

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA



**Proposta metodológica de avaliação dos padrões e de conservação da
conectividade dos habitats na bacia hidrográfica do rio Araguari em Minas
Gerais**

Uberlândia

2016

LAÍS NAIARA GONÇALVES DOS REIS

Proposta metodológica de avaliação dos padrões e de conservação da conectividade dos habitats na bacia hidrográfica do rio Araguari em Minas Gerais

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Geografia. Área de Concentração: Gestão e Planejamento Territorial. **Orientador Prof.** Dr. Luiz Nishiyama.

Uberlândia

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

R375p Reis, Laís Naiara Gonçalves dos, 1987-
2016 Proposta metodológica de avaliação dos padrões e de conservação da
conectividade dos habitats na bacia hidrográfica do rio Araguari em
Minas Gerais / Laís Naiara Gonçalves dos Reis. - 2016.
174 f. : il.

Orientador: Luiz Nishiyama.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Cerrados - Ecologia - Teses. 3. Cerrados -
Conservação - Teses. 4. Corredores ecológicos - Teses. I. Nishiyama,
Luiz. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia

LAÍS NAIARA GONÇALVES DOS REIS

**“PROPOSTA METODOLÓGICA DE AVALIAÇÃO DOS PADRÕES E
DE CONSERVAÇÃO DA CONECTIVIDADE DOS HABITATS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI – MINAS GERAIS”.**

Prof. Doutor Luiz Nishiyama (Orientador) - UFU

Professora Doutora Maria Inês Cruzeiro Moreno – UFG – Catalão - GO

Professor Doutor João Donizete Lima – UFG – Catalão - GO

Professora Doutora Mirna Karla Amorim da Silva – UFU

Professor Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira – UFU

Data: 19 / 02 de 2016

Resultado: Aprovada

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que ilumina meus caminhos e me conduz. Agradeço pelas vitórias e conquistas possibilitadas.

Ao professor e orientador Dr. Luís Nishiyama pelas orientações durante todo o processo de doutoramento. Aos professores membro da banca Dr. João Donizete Lima, Dra. Maria Inês Cruzeiro Moreno, Dra. Mirna Karla Amorim e Dr. Vanderlei Ferreira pela dedicação e compromisso para com as críticas construtivas para com este trabalho.

A minha família, em especial aos meus pais (Epaminondas Porto Neto e Terezinha Gonçalves dos Reis) que prezaram pela minha formação, pelo amor incondicional e pelos princípios de respeito, humanismo e solidariedade a mim repassados. À minha irmã Caroline Gonçalves Porto e a todos meus parentes não mencionados que contribuíram para minha formação pessoal.

Agradeço aos meus amigos (Cristiane Aparecida de Melo; Diogo Costa, Josimar dos Reis de Souza; Juliana Abreu Crosara Petronzio, Mariana Mendes, Katia Gisele Pereira e Renato Emanuel da Silva) que, juntos, formamammos uma equipe de leitura, pesquisa e formação acadêmica continuada.

Agradeço ao Instituto de Geografia e ao curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura pelo acesso ao software ArcGis de mapeamento desta pesquisa e toda a equipe de pessoal, a qual faço parte, que sempre me apoiaram para concluir as etapas do processo de doutoramento.

A Universidade Federal de Uberlândia que disponibilizou o programa QUALI-UFU para servidores que destinou uma verba para a aquisição de material didático que foi primordial para o embasamento teórico desta pesquisa.

A toda comunidade científica que serviu de embasamento teórico a minha pesquisa. Agradeço, inclusive, a sociedade que contribuiu de forma indireta, patrocinando um ensino público e de qualidade.

A empresa de consultoria ambiental Paisagem Ambiental/LTDA que me empregou e possibilitou o aprender a ser geógrafa na prática.

RESUMO

Proposta metodológica de avaliação dos padrões e de conservação da conectividade dos habitats na bacia hidrográfica do rio Araguari – Minas Gerais

As práticas de exploração dos recursos naturais do Cerrado foram intensivas e degradaram o ecossistema por conta do processo de fragmentação dos habitats naturais, pois este altera a continuidade das áreas de vegetação nativa, ocasionando mudanças na estrutura e na composição da mesma e, consequentemente, provocam a perda da biodiversidade. Surge a Ecologia de paisagens que diferentemente da Ecologia de ecossistemas que busca compreender e explicar as relações verticais da biota com seu ambiente, ou seja, a sinergia entre os diversos níveis tróficos de uma mesma comunidade, busca compreender as relações horizontais da biota com o meio, isto é, a interação entre diferentes comunidades distribuídas ao longo do espaço. A partir da necessidade de avançar os estudos sobre a paisagem de habitats fragmentados em escala regional, este trabalho objetivou avaliar os padrões espaciais da paisagem fragmentada por meio do método de investigação proposto pela Ecologia de paisagens, e contribuir metodologicamente para a gestão da conservação da conectividade para os habitats da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, situada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais, por meio da proposição de corredores ecológicos. A investigação ecossistêmica dos processos de interação entre matriz e fragmentos florestais permitiu montar as estruturas conceituais e matemáticas que possibilitaram a modelagem espacial e o desenvolvimento dos estudos ocupa uma área de 22.146,23 km². Para o mapeamento da vegetação nativa em 2014, as imagens são do sensor OLI/Landsat 8 que apresenta resolução espacial de 30 metros. Como resultado, a área de estudo possui 149.521 unidades de fragmentos florestais de vegetação nativa. A partir disso a qualidade destes habitats foi avaliada por meio das métricas em Ecologia de Paisagens referentes à forma, tamanho, densidade de borda, comprimento da borda e área central. Foram adotados modelos matemáticos para avaliar a heterogeneidade espacial da paisagem com o objetivo de identificar as áreas probalísticas dos indivíduos para uma espécie X que possua poder de dispersão de até 3,6 km por toda a escala espacial. Diagnosticou-se que a porção da jusante da nascente do rio Araguari apresenta percolação considerável tanto de leste para oeste, quanto longitudinalmente (índice \geq pc). Já na porção central da área de estudo recomenda-se a construção de estruturas de conectividade para proporcionar a percolação no sentido norte-sul (índice \leq pc). Além do modelo de percolação dos habitats foi avaliado a condição da permeabilidade da matriz para este gênero, percebeu-se que as possibilidades de dispersão levando em consideração a menor distância apresentam dificuldades impostas pela matriz, uma vez que, 4.363,1 km de rotas potenciais de dispersão para esta espécie estão localizados em áreas de pastagens e 873,419 km em áreas de agricultura. Outra ameaça para a fauna do Cerrado é a malha rodoviária que acarreta efeitos variados sobre os habitats e o atropelamento da fauna silvestre. Entende-se que as rodovias podem apresentar graus

