposto por arado, gradeação ou ao longo de caminhos e estradas Terraplenagens Cultura de ciclo curto sem práticas conservacionistas	Muito alta	5

Fonte: adaptado de Ross (1994)

Dessa forma, com fragilidade muito baixa temos a floresta nativa, caracterizada por fragmentos da Floresta Ombrófila Mista, predominantemente arbórea, considerada como estável (CREPANI, 2001). De acordo com Rocha e Weirich Neto (2010), os reflorestamentos na região correspondem principalmente a

pinus, que Ross (1994) considera como de fragilidade baixa, pois possibilita proteção em relação aos solos.

Considerou-se a agricultura com grau de fragilidade moderado, pois embora não sejam de ciclos longos em curvas de nível, conforme recomendado por Ross (1994), segundo Rocha e Weirich Neto (2010) utiliza-se o sistema de plantio direto que, comparado ao sistema tradicional, traz menos danos à conservação do solo e água.

Os campos e afloramentos rochosos foram considerados como de fragilidade alta, pois não possuem densidade alta de vegetação e estabilidade do solo, além disso áreas sem vegetação densa terão maiores impactos negativos como por exemplo, poluição sonora, propagação de pó, luminosidade e ruídos.

Crepani (2001) considera a vegetação com influência fluvial e/ ou lacustre de porte herbáceo com o mais algo grau de fragilidade, não só devido ao pequeno porte da vegetação como aos sedimentos inconsolidados e à alta saturação hídrica. Nesta classe se incluem as áreas úmidas do PNCG, caracterizadas por várzeas e campos higrófilos, bem como demais corpos hídricos. O Quadro 10 mostra a fragilidade considerada para as classes de uso e ocupação da terra:

Quadro 10 - Fragilidade para uso e ocupação da terra no PNCG

Uso e cobertura da terra	Classe de fragilidade	Grau de fragilidade
Floresta nativa	Muito baixa	1
Reflorestamento	Baixa	2
Agricultura	Moderada	3
Campo e afloramento	Alta	4
Áreas úmidas e corpos hídricos	Muito alta	5

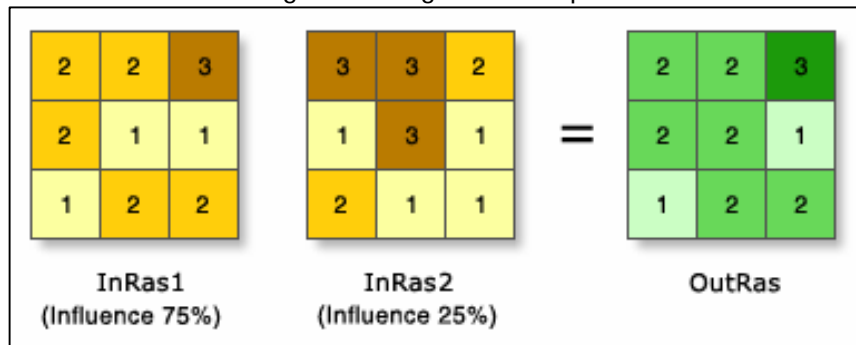
Fonte: a autora.

3.3.2 Álgebra de mapas e análise de entorno

A análise de entorno ou *buffering* consiste na criação de polígonos ao redor do fenômeno que se deseja analisar. A álgebra de mapas (Figura 13) engloba procedimentos realizados para manipular camadas no SIG a partir de operações

aritméticas e funções matemáticas aplicadas a dados de natureza quantitativa (cardinal, ordinal, intervalar etc.) (CORDEIRO et al., 2005).

Figura 13 - Álgebra de Mapas

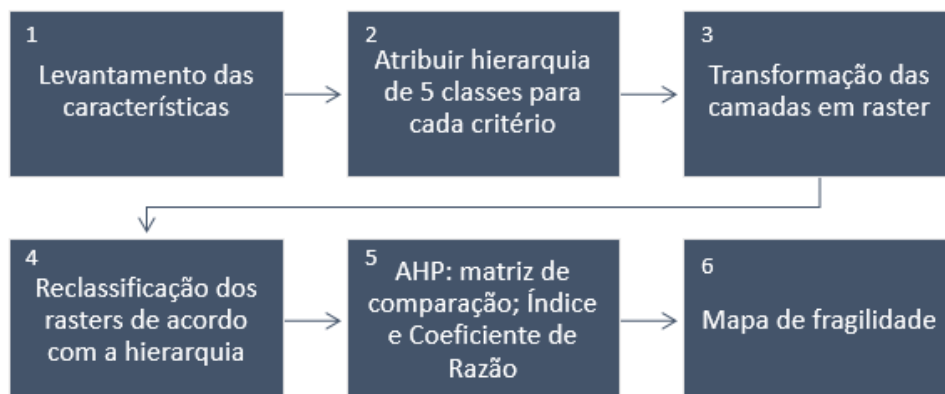


Fonte: ESRI (2018).

Decidiu-se gerar dois cartogramas de fragilidade, um considerando os critérios geologia, solos, declividade e uso e cobertura da terra para ter uma visão geral da fragilidade no PNCG, e o segundo considerando o cartograma gerado anteriormente, as estradas, e a interseção entre malha viária e hidrografia.

Para gerar o primeiro cartograma, após o levantamento das características dos critérios e atribuir as classes de fragilidade para cada critério, foram realizados os processamentos da Figura 14.

Figura 14 - Procedimentos mapa de fragilidade



Fonte: a autora.

Foram convertidos os arquivos vetoriais (Geologia e Solos) para *raster* (imagem), e em seguida reclassificados todos os *rasters* de acordo com a hierarquia. Após obter o peso para critério e reclassificar as camadas, realizou-se a álgebra de mapas, multiplicando para cada layer o seu peso e somando os resultados. Os

procedimentos 2, 3, 4 e 6 foram realizados no *software* de SIG *ArcGis* 10.3, os procedimentos da AHP foram realizados no *software Excel*.

Para a álgebra de mapas foi aplicado o peso atribuído ao critério na matriz pareada da AHP multiplicado pela camada:

$$F = W_{Geo} * Geo + W_{Solos} * Solos + W_{Dec} * Dec + W_{Usos} * Usos \quad (6)$$

Onde: F é a fragilidade; W são os pesos resultantes do segundo nível da AHP; Geo é a camada referente à geologia; Solos referente a solos; Dec camada referente a declividade e Usos a uso e ocupação da terra.

Após aplicada a álgebra de mapas obteve-se o uma imagem com a fragilidade do PNCG.

Para o segundo cartograma foram geradas as áreas de entorno das estradas: a partir das estradas foram criados *buffers* lineares de 100 a 500 metros, e para os pontos de interseção com a hidrografia criou-se *buffers* radiais de 50 a 250 metros, conforme mostra o Quadro 11, as áreas de entorno foram divididas em cinco classes hierárquicas, considerando que quanto mais próximo estivesse das estradas, maior seria o seu grau de fragilidade.

Quadro 11 - Classes das áreas de entorno (*buffers*)

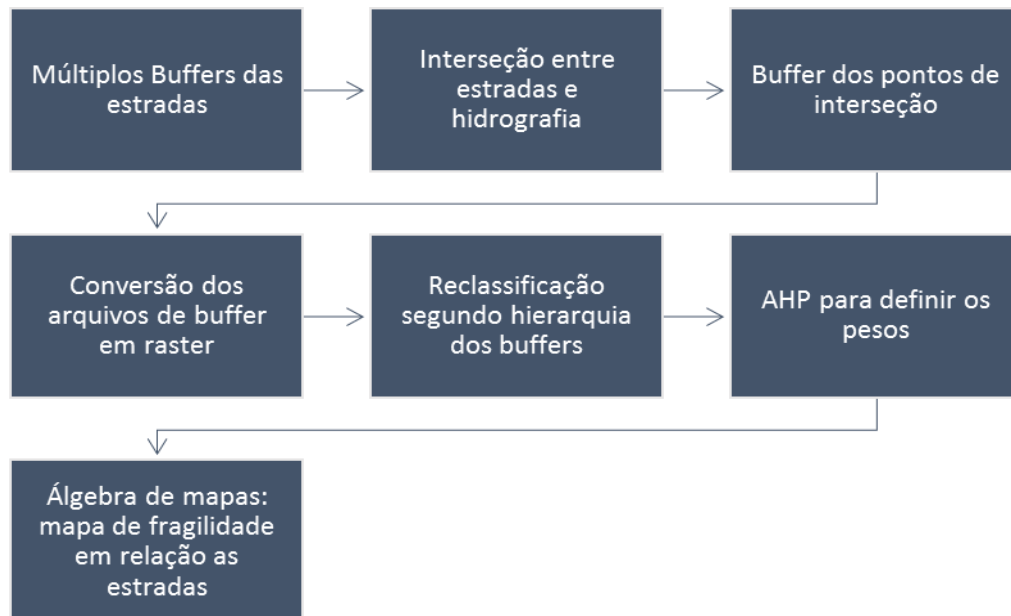
Fragilidade	Área de entorno estradas (metros)	Áreas de entorno pontos de interseção malha viária / hidrografia (metros)
Muito baixa	500	250
Baixa	400	200
Moderada	300	150
Alta	200	100
Muito alta	100	50

Fonte: a autora.

Depois de criadas as áreas de entorno os arquivos que são vetoriais foram convertidos no modelo *raster* e reclassificados com a atribuição das classes hierárquicas de fragilidade.

Após obter o mapa de fragilidade do PNCG a partir da AHP e álgebra de mapas, buscou-se identificar as áreas mais frágeis em função das estradas e interseção entre estradas e hidrografia, conforme procedimentos da Figura 15.

Figura 15 - Procedimentos para geração mapa de fragilidade em relação a estradas



Fonte: a autora.

Foram utilizados o mapa de fragilidade gerado para o PNCG, e os arquivos vetoriais das estradas e hidrografia do PNCG.

Com o objetivo de gerar um novo mapa de fragilidades, agora considerando as estradas do PNCG, foi elaborada nova matriz de comparação pareada com os seguintes critérios: mapa de fragilidade PNCG; áreas de entorno das estradas; áreas de entorno dos pontos de interseção entre estradas e hidrografia.

Dessa forma, obteve-se uma nova operação de álgebra de mapas foi criada:

$$F_e = W_{fragilidade} * Frag + W_e * buffers\ estradas + W_i * buffers\ interseção \quad (7)$$

Assim, gerou-se o cartograma de fragilidade em relação às estradas do PNCG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar as etapas da AHP e prosseguir com os processamentos para identificação das áreas frágeis do PNCG, inicialmente se fez o levantamento das

características dos critérios definidos: substrato geológico, solos, declividade e uso e ocupação da terra. Após isso classificou-se segundo graus de fragilidade cada classe destas variáveis (Quadro 12).

Quadro 12 - Classes de fragilidade

Classe de fragilidade	Geologia	Solos	Declividade	Uso e ocupação da terra
1 - Muito baixa	C. Granítico Cunhaporanga C. Granítico Três Córregos	Latossolos Nitossolos	0 a 6%	
2 - Baixa	Grupo Itaiacoca	Argissolos	6 a 12%	Cobertura florestal
3 - Moderada	G. Itararé Indiviso	Cambissolos	12 a 20%	Agricultura
4 - Alta	Formação Furnas	Neossolos	20 a 30%	Campo e afloramento de rocha
5 - Muito Alta	Sedimentos recentes	Gleissolos Afloramento de rocha	> 30%	Áreas úmidas e corpos hídricos

Fonte: a autora.

Observando o Quadro 12, vemos que para o critério substrato geológico a fragilidade aumenta à medida que as rochas e minerais dos grupos litológicos apresentam menor coesão, o que favorece a denudação. Portanto, percebe-se entre as classes de 'alta' e 'muito alta' fragilidade a Formação Furnas e os Sedimentos recentes.