distintos de susceptibilidade ao perigo de atropelamento para a fauna silvestre. Esta avaliação levou em consideração a organização espacial dos fragmentos de vegetação nativa e a relação de proximidade dos mesmos para com as rodovias. A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari apresenta 1.774 km de malha viária. Foram sugeridos 22 locais com necessidade alta, 7 locais com necessidades moderadas e 6 locais com necessidades baixa para implementação de passagens seguras para a vida silvestre. Depois de detectado as lacunas de habitats na área de estudo foi proposta uma metodologia para a escolha prioritária para conservação/restauração dos habitats e foi proposto *network* (rede) de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

Palavras chave: Fragmentação. Ecologia de paisagens. Cerrado. Percolação dos habitats; Permeabilidade da matriz. Passagens seguras. Corredores ecológicos.

ABSTRACT

Methodological proposal for the evaluation of standards and conservation of the connectivity of habitats in river basin Araguari – Minas Gerais

The operating practices of natural Cerrado resources were intensive and degraded the ecosystem due to the fragmentation of natural habitats process because it changes the continuity of native vegetation areas, causing changes in the structure and composition of the same and thus cause the loss of biodiversity. Arises landscape ecology that unlike ecosystem ecology that seeks to understand and explain the vertical relationship of biota with their environment, ie the synergy between the various trophic levels of the same community, seeks to understand the horizontal relations of biota with the environment , i.e. the interaction between different communities distributed throughout the space. From the need to advance the studies on the regional scale fragmented habitats landscape, this study aimed to evaluate the spatial patterns of fragmented landscape by the research method proposed by the Landscape Ecology and contribute methodologically to connectivity conservation management for habitats Basin of Araguari River, located in the middle region of Triangulo Mineiro and Alto Paranaiba, Minas Gerais, through the proposition of ecological corridors. The ecosystem research of the interaction processes between headquarters and forest fragments allowed to ride the conceptual and mathematical structures that enabled spatial modeling and the development of studies covers an area of 22,146.23 square kilometers. For the mapping of native vegetation in 2014, the images are the OLI / Landsat 8 sensor has a spatial resolution of 30 meters. As a result, the study area has 149,521 units of forest fragments of native vegetation. From this the quality of these habitats was evaluated through metrics Landscape Ecology concerning the shape, size, edge density, the edge length and central area. Mathematical models were adopted to evaluate the spatial heterogeneity of the landscape in order to identify areas probabilísticas of individuals to a species X having dispersion power of up to 3.6 km across the spatial scale. It diagnosed that the downstream portion of the river Araguari spring presents considerable percolation both from east to west, the lengthwise (index \geq Pc). In the central portion of the study area it is recommended to build connectivity structures to provide percolation in north-south direction (index \leq Pc). In addition to the habitats percolation model was evaluated the matrix permeability of the condition of this genre, it was realized that the dispersion of possibilities taking into account the shortest distance present difficulties imposed by the matrix, since, 4363.1 km of potential routes dispersion for this species are located in areas of pastures and 873.419 km in agricultural areas. Another threat to the Cerrado fauna is the road network which carries varying effects on habitats and the trampling of wildlife. It is understood that the roads may have degrees distinct susceptibility to the danger of being hit for wildlife. This review took into account the spatial organization of fragments of native vegetation and the close relationship of the same towards the roads. The River Basin Araguari has 1774 km of road network. 22 sites were suggested with high need, 7 locations with moderate needs and 6 places with low requirements for the implementation of safe passage for wildlife. After identifying the gaps habitats in the study area was proposed a methodology for priority choice for conservation / restoration of habitats and proposed network (network) ecological corridors for the River Basin Araguari.

Key words: Fragmentation. Landscape ecology. Cerrado. Percolation; Permeability. Safe passages. Ecological corridors.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 – Contribuições para o planejamento ambiental

Figura 1 - Esquema da fragmentação de um <i>patch</i>	30
Figura 2 - Relação entre a distribuição dos fragmentos de habitats e metapopulação... ..	38
Figura 3 - Forma, tamanho e qualidade dos <i>patches</i>	41

Capítulo 2 – A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais

Figura 1 – Formato dos <i>patches</i> encontrados na paisagem fragmentada.....	55
---	----

Capítulo 3 – A avaliação da percolação dos habitats e a permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

Figura 1 - Extração da informação dos <i>patches</i> de uma imagem de satélite e elaboração de um grafo.....	81
Figura 2 - Funcionalidade dos <i>patches</i> conforme varia a distância de locomoção para espécies distintas.....	81
Figura 3 - Definição do centróide de um polígono.....	86
Figura 4 - Distância euclidiana entre os fragmentos florestais de vegetação nativa para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	87

Capítulo 4 – Ecologia de Estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari , Minas Gerais.

Figura 1 - Representação esquemática das alternativas existentes para a viabilidade do traçado de uma rodovia.....	105
Figura 2 – Figura 2- Área de domínio da rodovia.....	106
Figura 3 - Classes de número de fragmentos florestais por km ² na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	113
Figura 4 - Estatística do cenário de atropelamento de animais silvestres no Brasil.....	118

Figura 5 – Placas de sinalização de possibilidade de travessia de animais silvestre pela rodovia.....124

Capítulo 5 – Gestão e manejo da conectividade: Proposição de network de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.

Figura 1 - Proposta para criação de corredores ecológicos no Brasil. Projeto Parques e Reservas (BRASIL-MMA, 1998).....134

Figura 2 – Exemplos de espaços sem sub-grafos do modelo de dispersão para a espécie X, com poder de dispersão de até 3,6 km, com habitat florestal.....138

LISTA DE FOTOS

Capítulo 1 – Contribuições para o planejamento ambiental

Foto 1 - Exemplo de ponte-viva sobre a rodovia.....43

Capítulo 4 –Ecologia de Estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari , Minas Gerais.

Foto 1- Passagem elevada (ponte-viva) Wolverine Creek com vegetação, Banff National Park, Canadá.....109

Foto 2 - Exemplo de *Wildlive overpass*.Ponte para caranguejos, na Ilha Christmas, Austrália.....110

Foto 3 - *Cannopy crossing*.....110

Foto 4 - Passagem de animais por debaixo da rodovia para animais de grande porte, Quênia.....111

Foto 5 - Passagem por debaixo da rodovia para animais de pequeno porte (répteis e anfíbios), Riacho Grande - SP.....112

Foto 6 - Estrutura de canal artificial aberto para conectar a fauna semiaquática nos Estados Unidos.112

LISTA DE MAPAS

Capítulo 2- A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais

Mapa 1 - Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	58
Mapa 2 – Mapeamento da cobertura florestal nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari – MG.....	64
Mapa 3 – Disposição de fragmentos muito pequenos e pequenos na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	66
Mapa 4 – Exemplo de formatos irregulares de fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	69
Mapa 5 – <i>Core area</i> dos fragmentos, excluídos 100 metros do limite da borda para o interior das unidades.....	71
Mapa 6 – Áreas centrais (<i>core areas</i>) dos fragmentos florestais de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	72
Mapa 7 – Área central (<i>core area</i>) do fragmento florestal de vegetação nativa da RPPN de Galheros, Perdizes-MG.....	74

Capítulo 3 – A avaliação da percolação dos habitats e a permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

Mapa 1 - Exemplo de sub-grafos de metapopulações potenciais em uma área da BHRA para espécies com poder de dispersão de até 3,6km.....	90
Mapa 2 - Sub-grafos de possíveis metapopulações para espécies que apresentem até 3,6 km e que tenham como habitat os fragmentos florestais, na bacia do Rio Araguari-MG.....	92
Mapa 3 - Exemplo de sub-grafos cruzando os diversos usos da matriz em um recorte espacial inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	94
Mapa 4 - Sub-grafos cruzando os diversos usos da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	96

Capítulo 4 – Ecologia de paisagens: Ecologia de Estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari , Minas Gerais.

Mapa 1- Exemplo arbitrário da proximidade de fragmentos florestais de vegetação nativa próximos a rodovia, na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	117
Mapa 2- Densidade de fragmentos florestais nativos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	119
Mapa 3 - Susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	122
Mapa 4- Orientação para possíveis locais para implementação de passagens seguras para a fauna silvestre na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	127

Capítulo 5 – Gestão e manejo da conectividade: Proposição de network de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.

Mapa 1 – Proposição de network de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	139
Mapa 2 – Relação entre as matrizes e a proposição do network de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	144
Mapa 3 - Proposição de locais para o estabelecimento de áreas de vegetação nativa para incrementar os nós de ligação (FVN) do corredor ecológico 8.....	146

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2- A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais

Tabela 1 - Índices das métricas em Ecologia de paisagens calculadas para os fragmentos florestais nativos na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....63

Capítulo 3 – A avaliação da percolação dos habitats e a permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

Tabela 1 - Uso da terra e cobertura vegetal nativa cruzado pelas arestas do grafo.....97

Tabela 2- Grau de permeabilidade da matriz para o espécies que apresentem poder de dispersão de até 3,6 km, na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG..... 98

LISTA DE QUADROS

Capítulo 1 –Contribuições para o planejamento ambiental

Quadro 1 - Categorias de classificação de espécies vulneráveis à extinção pelas atividades antrópicas.....	36
Quadro 2 - Diferenças entre ilhas oceânicas e um fragmento de habitat continental... ..	37
Quadro 3 – Métricas em Ecologia de paisagens para avaliação da fragmentação e qualidade dos <i>patches</i>	45

Capítulo 2- A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.