A Formação Furnas, por suas características intrínsecas, favorece a erosão e remodelação do terreno, devido a percolação de água entre as muitas falhas e fraturas e a presença de caulinita que é solúvel. São essas mesmas propriedades que a qualificam enquanto aquífero de altíssima importância, o planejamento do uso e ocupação da terra nessas áreas é uma tarefa que requer extremo cuidado. Tal formação é também muito importante devido às propriedades que tem. O Grupo Itararé também é constituído por arenitos e folhelhos, embora com textura um pouco mais argilosa e, por isso foi classificado como sendo de alta fragilidade.

Os Sedimentos Recentes tem origem em materiais não consolidados, transportados pelos fluxos flúvicos, os quais se depositam ao fundo e ao longo das margens dos rios e nas planícies de inundação. São considerados de fragilidade 'muito alta', por seu baixíssimo grau de coesão e por estarem sujeitos a um ambiente intensamente dinâmico, onde seu grau de mobilidade favorece sua remoção e consequente erosão do terreno.

O Grupo Itaiacoca ainda que apresente baixo grau de coesão das suas rochas e minerais, apresenta maior resistência às intempéries do que os substratos anteriores e por isso tem classificação 'moderada'.

Observa-se que uma grande proporção do PNCG apresenta fragilidade moderada a muito alta em relação ao seu substrato geológico, sendo este mais um motivo que corrobora a importância da unidade de conservação.

Uma grande porção do PNCG possui fragilidade moderada a muito alta em relação à Geologia, sendo este mais um motivo que corrobora a importância da unidade de conservação.

Embora o afloramento rochoso seja a ausência de solo, foi classificado no critério solo como alta fragilidade, justamente por não ter essa cobertura e ser mais exposto aos agentes modeladores do terreno.

Os solos com classificação maior fragilidade foram os Neossolos e Gleissolos, relacionados aos substratos geológicos mais frágeis: Formação Furnas e Sedimentos Recentes.

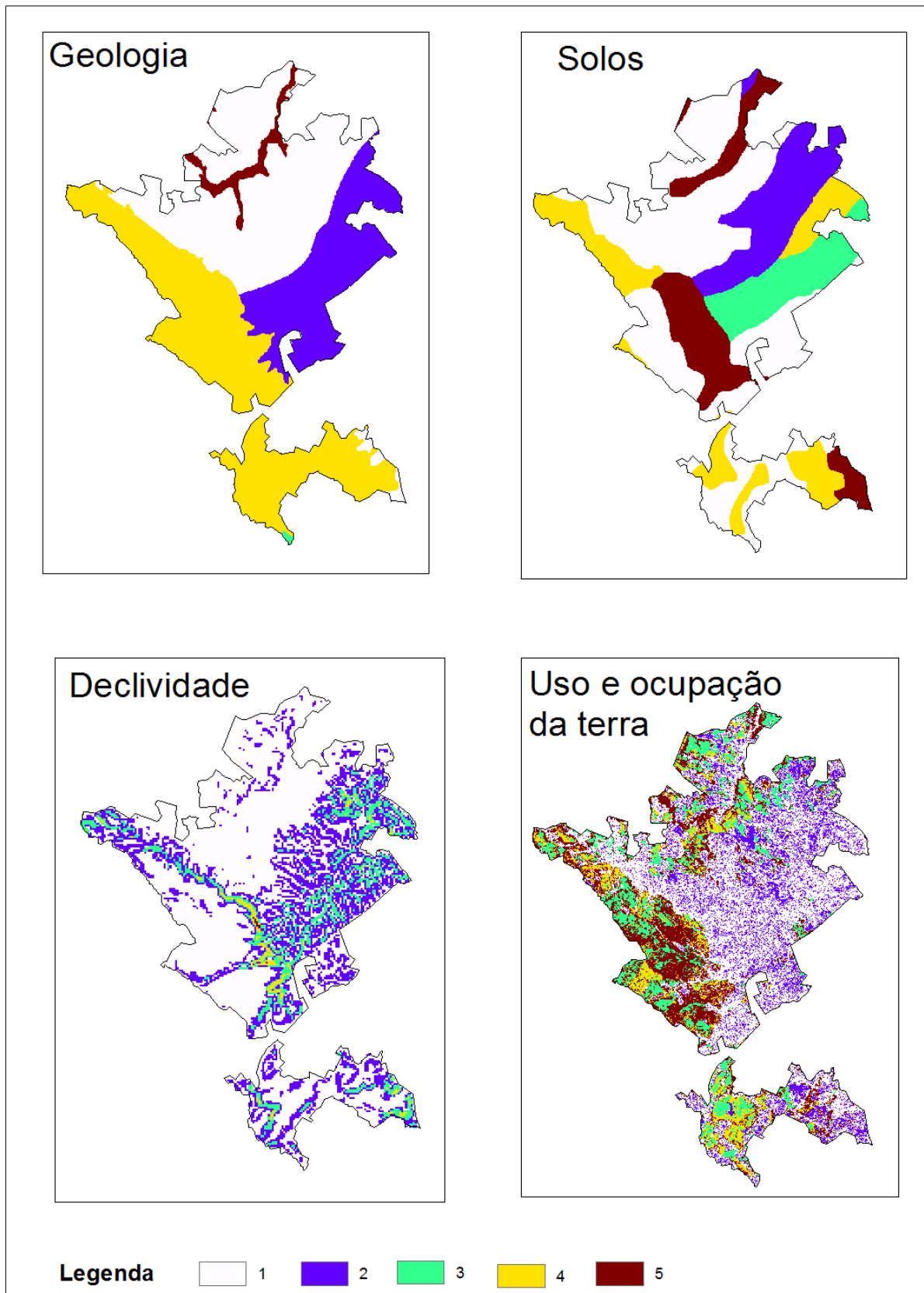
Em relação à declividade, áreas com alta e muito alta fragilidade ocorrem majoritariamente ao longo da Escarpa Devoniana, associadas com a Formação Furnas e afloramentos rochosos.

Quanto aos usos e cobertura da terra, há associação entre os elementos classificados como de alta e muito alta fragilidade em outros critérios também.

Dessa forma, verifica-se que as classes altas e muito altas fragilidades estão correlacionadas em todos os critérios.

Na Figura 16 pode-se observar as classes de fragilidade (1 a 5) para os diferentes critérios.

Figura 16 - Classes de fragilidade para os critérios AHP



(1 - Muito baixa; 2 - Baixa; 3 - Moderada; 4 - Alta; 5 - Muito alta)

Fonte: a autora.

Para definir o peso com que cada critério contribui para a fragilidade intrínseca do PNCG foi realizada a AHP e a Tabela 3 mostra os julgamentos realizados a partir da Escala Fundamental de Saaty. Pode-se ver que os valores de consistência foram adequados, sendo a Razão de Consistência menor que 0,10.

Tabela 3 - Matriz de comparação pareada entre critérios

Fragilidade	Geologia	Solos	Declividade	Uso e ocupação da terra	Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
Geologia	1	1/2	2	3	1,32	0,30
Solos	2	1	1	3	1,57	0,35
Declividade	1/2	1	1	3	1,11	0,25
Uso e ocupação da terra	1/3	1/3	1/3	1	0,44	0,10
Somatório	3,83	2,83	4,33	10,00	4,43	1,00
Auto valor	4,22	Índice de consistência		0,07	Razão de Consistência	0,08

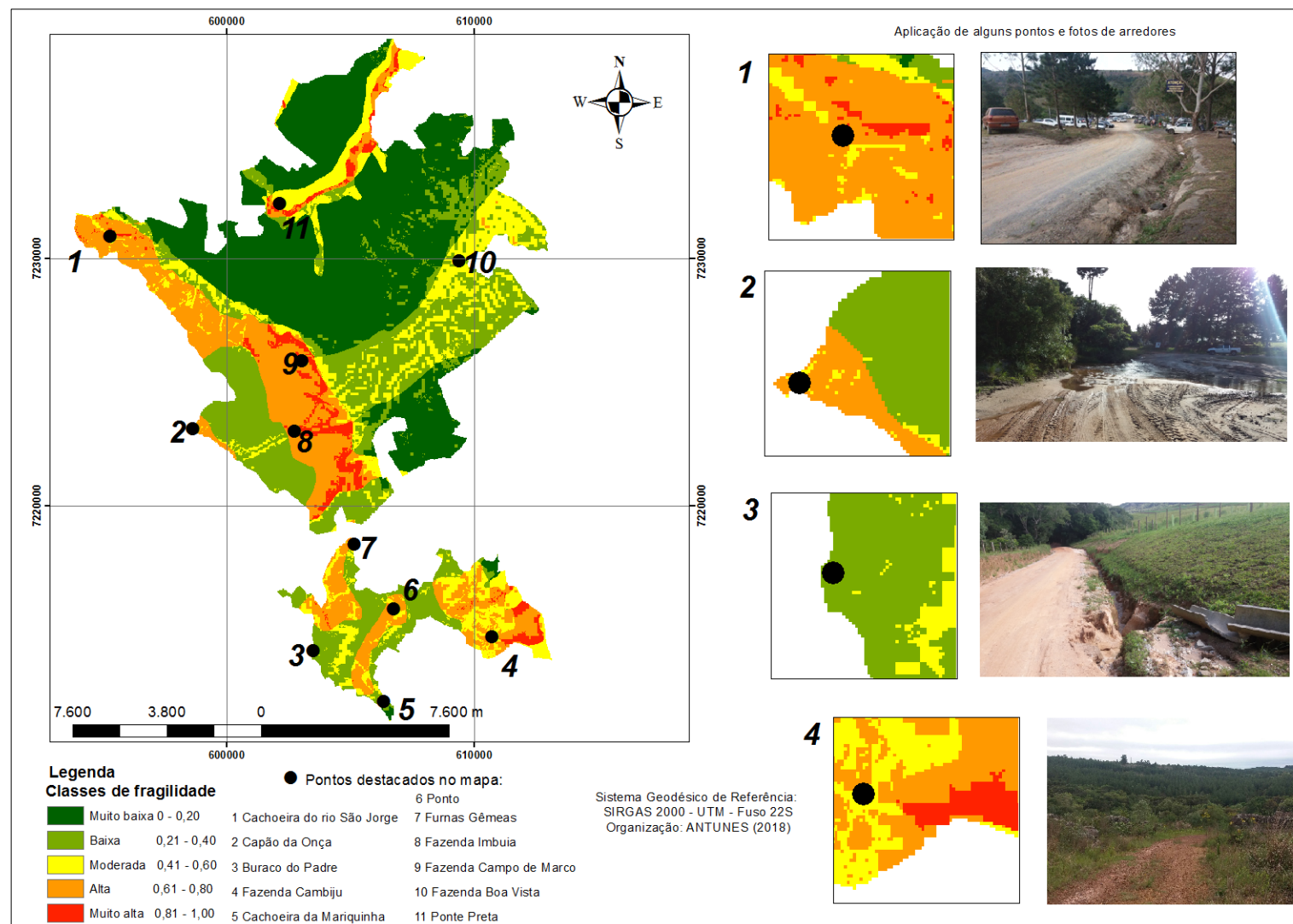
Fonte: a autora.

Os pesos estabelecidos constam da coluna do Auto Vetor normalizado. O maior peso foi atribuído ao solos, em seguida do substrato geológico, s solos, declividade e uso e ocupação da terra.

Estes pesos foram utilizados para gerar o mapa de fragilidade do PNCG utilizando a álgebra de mapas no SIG, assim multiplicou-se cada peso por sua camada, somando todos os resultados.

Como resultado gerado foi uma nova imagem com valores reclassificados de 0 a 1. Estes foram divididos em cinco classes de intervalos iguais. A Figura 17 ilustra o mapa de fragilidade gerado considerando os quatro critérios ponderados na matriz (substrato geológico, solos, declividade e uso e ocupação da terra). Pode-se visualizar que as áreas classificadas como muito frágeis são as que apresentam os solos mais frágeis (Gleissolos, Neossolos) e afloramento de rocha, que estão sobre a Formação Furnas ou Sedimentos recentes e engloba as áreas com declividade alta e muito alta, e os usos e ocupação da terra com menor grau de proteção.

Figura 17 - Mapa de Fragilidade do PNCG.



Fonte: a autora.

A Tabela 4, mostra as áreas e percentuais de cada classe no mapa de fragilidade do PNCG (Figura 17). Observa-se que nesse mapa as áreas de fragilidade “alta” e “muito alta” ocupam mais de 20% do total do PNCG.

Tabela 4 - Área das classes de fragilidade considerando as estradas no PNCG

Classe de fragilidade	Área em km ²	
Muito baixa	80,9	38%
Baixa	55,3	26%
Moderada	31,9	15%
Alta	38,3	18%
Muito alta	6,4	3%
Total	212,88	100%

Fonte: a autora.

Após gerar o mapa geral das fragilidades do PNCG, buscou-se identificar as áreas mais frágeis relacionadas às estradas do PNCG, para isso utilizou-se a Análise de Entorno e AMC por meio da AHP.

Conforme Liu et al (2008), não há uma distância padrão a utilizar para a Análise de Entorno e gerar *buffers* para estradas e rodovias, assim diversos autores utilizam diferentes valores em função do fenômeno que desejam observar. De acordo com Laurence et al. (1997) apud Rodrigues (1998), há uma multiplicidade de largura de bordas, sendo impossível determinar uma largura de borda com aplicação geral, pois cada fenômeno atua numa extensão específica, e quanto mais afastado da borda, mais atenuado seus efeitos.

Assim foram geradas áreas de entorno com valores múltiplos de 100 até 500 metros a partir das estradas, considerando que quanto mais afastados das estradas, menor o efeito de bordas sobre a paisagem. Após gerados foram convertidos em imagem e classificados em cinco classes hierárquicas conforme a sua importância para a fragilidade, conforme ilustra a Figura 18.

As interseções entre a malha viária e os cursos d'água também são elementos potenciais de impactos negativos para a conservação, por tanto estes pontos foram identificados para o PNCG a partir do cruzamento entre o arquivo vetorial de estradas e de hidrografia. Para cada ponto foram gerados cinco áreas de entorno com raio crescente a cada 50m até 250m. Estes também foram convertidos em imagem e reclassificados conforme ordem de importância (Figura 19).

Após isso foi gerada uma nova matriz de comparação pareada de AHP, considerando como objetivo a fragilidade a partir das estradas e como critérios as áreas de entorno a partir das estradas e pontos de interseção com corpos hídricos (Tabela 5). Para estabelecer os julgamentos considerou-se de maior importância e com peso 7 o mapa de fragilidade gerado anteriormente que já ponderava o substrato geológico, os tipos de solos, a declividade e usos e ocupação da terra.

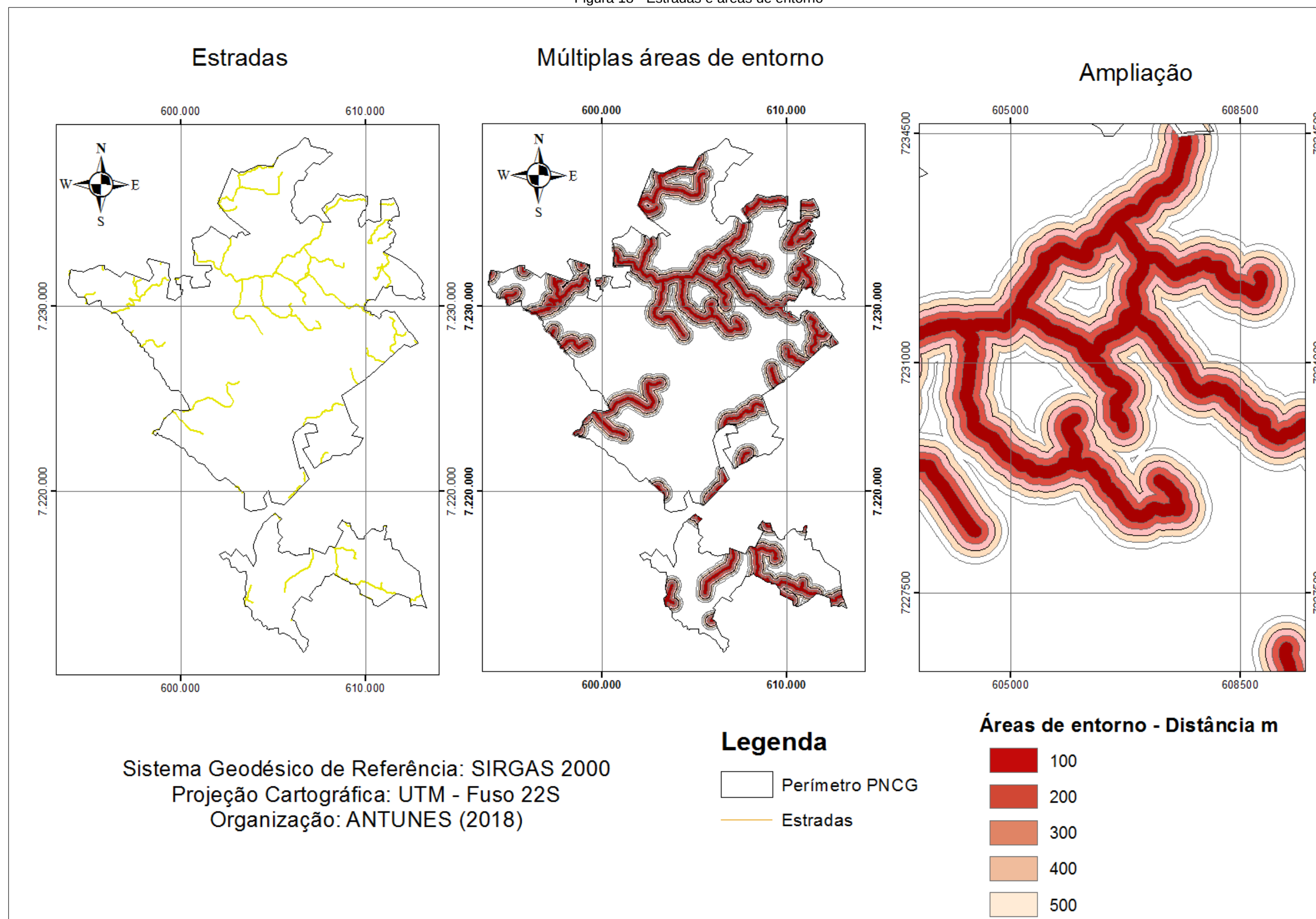
Tabela 5 - Matriz de comparação pareada AHP (Estradas, interseção com estradas e fragilidade)

Frag. Estradas	Mapa Fragilidade	Estradas	Interseção	Auto vetor	Autovetor normalizado	Auto valor
Mapa Fragilidade	1	7	7	3,66	0,77	3,05
Estradas	1/7	1	2	0,66	0,14	Índice de consistência 0,03
Interseção	1/7	1/2	1	0,41	0,09	
Total	1,29	8,50	10,00	4,73	1,00	Razão de coerência 0,05

Fonte: a autora.

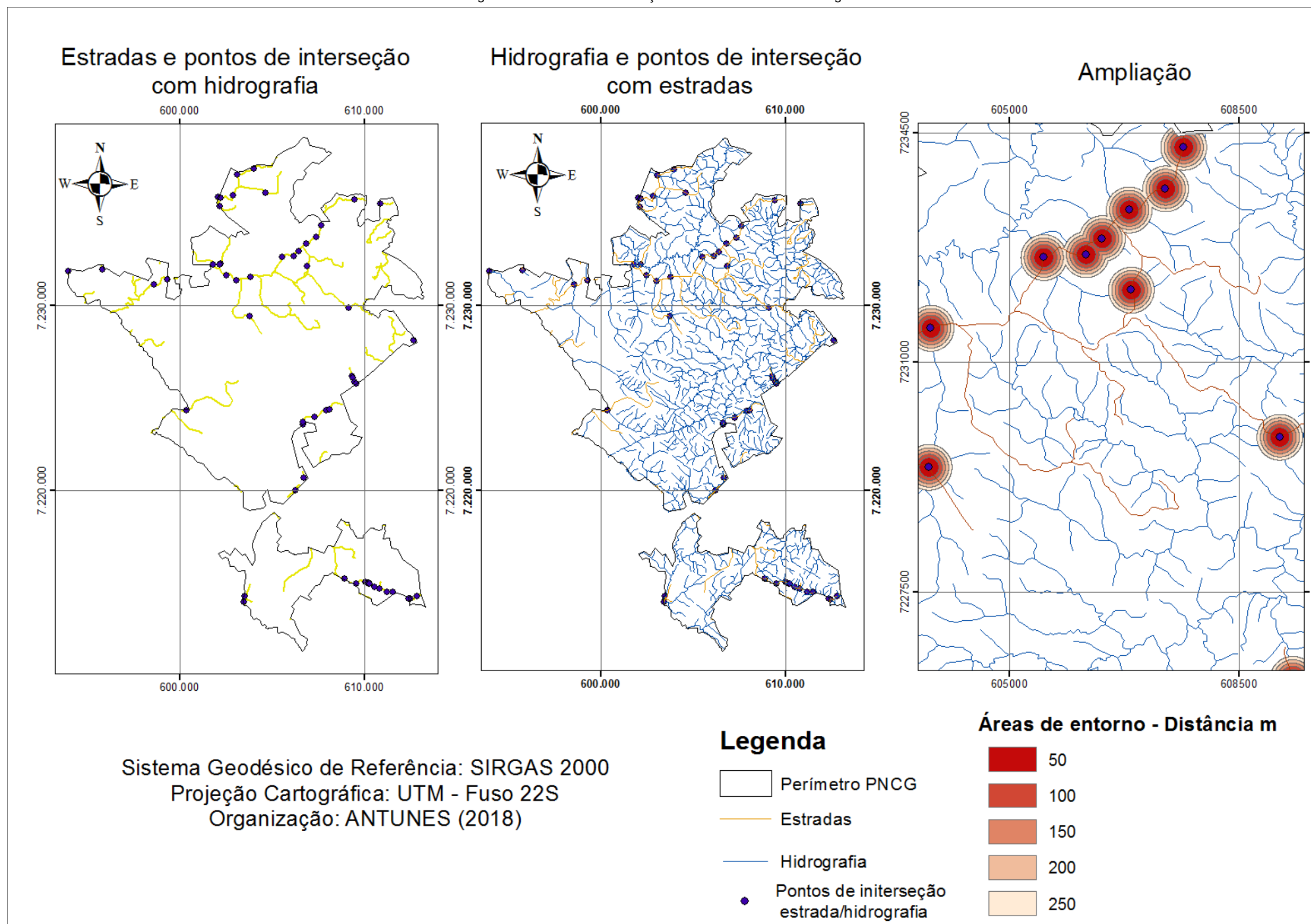
A partir da matriz de comparação foram estabelecidos os pesos para cada critério: com 0,77 ficou a fragilidade geral, 0,14 as estradas e 0,09 a interseção entre estradas e hidrografia. Utilizou-se estes para gerar a álgebra de mapas, obtendo como resultado final um novo mapa temático com o somatório do resultado da atribuição dos pesos a cada uma das camadas, os valores foram escalonados de 0 a 1 e divididos em cinco classes de intervalo igual.

Figura 18 - Estradas e áreas de entorno



Fonte: a autora.

Figura 19 - Pontos de interseção entre malha viária e hidrografia



Fonte: a autora.

A Figura 20 ilustra o mapa de fragilidades considerando as estradas com destaque para alguns pontos e a Tabela 6 apresenta um demonstrativo de áreas e percentuais para as classes de fragilidade mapeadas.