Quadro 1 - Identificação das cenas utilizadas no mapeamento de 2014.....	59
Quadro 2 - Resultados da classificação semiautomática dos fragmentos florestais de vegetação nativa para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari do ano de 2014.....	59
Quadro 3 - Fórmulas das métricas utilizadas para avaliar os fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....	61

Capítulo 3 – A avaliação da percolação dos habitats e a permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

Quadro 1 - Pesos para reclassificar as áreas conforme o grau de permeabilidade da matriz.....	88
--	----

Capítulo 4 – Ecologia de Estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari , Minas Gerais.

Quadro 1 - Quilometragem das rodovias da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....	120
Quadro 2 - Localização dos pontos que indicam a necessidade de implementação de passagens seguras na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.,.....	125

Capítulo 5 – GESTÃO E MANEJO DA CONECTIVIDADE: Proposição de network de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.

Quadro 1 - Recomendações técnicas de Estratégias para a conservação da biodiversidade.....143

Quadro 2 - Proposta de espécies de uso múltiplo, nativas do bioma Cerrado, a serem utilizadas para a recuperação e/ou criação dos nós que foram propostos para os corredores ecológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....145

LISTA DE GRÁFICOS

Capítulo 1 – Contribuições para o planejamento ambiental

Gráfico 1 - Teoria do Equilíbrio ecológico das ilhas.....35

Capítulo 2- A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais

Gráfico 1 - Distribuição da área de fragmentos florestais de vegetação nativa por classes.....65

Gráfico 2 - Relação entre área central e área com efeito de borda dos fragmentos florestais de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....70

Capítulo 4 – Ecologia de Estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari , Minas Gerais.

Gráfico 1- Susceptibilidade ambiental das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....121

Gráfico 2- Trechos por susceptibilidade ambiental por rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.....123

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
AWMSI	Índice de forma médio por área ponderada
BHRA	Bacia Hidrográfica do Rio Araguari
CA	Área das manchas
CBEE	Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas
ED	Perímetro de bordas
FVN	Fragments de Vegetação Nativa
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IEF	Instituto Estadual de Florestas
LOS	<i>Large or a small patches</i>
MPS	Tamanho médio das manchas
MSI	Índice de forma médio das manchas
NUMP	Número de fragmentos
PC	Percolação Crítica
PSCoV	Coeficiente de variação do tamanho médio das manchas
RL	Reserva Legal
SLOSS	<i>Single large or several small patches</i>
TE	Total de bordas
UHE	Usina hidroelétrica

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO GERAL.....	22
Capítulo 1 – Contribuições para o planejamento ambiental.....	27
1 Introdução.....	29
2 A Biogeografia e a Ecologia de paisagens.....	31
3 Estudo dos fragmentos de vegetação nativa para o planejamento ambiental.....	39
4 Considerações Finais.....	46
Referências.....	47
Capítulo 2- A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.....	50
1 Introdução.....	52
2 Procedimentos metodológicos.....	57
<u>2.1 Mapeamento dos fragmentos de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....</u>	59
<u>2.2 Análise dos fragmentos florestais em relação aos índices estruturais em Ecologia de paisagens.....</u>	60
3 Resultados e discussões.....	62
3.1 Análise dos fragmentos florestais de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....	62
4 Considerações Finais.....	75
Referências.....	76
Capítulo 3 – A avaliação da percolação dos habitats e a permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....	78
1 Introdução.....	80
1.1 <u>A teoria da percolação.....</u>	83
1.2 <u>O efeito resgate e a permeabilidade da matriz.....</u>	84
2 Procedimentos metodológicos.....	85
<u>2.1 Avaliação da percolação dos habitats da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....</u>	85
<u>2.2 Avaliação de resistência da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.....</u>	87
3 Resultados e discussões.....	88

Considerações Finais.....	98
5 Referências.....	100
Capítulo 4 – Ecologia de Estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.....	105
1 Introdução.....	104
2 Estruturas e design de travessia para a fauna silvestre.....	108
3 Procedimentos metodológicos.....	113
<u>3.1 Mapeamento da susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre.....</u>	113
3 Resultados e discussões.....	115
4 Considerações Finais.....	128
Referências.....	129
Capítulo 5 – GESTÃO E MANEJO DA CONECTIVIDADE: Proposição de network de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais.....	131
1 Introdução.....	133
2 Procedimentos metodológicos.....	137
<u>2.1 Mapeamento dos fragmentos de vegetação nativa (2014).....</u>	137
2.3 Escolha das áreas prioritárias para a proposição do <i>network</i> de corredores.....	137
3 Resultados e Discussão.....	138
4 Considerações Finais.....	147
Referências.....	148
Apêndice A– Proposta de corredor ecológico 1.....	151
Apêndice B – Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 1.....	152
Apêndice C – Proposta de corredor ecológico 2.....	153
Apêndice D - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 2.....	154
Apêndice E – Proposta de corredor ecológico 3.....	155
Apêndice F - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 3.....	156
Apêndice G – Proposta de corredor ecológico 4.....	157
Apêndice H - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 4.....	158
Apêndice I – Proposta de corredor ecológico 5.....	159
Apêndice J - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 5.....	160
Apêndice K – Proposta de corredor ecológico 6.....	161
Apêndice L - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 6.....	162