Tabela 6 - Área das classes de fragilidade considerando as estradas no PNCG

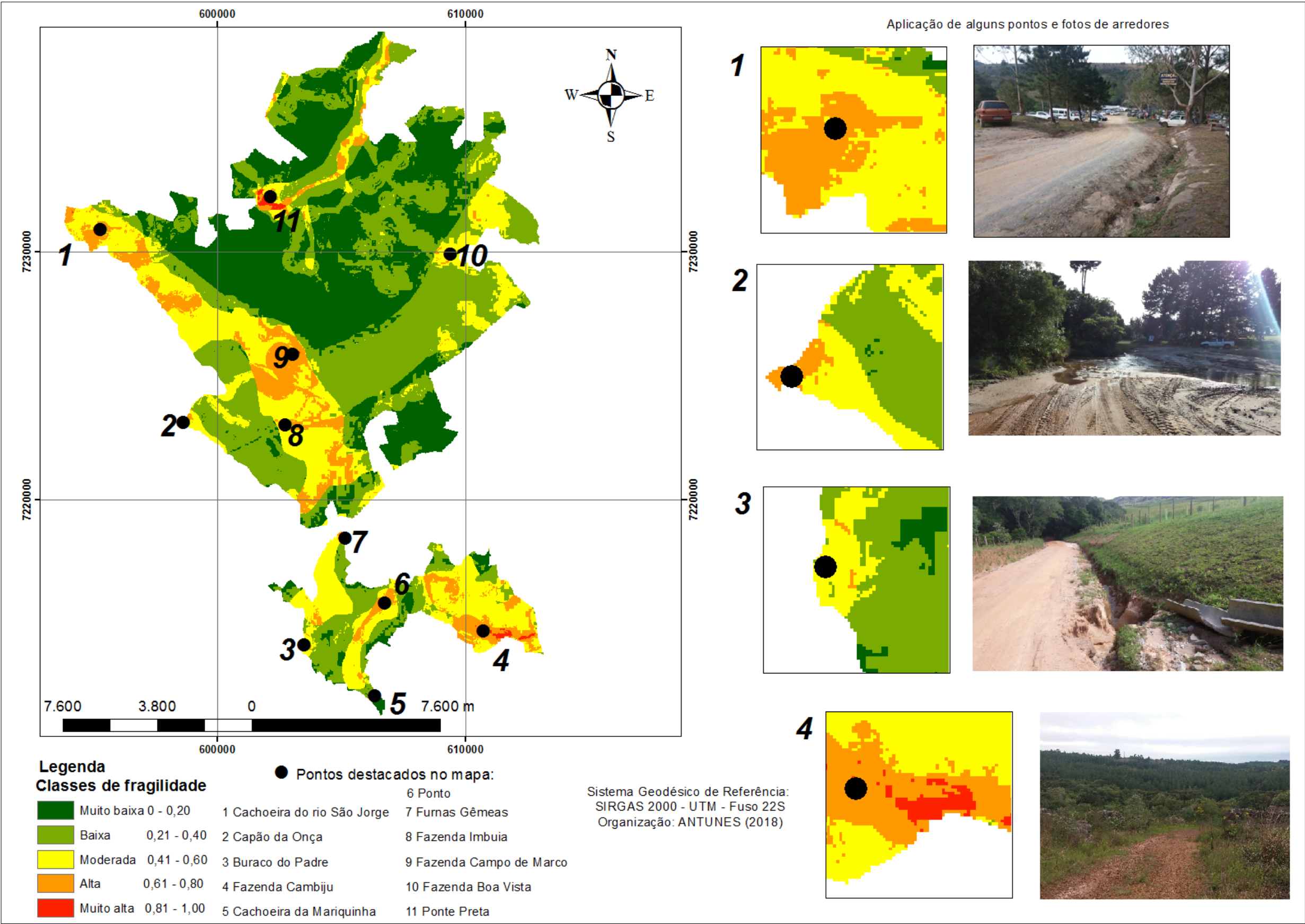
Classe de fragilidade	Área em km ²	Percentual
Muito baixa	66,0	31%
Baixa	78,8	37%
Moderada	44,7	21%
Alta	17,0	8%
Muito alta	6,4	3%
Total	212,88	100%

Fonte: a autora.

Observa-se na Figura 20 que há áreas próximas de atrações turísticas (Cachoeira no rio São Jorge, Capão da Onça, Buraco do Padre, Cachoeira da Mariquinha) com classificação “alta” a “muito alta”, estas merecem atenção na gestão, pois demandam de fluxo alto de turistas e consequentemente de veículos em períodos de feriados.

Ainda há destaque na Figura 20 aos pontos 8 e 9 classificados como de alta fragilidade, estão localizados nas Fazendas Imbuia e Campo de Marco, que de acordo com Oliveira (2012) são áreas importantes no contexto de conservação e da regularização fundiária do PNCG, pois possuem elevado nível de preservação da vegetação natural em seus limites e se desapropriadas viabilizariam área superior as outras UCs de proteção integral a Floresta de Araucárias e ecossistemas associados. A região ao redor do ponto 10, tem classe de fragilidade moderada a alta, nessa área se localiza a Fazenda Boa Vista também com fragmentos de floresta nativa interessantes para a conservação.

Figura 20 - Fragilidade em relação a estradas



Fonte: a autora.

As características intrínsecas das áreas (substrato geológico, tipo de solo, declividade) somadas aos usos que se faz da terra e alto fluxo de veículos podem ocasionar impactos erosivos nas áreas de entorno de estradas. As fotos 1 e 3 da Figura 20, mostram processos erosivos junto as estradas da Cachoeira do rio São Jorge e Buraco do Padre, a Figura 21 mostra mais áreas semelhantes: A – nas margens do rio São Jorge em um trecho que passam veículos, B – na estrada de acesso a Cachoeira da Mariquinha e C – nos arredores do ponto 6.

Figura 21 - Processos erosivos



Fonte: a autora.

Na Figura 22, o ponto 4 se localiza na Fazenda Cambiju. Onde parte dessa área é classificada como de “muito alta” fragilidade, em campo constatou-se que se trata de uma estrada em desuso, como verifica-se na Figura 22:

Figura 22 - Estrada desativada na Fazenda Cambiju



Fonte: a autora.

O padrão espacial formado pela interseção entre malha viária e hidrografia pode afetar de maneira negativa os processos ecológicos, gerando desequilíbrios em

habitats da fauna e fragmentação da paisagem. A foto 2 da Figura 21 destaca a área do Capão da Onça, um balneário bastante frequentado e que se localiza no limite do PNCG.

A Figura 23 traz uma foto da área do ponto 1 destacado na Figura 20, na região da Ponte Preta, que está em área classificada como de “muito alta” fragilidade, isso porque essa o substrato rochoso consiste em sedimentos recentes, o solo é pouco desenvolvido e há corpos hídricos e áreas úmidas.

Figura 23 - Ponte Preta



Fonte: R.F. Moro.

Como mencionado anteriormente, as imagens resultados dos dois procedimentos de AHP, considerando e desconsiderando as estradas, foram classificados em cinco classes de intervalo igual, a partir destas classes foi realizado a conversão da imagem em vetores para melhor calcular a área (Tabela 7).

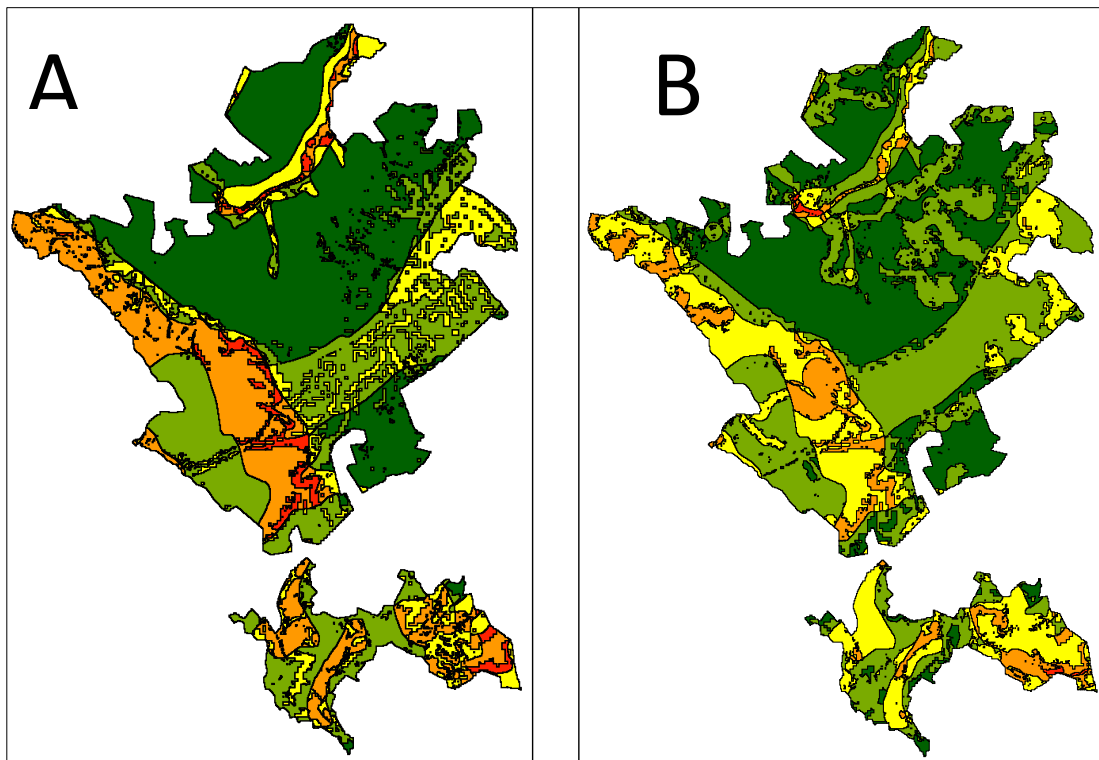
Tabela 7 - Comparação de área e percentual dos mapas de fragilidade gerados

Classes	Área (km ²)		Percentual	
	Sem estradas	Com estradas	Sem estradas	Com estradas
Muito baixa	80,89	68,12	38	32
Baixa	55,35	78,77	26	37
Moderada	31,93	46,83	15	22
Alta	38,32	17,03	18	8
Muito alta	6,39	2,13	3	1
Total	212,88	212,88	100	100

Fonte: a autora.

Observando a Tabela 7 e a Figura 24, nota-se que algumas classes tiveram resultados com diferença significativa nos dois mapas.

Figura 24 - Tabulação cruzada

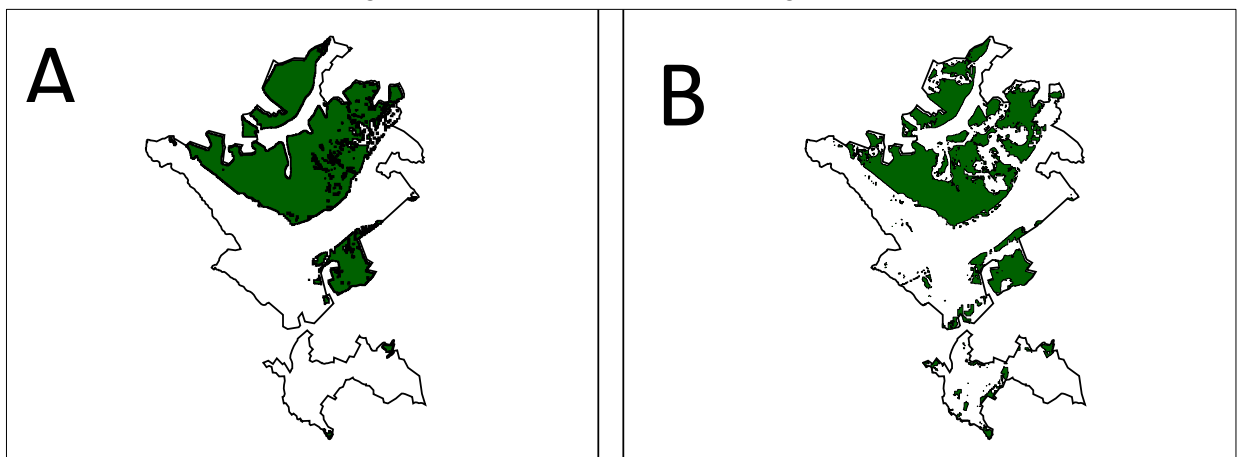


(A – sem considerar as estradas; B – considerando as estradas)

Fonte: a autora.

A Figura 25 mostra a primeira classe “muito baixa” fragilidade isoladamente nas duas classificações, A desconsiderando as estradas e B considerando. É possível notar a diminuição de área na Figura 25B, uma causa pode ser as áreas de entorno criadas nas estradas que faz com que algumas áreas fossem reclassificadas em outras classes, por ex. na parte superior da figura onde os vazios brancos correspondem aos *buffers*.

Figura 25 - Classe 1 "muito baixa" fragilidade

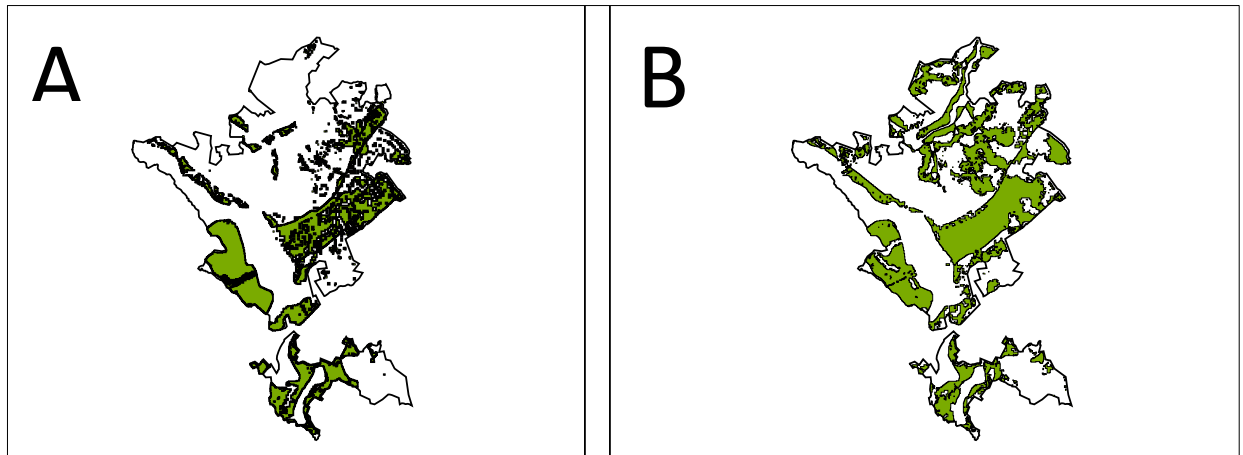


A – sem considerar as estradas; B – considerando as estradas.

Fonte a autora.

A classe “baixa fragilidade” é mostrada na Figura 26, na imagem 26B essa categoria aumentou mais 26km², pois englobou áreas que no primeiro procedimento foram classificados como de “muito baixa” “moderada” fragilidade.

Figura 26 - Classe 2 "baixa" fragilidade

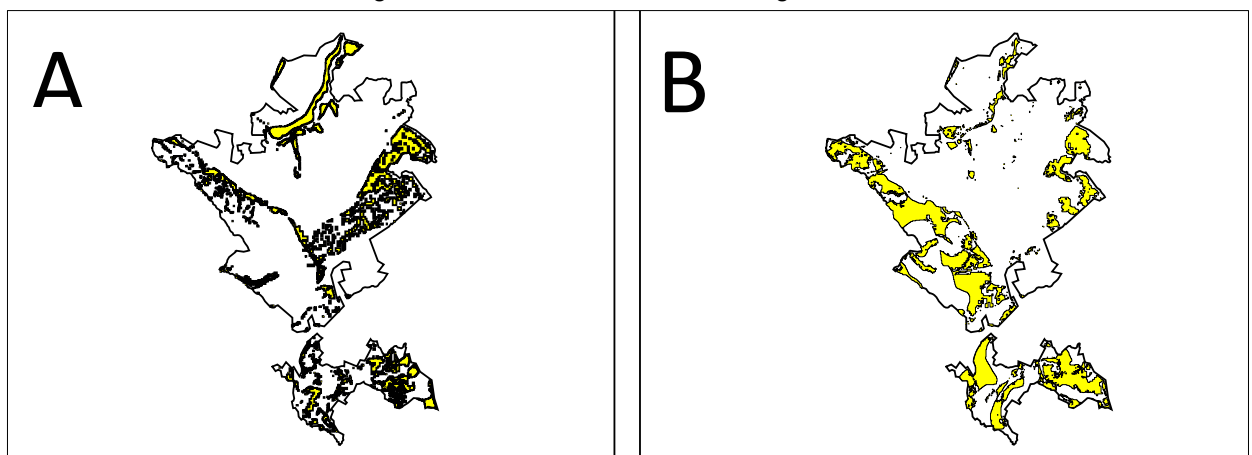


A – sem considerar as estradas; B – considerando as estradas.

Fonte: a autora.

A Figura 27 A e B, mostra lado a lado o resultado das duas classificações. Na parte superior das imagens, verifica-se que houve área que na 27A era “moderada” e na B foi atribuída à “baixa” fragilidade. No entanto, pode-se observar que a classe “moderada”, aumentou de área consideravelmente, isso porque muitas áreas de “alta fragilidade” (Figura 28A/B) foram consideradas como moderadas na segunda AHP.

Figura 27 - Classe 3 "moderada" fragilidade



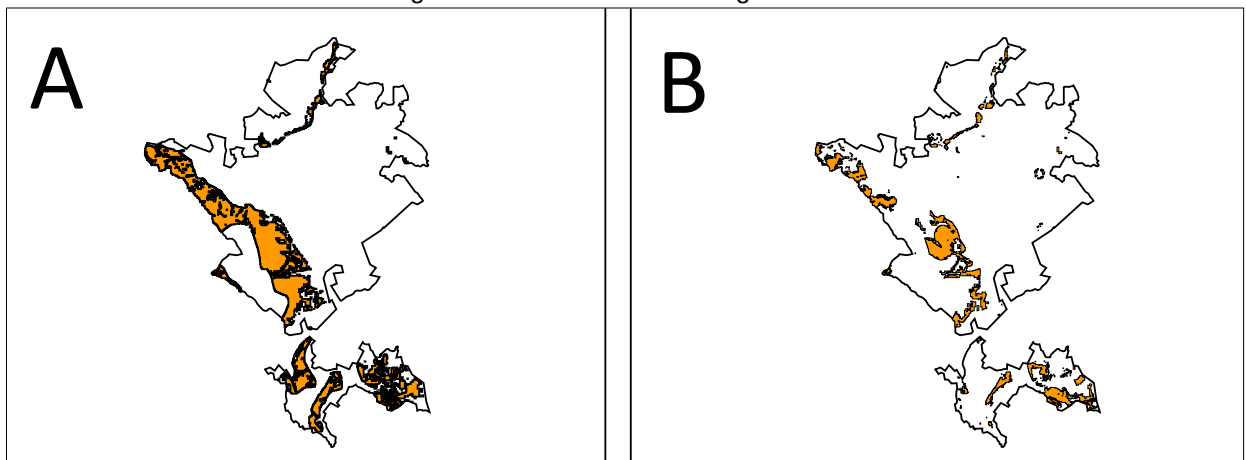
A – sem considerar as estradas; B – considerando as estradas.

Fonte: a autora.

As Figuras 28 A/B e 29 A/B mostram as classes de “alta” e “muito alta” fragilidade e, percebe-se que em ambas as classes diminuíram de área quando se considera as estradas.

Observando as Figuras 27, 28 e 29 observa-se que muitas das áreas de alta fragilidade na Figuras 28A foram classificadas como moderadas na Figura 27B, e que áreas da classe “muito alta” na Figura 29A atribuiu-se a 28B como “alta” e 27B como “moderada”.

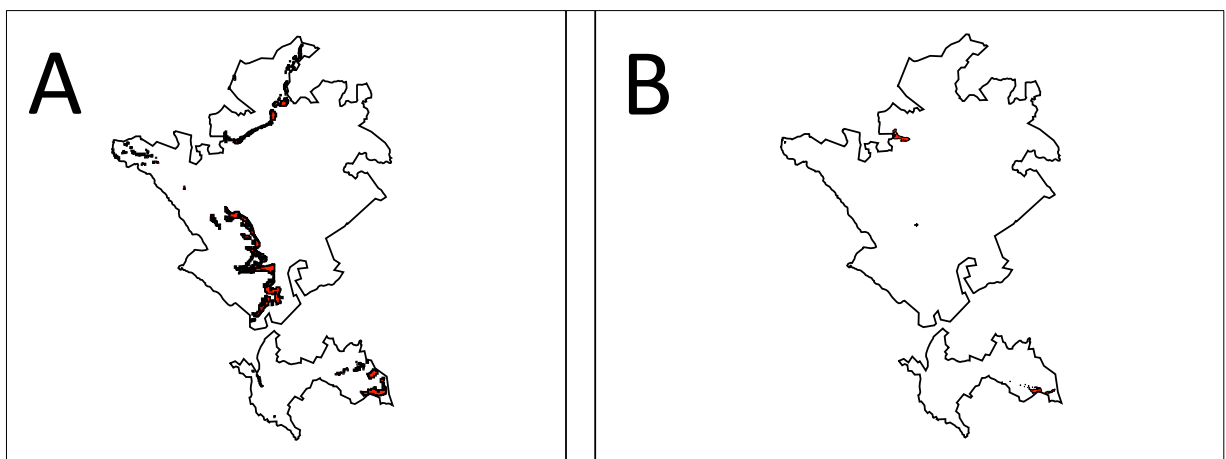
Figura 28 - Classe 4 "alta" fragilidade



A – sem considerar as estradas; B – considerando as estradas.

Fonte: a autora.

Figura 29 - Classe 5 "muito alta" fragilidade



A – sem considerar as estradas; B – considerando as estradas.

Fonte: a autora.

A diferença significativa entre todas as classes ocorreu devido a forma de classificação em intervalos iguais, onde os valores escalonados de 0 a 1 foram divididos em cinco classes com intervalo de 0,2, seguindo um modelo binário com somente duas possibilidades, pertencer ou não a determinada classe. Essa forma é

interessante para quantificar e obter áreas com maior rigidez, no entanto não se mostrou representativa em algumas situações, pois valores próximos ao limite de classes foram atribuídos a classe inferior.

De modo a melhor visualização da relação de fragilidade, adotou-se a lógica *fuzzy*, pois de acordo com Ferreira (2014) cada elemento tem maior ou menor probabilidade de pertencer ou não como membros de n classes de um mesmo mapa, os limites espaciais entre duas ou mais classes são representados por zonas transitórias e os valores de variável são distribuídos de forma contínua.