Apêndice M – Proposta de corredor ecológico 7.....	163
Apêndice N - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 7.....	164
Apêndice O – Proposta de corredor ecológico 8.....	165
Apêndice P - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 8.....	166
Apêndice Q – Proposta de corredor ecológico 9.....	167
Apêndice R - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 9.....	168
Apêndice S – Proposta de corredor ecológico 10.....	169
Apêndice T - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 10.....	170
CONSIDERAÇÕES FINAIS - GERAL.....	171

APRESENTAÇÃO GERAL

É de responsabilidade da Geografia compreender a produção do espaço, pois, admite-se que o Homem seja parte integrante do meio natural e condicionante deste, alterando-o e recebendo diretamente as implicações conduzidas sobre o espaço. A análise desse permite compreender a relação do homem com a natureza, onde as questões ambientais ganham relevância nas discussões sobre o ordenamento do território. Nesta perspectiva, a Geografia é afirmada enquanto parte da ciência responsável por integrar as partes do meio físico (Litosfera, Hidrosfera, Pedosfera, Biosfera) e apresentar a compreensão dessas, correlacionadas com os processos dinâmicos de interação humana. A paisagem enquanto categoria da análise da Geografia pode ser investigada com diversas metodologias. Este trabalho escolheu abordá-la por meio da Ecologia de Paisagens.

Neste processo de apropriação da natureza, o Homem tem sido afetado diretamente pelas consequências da sua própria dinâmica do uso e ocupação do espaço, que tem ocasionado desequilíbrios ecológicos do ecossistema, em que ele é parte. Quando os fluxos de um sistema são alterados (input e output de matéria e energia), normalmente, desencadeia-se um processo de degradação ambiental.

Por décadas, as práticas de exploração dos recursos naturais do Cerrado foram intensivas, implicando em danos ambientais e perda de diversidade genética. Este processo de modificação da paisagem contribuiu para a descaracterização do bioma natural, cuja paisagem herdada é definida como um mosaico fragmentado, ou seja, unidades de remanescentes de vegetação nativa ilhadas pelos demais usos da terra. A susceptibilidade ambiental à perda da biodiversidade é alta neste bioma, em função deste processo de conversão da cobertura vegetal nativa, de modo desordenado.

O Cerrado brasileiro apresenta uma riqueza biológica considerável, com cerca de 200 espécies de mamíferos, 800 de aves, 180 de répteis, 150 de anfíbios e 1.200 de peixes. É o segundo maior bioma em extensão da América do Sul, apesar de ser aquele que possui menor porcentagem de áreas com proteção integral, apenas 8,21% (da área de 2.036.448 km²) encontra-se legalmente protegida. Segundo o Ministério do

Meio Ambiente¹ (MMA), o Cerrado detém 5% da biodiversidade do planeta, porém é o bioma mais ameaçado do país. Estima-se que 47,84 % da área do Cerrado já tenham sido desflorestados até 2008. Este bioma foi apropriado e posto como subserviente para o crescimento econômico da região, privilegiando as atividades agrossilvopastoris.

Outra ameaça para a fauna do Cerrado é a malha rodoviária que acarreta efeitos variados sobre os habitats, tais como: destruição daqueles por isolamento, poluição, erosão no entorno das vias, sedimentação dos corpos hídricos, mudança no comportamento de algumas espécies e atropelamento da fauna silvestre. Este último é a principal causa da mortalidade direta dos vertebrados, superando inclusive os números de caça e incêndios.

O objeto dessa pesquisa é a compreensão dos modelos espaciais da biodiversidade (relação entre habitat e matriz) de uma determinada paisagem, sob uma perspectiva regional, em que a atuação humana fragmentou os habitats do Cerrado. Para tal, o recorte espacial para aplicação da metodologia proposta foi a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (BHRA) que apresenta diferentes fitofisionomias: formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão). Savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Foi escolhida esta bacia hidrográfica pela sua importância de representatividade do bioma Cerrado. A metodologia da pesquisa pode ser aplicada para qualquer unidade territorial, como: municípios, microrregiões, mesorregiões, estados federativos, etc.

A paisagem não é só o objeto de estudo deste trabalho, mas ela é o próprio método de investigação dos fenômenos, uma vez que a configuração espacial desta é resultado da combinação de vários elementos do meio biótico e abiótico, necessitando de procedimentos metodológicos específicos. Neste sentido, este trabalho defende o método proposto pela Ecologia de paisagens (**capítulo 1**), como sendo fundamental para análise e planejamento ambiental de uma determinada área, partindo dos seguintes pontos: a vegetação nativa de uma determinada área guarda proporções satisfatórias dentro dos limites da Ecologia de paisagens: área central, índice de circularidade e conectividade? As manchas de vegetação nativas apresentam padrão de qualidade satisfatória para a manutenção da biodiversidade do Cerrado? A proposição de

¹ Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado/fauna-e-flora>>

corredores ecológicos seria um elemento do planejamento ambiental eficiente para a conservação dos habitats? Qual a largura, o tamanho, e o tipo de conectores para que sejam funcionais? Quais os melhores locais para implementação dos elementos conectores de habitat de uma bacia hidrográfica?