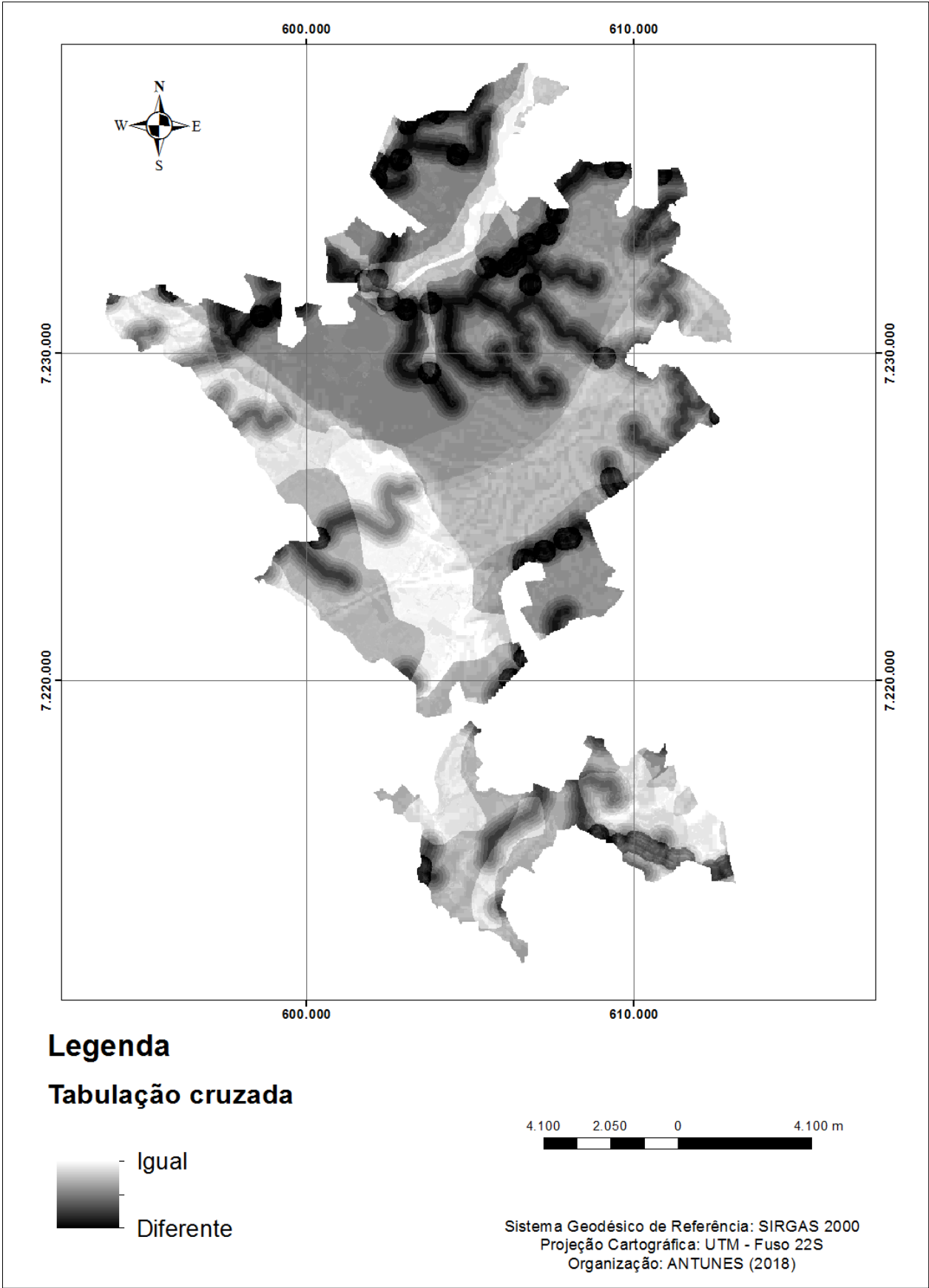
A Figura 30 ilustra a fragilidade desconsiderando as estradas e a Figura 31 considerando as estradas, ambas graduadas de 0 a 1.

Dessa forma, nota-se que os dois procedimentos de AHP, possuem diferenças no que tange ao delineado das estradas e suas interseções com hidrografia, no entanto considerando a graduação de 0 a 1 onde 1 é alta fragilidade estas áreas se mostram com maior fragilidade que na lógica booleana.

Realizou-se também uma tabulação cruzada entre os produtos finais da AHP, de modo a mostrar o que difere nos dois resultados, verifica-se que quanto menor o valor na imagem, maior é a diferença, portanto as áreas pretas da Figura 32 exibem as áreas onde há maior diferença e estas são coincidentes com o delineados das estradas e interseção com a hidrografia.

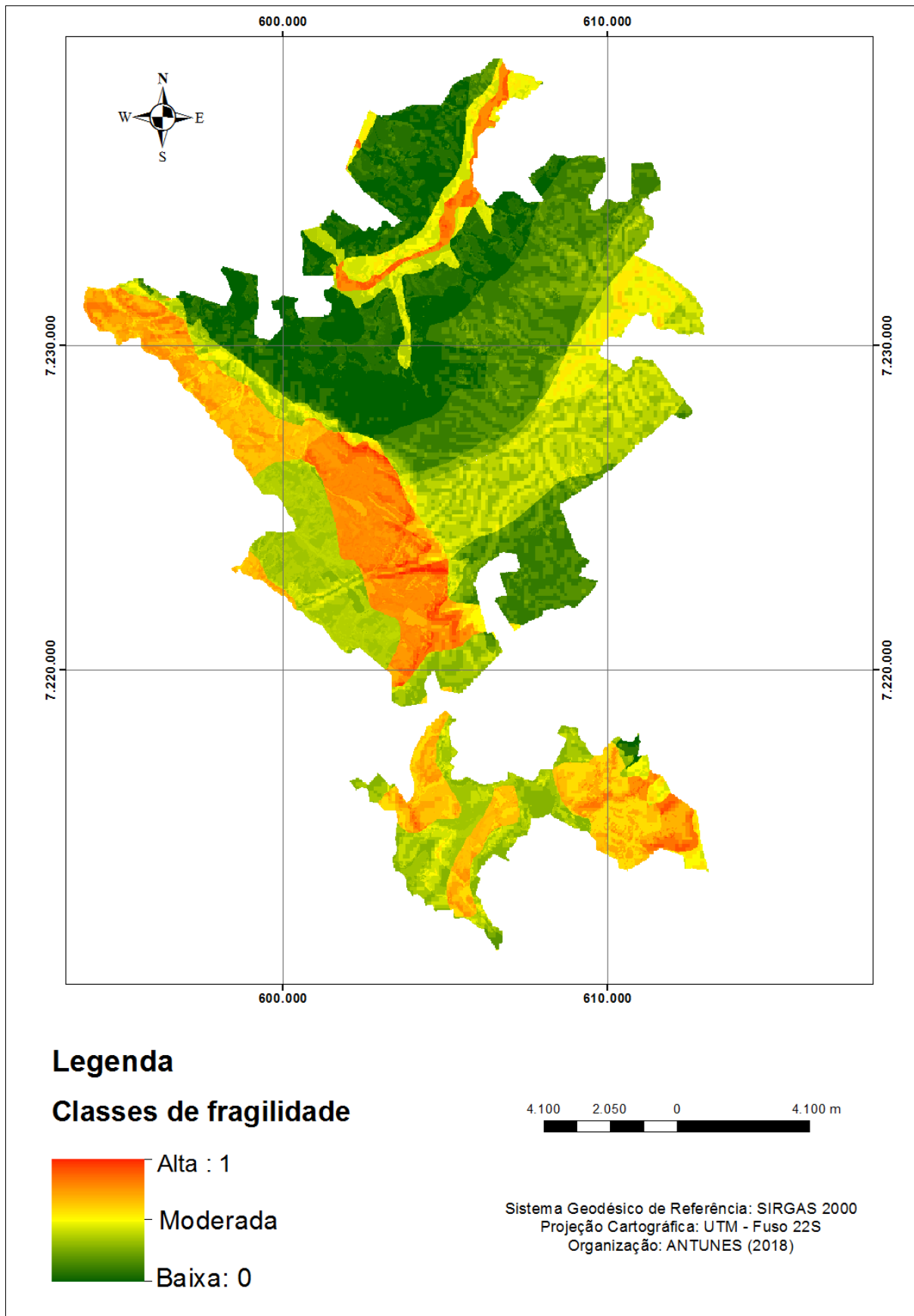
A partir dos mapas de fragilidade considerando as estradas e suas áreas de entorno, percebeu-se que há estradas e interseções com a rede hidrográfica em áreas de solos, e geologia, declividade e usos e cobertura da terra frágeis. Este padrão espacial pode afetar os processos ecológicos, gerando fragmentação da paisagem e desequilíbrios em habitats.

Figura 30 - Tabulação cruzada



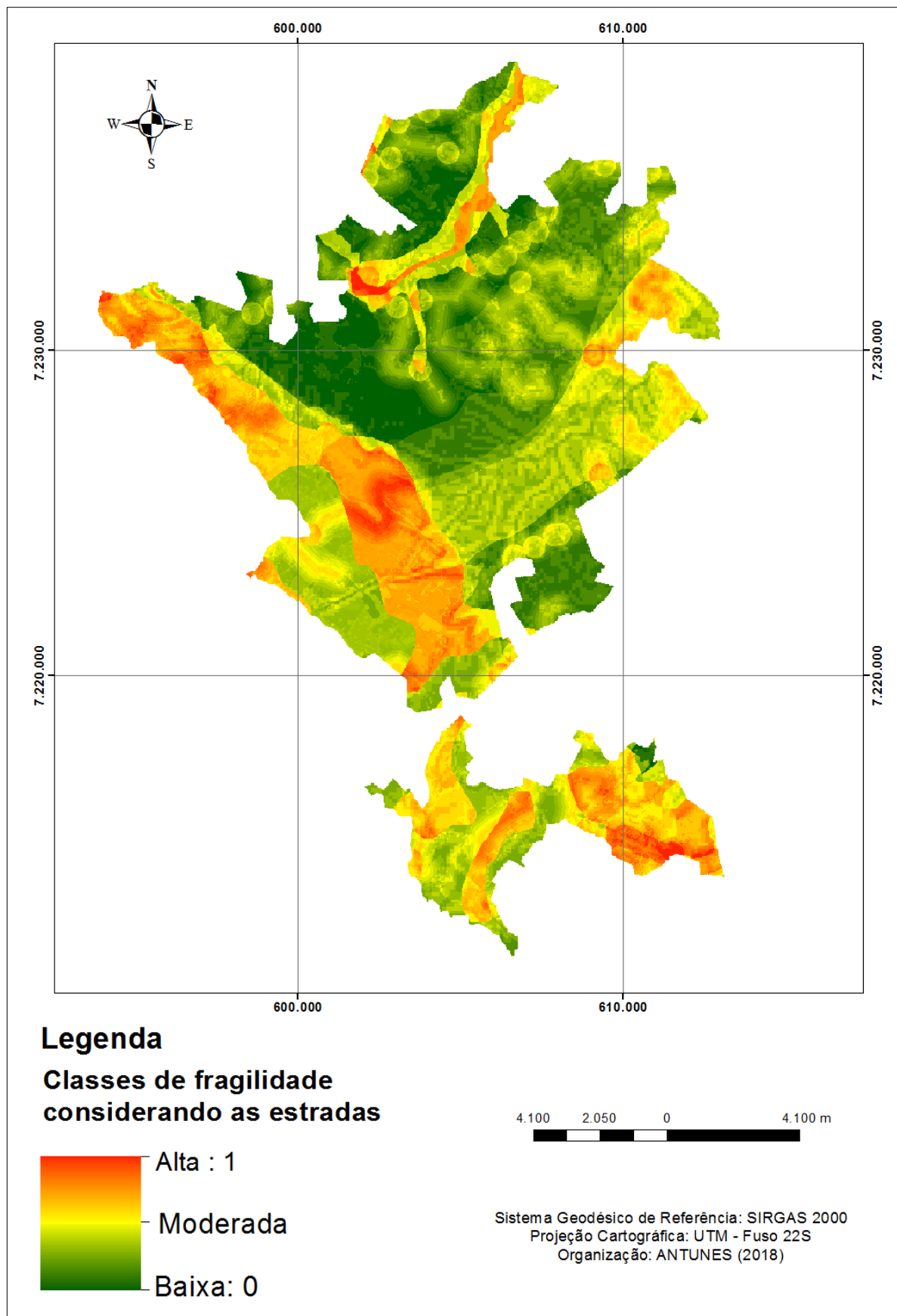
Fonte: a autora.

Figura 31 - Fragilidade geral do PNCG (lógica *fuzzy*), sem considerar as estradas



Fonte: a autora.

Figura 32 - Fragilidade do PNCG considerando as estradas (lógica fuzzy)



Fonte: a autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Através de uma abordagem de Ecologia da Paisagem, buscou-se conhecer e quantificar os padrões espaciais de fragilidade ambiental com interferência em processos ecológicos para subsidiar a gestão do PNCG. O objetivo geral do trabalho foi gerar mapa de fragilidade ambiental considerando a influência das estradas, para isso utilizando como critérios na ponderação de áreas frágeis os tipos de solo, substrato geológico, declividade, e uso e ocupação da terra.

Utilizou-se uma base de dados multiescalar com origens diversas, bastante apropriado para este tipo de abordagem, como tipos de solo (1:2.000.000) e substrato geológico (1:250.000). Através de ferramentas de geoprocessamento foi possível trabalhar dados multiescala e multifonte em conjunto, gerando informações para análises. Para a realização do estudo optou-se por combinar Análise Multicritério (AMC), Análise de Entorno (AE) e Álgebra de Mapas.

A AMC possibilitou trabalhar com diversas variáveis e ponderar sua importância e, no caso do PNCG, a técnica que trouxe melhor resultados foi AHP de AMC, que atribuiu pesos de contribuição aos critérios selecionados para definir pontos de fragilidade no PNCG.

A AE, também chamada de *buffering*, consistiu na criação de uma área de entorno ao redor das estradas para posterior análise, e a álgebra de mapas possibilitou a operação matemática entre as diferentes camadas.

Dentre um acervo variado, a imagem de satélite Sentinel com resolução espacial de 10 metros e espectral com quatro bandas (região do visível e infravermelho próximo) foi a que proporcionou a melhor classificação supervisionada de uso e ocupação da terra. Embora tenha sido realizado o NDVI como banda auxiliar para melhor identificação da vegetação da área de estudo, somente com estes dados e processamento a nível de *pixel* não foi possível separar a cobertura florestal nativa dos florestamentos de espécies exóticas, para isso recomenda-se que em trabalhos futuros utilize-se de Análise Orientada a Objeto Geográfico e imagem com alta resolução espacial. Já o MDE do satélite ALOS foi utilizado para gerar os mapas bastante acurados de hipsometria e declividade.

Foi definido o grau de importância com que cada classe de um determinado critério contribuía para a fragilidade. Dessa forma, identificou-se que no PNCG em relação a solos, segue-se a seguinte ordem de fragilidade: Gleissolos e Afloramentos

de rocha, Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Latossolos e Nitossolos. Já para o substrato geológico são: Sedimentos Recentes, Formação Furnas, Grupo Itararé, Formação Itaiacoca, e Complexos Graníticos Cunhaporanga e Três Córregos.

Para a declividade adotou-se a conceituação consagrada de que quanto maior a declividade, maior a fragilidade. Também foi considerada a seguinte ordem de fragilidade para usos e ocupação da terra: cobertura florestal (nativa ou reflorestada), agricultura, campo (ou pastagem) e afloramento rochoso, e áreas úmidas e corpos hídricos.

Através da AHP o peso maior foi dado a solos, em seguida ao substrato geológico, declividade e uso da terra. Na combinação das diversas camadas e posterior operações aritméticas, a Álgebra de mapas permitiu a multiplicação dos pesos por suas respectivas variáveis e a soma de todos os resultados possibilitou gerar os mapas de fragilidade para o PNCG.

No primeiro cartograma, considerando solos, substrato geológico, declividade e uso da terra, obteve-se uma visão geral da fragilidade do PNCG e foi possível observar que as áreas mais frágeis de cada critério eram coincidentes, ou seja, é sobre a Formação Furnas e Sedimentos Recentes que estão os solos mais frágeis, as declividades mais altas e os usos e cobertura da terra incompatíveis com a conservação.

Estabelecida essa visão das áreas mais frágeis em sentido geral, buscou-se ponderar as estradas e os pontos de interseção entre malha viária e hidrografia, considerando que o efeito de borda pela lateralidade da estrada e sua interferência nos aspectos bióticos e abióticos diminuem a medida que aumenta a distância. A Análise de Entorno e AHP foram essenciais para isso, ao criar múltiplas áreas de entorno para a estrada e para os pontos de interseção, as quais foram classificadas e ponderadas de acordo com a distância, recebendo menor peso à medida que se afastavam do leito das estradas.

Para este segundo objetivo, o de considerar as estradas um critério na análise da fragilidade, foi criado um segundo cartograma. Utilizou-se nova AHP e Álgebra de mapas, atribuindo-se peso maior ao mapa de fragilidade anteriormente gerado, em seguida às áreas de entorno das estradas e posteriormente às interseções entre malha viária e hidrografia.

A partir dos mapas de fragilidade considerando as estradas e suas áreas de entorno, percebeu-se que há estradas e interseções com a rede hidrográfica em

áreas de solos, e geologia, declividade e usos e cobertura da terra frágeis. Este padrão espacial pode afetar os processos ecológicos, gerando fragmentação da paisagem e desequilíbrios em habitats.

Ficou evidente ainda, que as áreas mais frágeis do PNCG em relação às estradas estão próximas aos pontos turísticos frequentados dentro do parque. Estas áreas devem ser priorizadas na atenção dos gestores, pois o fluxo de veículos e pessoas e mau uso dos locais pode gerar e/ou potencializar os impactos negativos nas áreas, acelerando processos de erosão, alterando a qualidade hídrica e afetando a geo e biodiversidade.

De modo a quantificar as áreas, os dois mapas gerados foram classificados em cinco intervalos iguais, e notou-se que dessa forma alguns resultados se alteravam de forma considerável. Portanto foi gerada uma visualização dos cartogramas na lógica *fuzzy*, em que não há limite definido de classes e sim uma graduação entre os intervalos.

Comparando-se os cartogramas de fragilidade com as classes na lógica booleana, percebe-se que para algumas áreas foram obtidos valores muito próximos ao limite das classes, de maneira que foram classificadas pouco representativo da verdade de campo. Por isso, considerou-se que o emprego da lógica *fuzzy* permitiu a melhor visualização dos intervalos, ainda que nesta ocorra uma limitação para a quantificação.

Observando os cartogramas graduados (*fuzzy*), verifica-se que em relação as áreas mais frágeis, estas são coincidentes em ambos os cartogramas gerados. Mas ao se apreciar os cartogramas relativos às estradas, algumas áreas que antes estavam classificadas como de baixa fragilidade, passaram a uma categoria de maior fragilidade. Portanto, ao se analisar o potencial de fragilidade de estradas numa paisagem, é pertinente selecionar com redobrado cuidado o método de classificação e de quantificação das classes.

A tabulação cruzada gerou um cartograma de conflitos, onde foi possível discernir onde estão as diferenças entre os dois produtos classificados. No PNCG nota-se que a divergência maior consistiu nas áreas ao redor de estradas e interseções com hidrografia.

Recomenda-se para análises mais detalhadas a aplicação de estudo de AMC em escala local utilizando dados de alta resolução espacial. Justifica-se o uso desses dados quando há necessidade de detalhamento maior, numa escala mais

refinada, como para análise comparativa de biodiversidade, do comportamento de determinadas espécies, da variação de leito de cursos de água e áreas úmidas, entre outros

Em complemento deste trabalho, que considerou os fluxos laterais das estradas, são recomendados estudos que avaliem a intensidade dos fluxos longitudinais, como intensidade de fluxo (tráfego), peso e velocidade dos veículos, influência dos tipos de pavimentação, e outros.

6 REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, S.S. de; HERNANI, L.C. **Solos Frágeis**: caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília: Embrapa, 2015. Cap. 1, p. 25-51.

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

ÅS, S. Invasion of Matrix Species in Small Habitat Patches. **Conservation Ecology**, v. 3, n. 1, 1999. Disponível em: <<https://www.ecologyandsociety.org/vol3/iss1/art1/>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

BACH, S.F. dos S.; MENEGUZZO, I.S.; BCZUKA, J.C.; CAPOTE, G.O. Eficácia de gestão do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná. In: MENEGUZZO, I.S. **Unidades de Conservação nos Campos Gerais do Paraná**: diferentes abordagens. Ponta Grossa: Estúdio Texto, 2015. p. 57 a 68.

BAKER, M.E.; WELLER, D.E.; JORDAN, T.E. Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers. **Landscape Ecology**, v. 21, p.1327-1345, 2006.

BENNETT, A.F. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In: SAUNDERS, D.A.; HOBBS, R.J. (Eds.). **Nature Conservation 2: The Role of Corridors**. Chipping Norton: Surrey Beatty, 1991. p. 99- 117. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279896887_Roads_roadsides_and_wildlife_conservation_a_review>. Acesso em: 23 de junho.

BENSUSAN, N. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 176 p.

BLUMENFELD, E.C.; SANTOS, R.F. dos; THOMAZIELLO, S.A.; RAGAZZI, S. Relações entre tipo de vizinhança e efeitos de borda em fragmento florestal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1301-1316, 2016.

CAMPOS, R.R. de; AZEVEDO, U.R. de; VASCONCELOS, M.F. de. Análise de elementos da diversidade natural na proposição de conectividade de habitats da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Geonomos**, v. 21, n. 2, 2013. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/275>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

CASTRO, J. et al. Utilização de SIG e Análise Multicritério para seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, n 3, p.652-657, jul.-set., 2015.

CENTENO, J A.S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. 219 p.

COFFIN, A. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, v. 15, p. 396-406, 2007.

CONGALTON, R. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CORDEIRO, J.P. et al. Algebraic formalism over maps. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM IN GEOINFORMATICS. 7., 2005, Campos do Jordão. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de Geoprocessamento e de Análise de Multicritérios na adequação de uso das terras**. Botucatu, 2006. 117f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) – UNESP, SP.

CREPANI, E. M. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

DELGADO, J.D.; ARÉVALO, J.R.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M. Road and topography effects on invasion: edge effects in rat foraging patterns in two oceanic island forests (Tenerife, Canary Islands). **Ecography**, v. 24, n. 5, p.539-546, 2001.

DELGADO, J.D.; ARROYO, N.L.; ARÉVALO, J.R.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n. 4, p. 328-340, 2007.

DIAKONOV, K.N. **Geofísica das paisagens: método dos balances**. Moscou. Ed. Universidade Estadual de Moscou, 1988. 96p.

DIAS, V.S.B.; SILVA, A.B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n.6, p. 1363-1377, 2014.

DIEGUES, A.C. **Os Saberes Tradicionais e a Biodiversidade no Brasil**. São Paulo: Ed. UFC, 2007. 222 p.

EIGENBROD, F.; HECNAR, S.J.; FAHRIG, L. Quantifying the road-effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. **Ecology and Society**, v. 14, n. 1, p. 24 (on line), 2009. Disponível em: <<http://www.glel.carleton.ca/PDF/roadPub/09/09EigenbrodetalEcolAndSoc.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESA. European Space Agency. **SENTINEL 2**, 2017. Disponível em: <http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2>. Acesso em: 01 ago. 2017.

ESRI. **Spatial Analysis Promotes Effective Community Engagement**. Disponível em <https://medium.com/esri-insider/spatial-analysis-promotes-effective-community-engagement-c865550f910d>. Acesso em: 23 jul.2018.

FARWIG, N.; SCHABO, D.G.; ALBRECHT, G. Trait-associated loss of frugivores in fragmented forest does not affect seed removal rates. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 1, p. 20-28, 2017.

FELGUEIRAS, C.; CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 23 jul.2018.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. São Paulo: Ed. UNESP, 2014.

FORMAN, R.T.T. **Land Mosaics**: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.

FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, p. 207-232, 1998.

FORMAN, R.T.T. et al. **Road Ecology**: Science and Solutions. Washington: Island Press, 2002.

FRANCISCO, C.E. da S. et al. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, 13., Florianópolis. **Anais** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2643-2650. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.13.55/doc/2643-2650.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

FRANCO, G.B. et al. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental na Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 42, p. 114-127, 2012.

FRANCO, R.A.M.; HERNANDEZ, F.B.T.; MORAES, J.F.L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2013. p.3366-3373.

FREITAS, S.R.; TEIXEIRA, A.M.G.; METZGER, J.-P. Estudo da relação entre estradas, relevo, uso da terra e vegetação natural de Ibiúna - SP, com enfoque na ecologia da paisagem. **Natureza & Conservação**, v. 7, n.2, p. 44-56, 2009.

FUCK, R.A. Geologia da Folha Abapã. **Boletim Universidade Federal do Paraná**, Geologia, v. 25. 34p.

GALVÃO, M.V.; FAISSOL, S. A revolução quantitativa na Geografia e seus reflexos no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 4, p., 1970.

GDOURA, K.; ANANE, M.; JELLALI, S. Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water, **Resources, Conservation and Recycling**, v.104, p. 19-30, 2015.

GIMENES, F.B.Q.G.; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2013.

GOMES, K.G.A. **Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PUC, RJ.