O estudo dos fragmentos pautados em métricas da paisagem apresentam modelos para inferência sobre o funcionamento ecológico dos mesmos, em escala regional. Qualquer alteração em um fragmento, em relação ao tamanho e sua forma, pode ocasionar a redução populacional das espécies, interferir nos fluxos vitais desse sistema, comprometendo a biodiversidade natural do meio. Quando a vegetação natural é destruída ou degradada, fragmentos de habitat geralmente são abandonados, devido ao isolamento geográfico, em decorrência de uma paisagem altamente modificada e/ou degradada.

Dessa maneira, a Geografia se desdobra em diferentes ramos, dentre eles a Biogeografia que se configura como uma ciência sintética e interdisciplinar. Esta busca a compreensão das interfaces apresentadas (Homem-Natureza) para o entendimento do funcionamento de padrões da paisagem de uma região. Os estudos regionais são valorizados nesta ciência, em função da região ser uma categoria de análise daquela. Este trabalho justifica-se pela necessidade de compreensão do padrão de distribuição dos habitats pelo bioma Cerrado, bem como pelo diagnóstico da funcionalidade ecológica dos mesmos, contata-se se há manejo correto da biodiversidade para esta região e se o aparato Legal Ambiental resolve às problemáticas ambientais.

A partir da necessidade de avançar os estudos sobre a paisagem de habitats fragmentados, em escala regional, este trabalho objetivou avaliar os padrões espaciais da paisagem fragmentada do bioma Cerrado, por meio do método de investigação proposto pela Ecologia de paisagens, e contribuir metodologicamente para a gestão da conservação da conectividade para os habitats da BHRA, por meio da proposição de corredores ecológicos.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram: a) discutir as vantagens do método de investigação proposto pela Ecologia de paisagens para as pesquisas em Geografia, sobretudo para a escala regional; b) avaliar os fragmentos de vegetação

nativa (FVN)² da área de estudo em 2014, utilizando as métricas da Ecologia de paisagens; c) identificar a funcionalidade ecológica dos FVN da área de estudo, separando as possíveis metapopulações para espécies com habitats florestais e que possuam poder de dispersão de até 3,6 km; d) avaliar a susceptibilidade ambiental das rodovias da BHRA ao atropelamento da fauna silvestre e propor os locais para implementação das passagens seguras, e e) apontar métodos e técnicas da gestão da conservação da conectividade para a BHRA, por meio da proposição de corredores ecológicos.

A tese está estruturada em cinco partes que foram organizadas em modelo de artigos, cada parte possui introdução, referencial teórico, procedimentos metodológicos e resultados próprios.

O capítulo I trata-se do embasamento teórico, referente às discussões entre a Biogeografia e a Ecologia dos *patches* (FVN), voltado para a análise da conservação florestal e funcionalidade ecológica desses habitats nas bacias hidrográficas. A Ecologia de paisagens aliada às técnicas de geoprocessamento possibilita entender o arranjo espacial dos elementos que compõem a paisagem, bem como a importância das métricas desses, para o planejamento ambiental das bacias hidrográficas, buscando a conservação biológica dos habitats e, consequentemente, o uso sustentável desta unidade territorial.

O capítulo II analisa quantitativamente o tamanho, forma, número, tipo e configuração dos fragmentos de vegetação nativa (FVN) cujas métricas permitem fazer inferência sobre a qualidade dos habitats da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

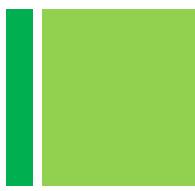
O capítulo III trata-se da análise espacial das manchas dos fragmentos correlacionada com a movimentação potencial das espécies silvestres que se configura como um padrão e pode ser analisado por meio do modelo de representação deste cenário. Os resultados deste modelo são importantes para identificar os fragmentos florestais de vegetação nativa que são funcionais ecologicamente para uma determinada espécie, com poder de dispersão de até 3,6 km e com habitat florestal.

O capítulo IV discute a relação da densidade de FVN e a proximidade destes com as rodovias presentes na BHRA. Sabe-se que os animais silvestres são

² Entende-se por fragmentos de vegetação nativa do Cerrado aqueles fragmentos de composição florística arbórea, já que esta metodologia foi criada para estes habitats. Não foram considerados para efeito de análise os fragmentos de vegetação nativa campestras e arbustivas.

vulneráveis ao atropelamento nestas vias. Sendo assim, os trechos das rodovias foram classificados conforme o grau de susceptibilidade ambiental ao atropelamento da fauna e como forma de mitigação, deste problema, foram destacados locais para implementação de passagens seguras para os organismos.

O **capítulo V** utiliza todo o banco de dados dos capítulos II, III, IV organizados, pois esta é a base de cruzamento de informações para a proposição de áreas de conservação e dos corredores ecológicos, com a finalidade de incrementar a conectividade da bacia, como ferramenta para a gestão da conservação da conectividade (*connectivity conservation management*), na BHRA.