GREENE, R.; DEVILLERS, R.; LUTHER, J.E.; EDDY, B.G. GIS-Based Multiple-Criterial Decision Analysis. **Geography Compass**, v. 5, n. 6, p. 412-432, 2011.

GUIMARÃES, G.B. **As rochas granitoides do Complexo Cunhaporanga, Paraná: aspectos geológicos, geofísicos, geoquímicos e mineralógicos**. São Paulo, 2000. 337 f. Tese (Doutorado em Geologia) -. USP, SP.

GUIMARÃES, G.B.; MELLO, M.S. de. Geologia dos Campos Gerais. In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARAES, G.B. (Eds.). **Patrimônio natural dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Ed. UEG, 2007. p. 23-32.

HAWBAKER, T.J. et al. Road Density and Landscape Pattern in Relation to Housing Density, and Ownership, Land Cover, and Soils. **Landscape Ecology**, v. 20, n. 5, p. 609-625, 2005.

HOBBS, R.J. Landscape ecology and conservation: moving from description to application. **Pacific Conservation Biology**, v. 1, p. 170-176, 1994.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2009.

JONES, K.B. et al. Predicting nutrient discharges and sediment loadings to streams from landscape metrics: a multi2ple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. **Landscape Ecology**, v. 16, p.301-312, 2001.

KAWAKUBO, F.S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 2005. **Anais ...** p. 2203-2210.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LAURENCE, W. et al. Tropical Forest Fragmentation: Synthesis of a Diverse and Dynamic Discipline. In: LAURENCE, W.F.; BIERREGAARD, R.O. **Tropical Forest Remnants Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities**. Chicago: Chicago University Press, 1997. 616p

LAUSH, A. Raumstrukturmaße in der Tagebaufolgelandschaft "Südraum Leipzig" - Durchführung von Monitoring und Bewertungsansätzen. **Schriftenreihe des Institutes für ökologische Raumentwicklung**, v. 29, p. 77-93, 1999.

LESER, H. **Landschaftsökologie**, Stuttgart, 1997.

LINDEBERG, T. **Scale-space theory in computer vision**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. 423 p.

LIU, S.L. et al. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk: a case study in Lancang River Valley of Southwest China. **Ecological Engineering**, v. 34, p. 91-99, 2008.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOTTERING, R.; MUTANGA, O. Estimating the road edge effect on adjacent *Eucalyptus grandis* forests in KwaZulu-Natal, South Africa, using texture measures and an artificial neural network **Journal of Spatial Science**, v. 57, n. 2, p. 153-173, 2012.

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

MADER, H.J.; SCHELL, C.; KORNACKER, P. Linear barriers to arthropod movements in the landscape. **Biol. Conservation**, v. 54, n. 3, p. 209-222, 1990.

MALCKZEWSKI J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **Intern. Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703-726, 2006.

MARSH, D.M. et al. Effects of roads and land use on frog distributions across spatial scales and regions in the Eastern and Central United States. **Diversity and Distributions**, v. 23, n. 2, p. 158-170, 2017.

MELO, L. et al. Análise da fragilidade ambiental potencial dos solos do Paraná. **Revista Departamento Geografia**, n. 28, p. 101-111, 2015.

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; SANTANA, A.C. Fisiografia da bacia do rio Pitangui. In: GEALH, A.M.; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Eds.) **Pitangui, rio de contrastes: seus lugares, seus peixes, sua gente**. Ponta Grossa:Ed. UEPG, 2010.

MENEGUZZO, I.S. Estudo comparativo das políticas ambientais aplicadas ao Parque Nacional dos Campos Gerais e ao Parque Estadual do Caxambu, PR. **Sociedade e Território**, v. 27, p. 1-16, 2015.

MENEGUZZO, I.S.; FIORI, C.O. A efetividade das políticas ambientais para a conservação da natureza nos parques estaduais dos Campos Gerais do Paraná. In:

MENEGUZZO, I.S. **Unidades de Conservação nos Campos Gerais do Paraná:** diferentes abordagens. Ponta Grossa: Estúdio Texto, 2015. p. 21-41.

MENEZES, P.M.L.; COELHO NETO, A.L. Escala: estudo de conceitos e aplicações, 2002. Disponível em <http://www.geocart.igeo.ufrrj.br/pdf/trabalhos/Escala_Conceitos_Aplic.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2018.

MENEZES, P.M.L.; FERNANDES, M. do C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 288p.

METZGER, J.-P. O que é Ecologia de Paisagens. **Biota neotropica**, v.1, n.1, p. 1-9, 2001.

METZGER, J.-P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JÚNIOR, L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Org.). **Métodos de estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre**. Curitiba: Ed. UFPR, 2003. p. 423

MICHAEL, E.P.; SAMANTHA, S. Landslide vulnerability mapping (LVM) using weighted linear combination (WLC) model through remote sensing and GIS techniques. **Model. Earth Syst. Environ**, v. 2, p. 88, 2016.

MINEROPAR. **Potencialidades e fragilidades das rochas do estado do Paraná**, 2006. p. 66. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Contribuicoes_ZEE/Mineropar_2006.pdf> Acesso em: 23 jul. 2018.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Parque Nacional dos Campos Gerais**. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/202/_arquivos/folder_consulta11.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

MIRANDA, G.; RAMOS, J. R. L.; PENA, M. S.; et al. Uso de imagens Rapideye e análise multicritério na construção de traçados para o contorno sul do rodovial de Belo Horizonte. **Revista Geografias**, p. 119-130, 2017.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade**, 2003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/projetos-sobre-a-biodiversidade/projeto-de-conserva%C3%A7%C3%A3o-e-utiliza%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel-da-diversidade-biol%C3%B3gica-brasileira-probio-i/%C3%A1reas-priorit%C3%A1rias>> Acesso em: 10 ago. 2017.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Metas Nacionais de Biodiversidade para 2010**, 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/Metas%202010.pdf> Acesso em: 10 ago. 2017.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Convenção da Diversidade Biológica**, 2018. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/conven%C3%A7%C3%A3o-da-diversidade-biol%C3%B3gica>> Acesso em: 10 ago. 2017.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed.. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422 p.

MULONGOY, K.J.; CHAPE, S. **Protected áreas and biodiversity**: an overview of key issues. Convention on Biological Diversity (CBD). Cambridge: World Conservation Monitoring Centre, 2003.

NEEF, E. **Die theretischen Grundlagen der Landschaftslehre**. Leipzig: VEB Hermann Haak, 1967.

OLIVEIRA, E. A. de. **Processo de criação de unidades de conservação na floresta de araucárias**: o caso do Parque Nacional dos Campos Gerais, ímpar na história da política ambiental brasileira. Curitiba: Ed. UFPR, 2014. 134 p.

OLIVEIRA, H.P.V. Tutorial para obtenção, correção e interpolação do Modelo Digital de Elevação do Satélite Alos-1 de 2006 a 2011. Acesso em 2017. <<http://www.andersonmedeiros.com/arcgis-obtencao-correcoes-interpolacao-mde-satelite-alos-1/>> Acesso em: 10 ago. 2017.

PALOMINO, D.; CARRASCAL, L.M. Threshold distances to nearby cities and roads influence the bird community of a mosaic landscape. **Biological Conservation**, v. 140, n. 1-2, p. 100-109, 2007.

PIVELLO, V.R. et al. Conservação e Manejo da Biodiversidade. In: PIVELLO, V.R; VARANDA, E.M. (Org.). **O Cerrado Pé-de-Gigante**: Ecologia e Conservação. Parque Estadual do Vassununga. São Paulo: SEMA, 2005. p. 297-310.

PUREZA, F.; PELLIN, A.; PADUA, C. **Unidades de Conservação**: Fatores e Personagens que Fizeram a História das Categorias de Manejo. São Paulo: Matrix, 2015. 240 p.

RATCLIFFE, D.A. Criteria for the selection of nature reserves. **Advancement of Sciences**, v. 27, p. 294-296, 1977.

REED, R.A.; JOHNSON-BARNARD, J.; BAKER, W.L. Contribution of Roads to Forest Fragmentation in the Rocky Mountains. **Conservation Biology**, v.10, p 1098-1106, 1996.

RIBEIRO, M.C.C.; ALVEZ, A.S. Aplicação do método Analytic hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11 p. 270-281, 2016.

ROCHA, C.H.; WEIRICH NETO, P. Padrões de uso das terras e implicações ambientais. In: GEALH, A.M; MELO, M.S.; MORO, R.S. (Eds.) **Pitangui, rio de contrastes**: seus lugares, seus peixes, sua gente. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2010. RODRIGUES, E. Efeitos de borda em fragmentos de floresta. **Caderno da Biodiversidade**, Curitiba, v. 1, n. 2, dez. 1998.

RODRIGUES, N. de M. **A estrada como elemento fragmentador de ecossistemas: análise da estrutura da zona de amortecimento do Parque Nacional do Catimbau como contribuição ao estudo da Ecologia da Paisagem**. Recife, 2011 122f. Tese (Doutorado em Geografia). UFPE.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, p.63-74, 1994.

SAATY, T.L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p.19-43, 1994.

SAATY, T.L. **The seven pillars of the Analytic Hierarchy Process**. Pittsburgh: RWS Publications, 2001.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 495p.

SANTOS, R.F. dos. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SAUNDERS, S.C. et al. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. **Biological Conservation**. v. 103, p. 209-225, 2002.

SCHIER, R.A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Revista RA'EGA**, Curitiba, n. 7, p. 79-85, 2003.

SHIMABUKURO, Y.E.; YI, J.LR; DUARTE, V. Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR. São José dos Campos: INPE, 1999.

SILVA, J.M.C.; DINNOUTI, A. Análise de representatividade das unidades de conservação federais de uso indireto na floresta Atlântica e Campos Sulinos. In: MMA. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da mata Atlântica e campos sulinos**. Brasília, 1999.

SILVEIRA, T.A.; CARNEIRO, A.F.T.; PORTUGAL, J.L. **Estruturação de bases cartográficas para Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**. Recife, 2008.

SIQUEIRA, M.N.; CASTRO, S.S.; FARIA, K.M.S. Geografia e Ecologia da Paisagem: pontos para discussão. **Sociedade e Natureza**, n. 3, p. 557-566, 2013.

SMITH, P. G. R.; THEBERGE, J.B. A review of criteria for evaluating natural areas. **Environment Management**, v.10, p. 715-734, 1986.

SOARES, D.; D'ALGE, J. A escala na representação de elementos em um banco de dados geográfico: conceitos, implicações e uso. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 2005, 4., Curitiba,. **Anais**Curitiba, UFPR. Disponível em

http://mtcm16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1916/2005/06.07.12.25/doc/06artigo_es_cala.pdf. Acesso em: 23 jul.2018.

SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v.15, p. 39-49, 2004.

SU, S. et al. Impacts of Transportation Routes on Landscape Diversity: A Comparison of Different Route Types and Their Combined Effects. **Environmental Management**, v. 53, n. 3, p. 636-647, 2014.

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

TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Geodésia e Cartografia**. Porto Alegre: Bookman, 2016.

TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Topografia**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

VITTE, A.C. **Contribuições à história e à epistemologia da Geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

WARREN, P.S. et al. Urban bioacoustics: it's not just noise. **Animal Behaviour**, v. 71, n. 3, p. 491-502, 2006.

WATKINS, R. et al. Effects of Forest Roads on Understory Plants in a Managed Hardwood Landscape. **Conservation Biology**. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.2003.01285.x/full>> Acesso em: 23 jun. 2017.

WILSON, J.D. et al. Modelling edge effects of mature forest plantations on peatland waders informs landscape-scale conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 204-213, 2014.

WUNDERLE JUNIOR., J.M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest Ecology and Management**, v.99, p.223-235, 1997.

XIAO, L.; YANG, X.; CAI, H. The indirect roles of roads in soil erosion evolution in Jiangxi Province, China: a large scale perspective. **Sustainability**, p. 13, 2017.

YAHNER, R.H. Changes in Wildlife Communities near Edges. **Conservation Biology**, v. 2, p. 333-339, 1998.