Fonte: TBWA/ PARIS- WWF.¹

Contribuições para o planejamento ambiental

O ideal, na realidade,
é não ter que fazer restauração,
e sim de se fragmentar a paisagem
de forma inteligente.
(LAURANCE ; GASCON 1997,
FORMAN ; COLLINGE 1997)

¹ Disponível em:< http://1.bp.blogspot.com/-a_e3_b2eiDw/VgIhquLKxAI/AAAAAAAAM4/pOtQJ0gUhDQ/s640/Pulmao-WWF-ok.jpg >

RESUMO

Ecologia de paisagens: contribuições para o planejamento ambiental

Este capítulo se trata do embasamento teórico, referente às discussões entre a Biogeografia e a Ecologia dos *patches*, voltado para a análise da conservação florestal e funcionalidade ecológica desses habitats nas bacias hidrográficas. A Ecologia de paisagens é o ramo da Ecologia que permite compreender a paisagem como sendo formada de unidades heterogêneas que compõem um todo fragmentado. Esta explicita a relação entre fragmentos de habitats e as matrizes, e as devidas implicações ambientais destas interações ao longo do espaço, em função da susceptibilidade ambiental do meio físico. A Ecologia de paisagens, aliada às técnicas de geoprocessamento, possibilita entender o arranjo espacial dos elementos que compõem a paisagem, bem como a importância das métricas desta, para o planejamento ambiental das bacias hidrográficas buscando a conservação biológica dos habitats e, consequentemente, o uso sustentável desta unidade territorial.

Palavras-chave: Ecologia de paisagens. Fragmentação. Geoprocessamento. Biologia da conservação. Métricas da paisagem.

ABSTRACT

Landscape Ecology: contributions to the environmental planning

This chapter deals with the theoretical background, referring to discussions between biogeography and landscape ecology, focusing on landscape analysis for conservation of watersheds. The landscape ecology allows us to understand the landscape as being composed of heterogeneous units that make up a fragmented whole that explains the relationship between habitat patches and matrices , and appropriate environmental implications of these interactions over geographical space, depending on the environmental susceptibility the physical environment. The landscape ecology coupled with GIS techniques allows to understand the spatial arrangement of the elements that make up the landscape as well as the importance of landscape metrics for environmental planning watershed seeking biological conservation of habitats and therefore the sustainable use of this territorial unit.

Keywords: Landscape Ecology. Fragmentation. Geoprocessing. Conservation Biology.

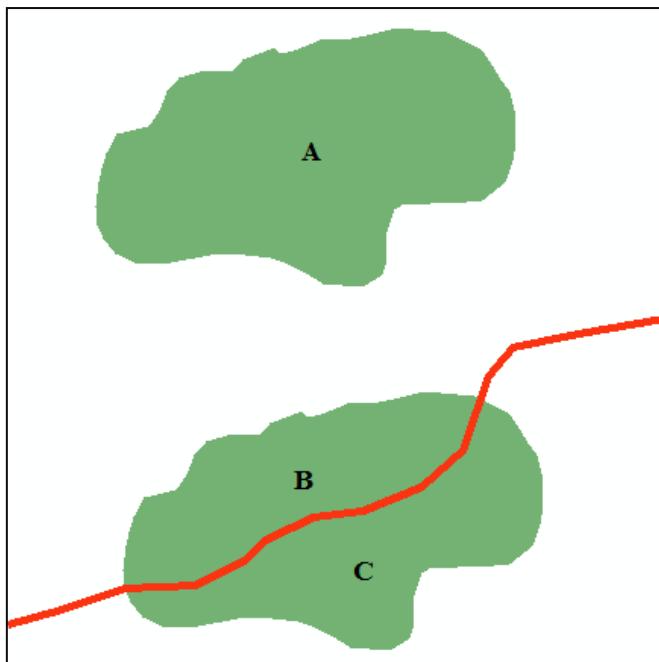
1 Introdução

Os estudos que permeiam a relação Homem x meio investigam os processos de interação entre o ambiente e os demais seres vivos, sabe-se que esta interação ocasiona a alteração da paisagem. A alteração da paisagem em Ecologia de paisagens refere-se ao de desmatamento da vegetação nativa e as suas consequências na estrutura espacial dos fragmentos florestais se destaca como ponto de partida para o diagnóstico ambiental de uma determinada área. Uma vez, que este processo ocorre de forma acelerada, modifica extensas áreas naturais e altera os fatores bióticos e abióticos do meio.

A vegetação nativa do bioma Cerrado tem sido substituída por outros usos da terra de forma exacerbada, devido à prática da monocultura em prol das fases da modernização do campo, empresariamento rural e, por fim, do agronegócio, sendo intensificado a partir da década de 1980, sobretudo, nas áreas de chapadas. Esta dinâmica de uso e ocupação da terra é a maior responsável pelas causas de degradação dos ecossistemas, como o isolamento geográfico dos habitats, por exemplo. Neste contexto, a biodiversidade natural fica ameaçada, por existir dificuldades para a realização do fluxo gênico e aumento da competição intra e interespecífica por alimentos e nutrientes, nos fragmentos florestais (*patches*), em função da redução do habitat.

A fragmentação dos habitats naturais é resultado das ações humanas, pois estas alteram a continuidade das áreas de vegetação nativa, ocasionando mudanças na estrutura e na composição da mesma e, consequentemente, provocam a perda da biodiversidade. A fragmentação dos habitats é caracterizada pela ruptura de uma unidade contínua, restando elementos menores, que apresentam dinâmicas e processos ecológicos distintos da unidade original. Por exemplo, uma mancha de vegetação nativa A, ao ser cortada ao meio por uma rodovia, gera duas manchas, B e C, conforme a **Figura 1**.

Figura1- Esquema da fragmentação de um fragmento maior em dois menores.



Fonte: Reis (2015).

Em decorrência do problema ambiental que é a fragmentação dos habitats, Metzger (1999) sugeriu que o planejamento ambiental deve se atentar para estas manchas de vegetação nativas , espalhadas pelo mosaico da paisagem. O planejamento ambiental de uma unidade territorial deve visar à diminuição dos gastos de energia e matéria do sistema, com o objetivo de reverter o grau de entropia² para cada subsistema, mantendo a biodiversidade dos ecossistemas. É preciso esforços na manutenção de todos os elementos do meio ambiente (solo, geologia, vegetação nativa, práticas sustentáveis, etc.), em prol da conservação da quantidade e qualidade dos recursos naturais para a sustentabilidade das atividades humanas e conservação da diversidade genética da fauna e flora.

Dessa forma, o planejamento ambiental deve partir das bases (bióticas e abióticas) para a sustentação da vida e das suas relações ecossistêmicas, em um determinado espaço. Nesta escala de análise, na gestão das áreas de vegetação nativa, destaca-se a Ecologia de paisagens que contribui, substancialmente, para os quesitos de conservação dos habitats.

² Refere-se a segunda lei da termodinâmica em que a quantidade de energia que não é mais capaz de realizar trabalho em um sistema, sendo um indicativo de desordem da natureza. Também é chamada “lei da entropia” (Foco Ambiental, 2009)

2 A Biogeografia e a Ecologia de paisagens

Os cientistas naturalistas, isto é, aqueles que começaram a descrever a natureza (fauna e flora), na época das Grandes Navegações, iniciaram os estudos de Biogeografia. A epistemologia do conhecimento, nessa época, era pautada conforme as crenças divinas. Influenciada pela escola pré-socrática, a sistematização da natureza era regida pelo princípio da imutabilidade das coisas.

Neste sentido, o cientista natural referência foi Carolus Linnaeus (1707-1778), autor do sistema de nomenclatura binomial utilizado até hoje. Ele acreditava que Deus atribuiu ao Homem o dever de catalogar metodologicamente as “coleções do museu divino”. Além da nomenclatura, ele também fez reflexões sobre a origem e expansão da vida, ao tentar explicar o padrão da diversidade, ao longo do tempo e espaço.

Rompendo com o princípio da imutabilidade, Conde de Buffon (1707-1788) percebeu que mesmo com condições climáticas e ambientais semelhantes, ainda assim, os organismos eram incomuns. “Segundo Antonello Gerbi (1996), o Conde de Buffon orgulhava-se de suas descobertas e entre elas figurava a maior de todas elas: as espécies animais do Velho Mundo e a das Américas, ou Novo Mundo, são diferentes” (CAMPOS, 2010, p. 1649). Para ele existia uma arquétipo original criado por Deus, isto é, espécies principais de onde todas as outras se derivaram.

A partir da admissão da influência das zonas climáticas na distribuição da biodiversidade surgiram os primeiros estudos de zoneamento sistemático global, Johann Reinhold Forster (1729-1798) descobriu que a Lei de Buffon se atribuía tanto para os animais quanto para os vegetais, e ainda deu contribuições do que viria a ser a Biogeografia insular e a teoria da diversidade de espécies (BROWN; LOMOLINO, 1942).

Para findar com a ideia de que os elementos eram imutáveis, os estudos de Darwin e Wallace (1845) partiram por um viés da teoria evolucionista e da vida insular

que batia de frente com a corrente dos extensionistas³, pois acreditavam na dispersão das espécies por longas distâncias (BROWN; LOMOLINO, 1942).

Wallace teve grande importância para os estudos biogeográficos elencando alguns princípios para esta ciência que servem de embasamento para essa linha de pesquisa:

A distância por si só não determina o grau de afinidade biogeográfica entre duas regiões; áreas muito separadas podem compartilhar muitos *taxa* similares em nível de gênero ou família, enquanto que aquelas muito próximas podem exibir diferenças notáveis e até mesmo padrões anômalos.² O clima tem um grande efeito na similaridade taxonômica entre duas regiões, mas as relações nem sempre são lineares. 3. A atual biota de uma área é fortemente influenciada pelas últimas séries de eventos geológicos e climáticos; estudos paleoclimáticos são muito importantes para analisar os padrões existentes de distribuição. 4. A competição, a predação e outros fatores bióticos exercem um importante papel na distribuição, dispersão e extinção da flora e fauna. 5. Amplitudes descontínuas podem ocorrer por intermédio da extinção em áreas intermediárias ou através da fragmentação de habitats. 6. A especiação pode ocorrer através do isolamento geográfico de populações que subsequentemente se adaptam ao clima local e ao habitat. 7. Os processos que atuam hoje podem não ter a mesma intensidade daqueles que existiam no passado. 8. Para analisar a biota de qualquer região em particular, é necessário determinar não só a distribuição de seus organismos, mas também a distribuição de seus parentes mais próximos (BROWN; LOMOLINO, 1942).

A Biogeografia moderna tem um marco a partir da aceitação da teoria da deriva continental (em 1960), que até então era evolutiva e histórica. Influenciados pelas ideias de Alfred Wegner, autor da obra “A origem dos continentes e dos oceanos”, os cientistas começaram a investigar os padrões de distribuição, diversificação das espécies e princípios de coexistência.

Com avanço das tecnologias e o emprego do Sensoriamento Remoto (SR) e do Sistema de Informação Geográfica (SIG), os estudos de Biogeografia se modernizaram, possibilitando trabalhar com a região como categoria de análise no planejamento ambiental, devido à facilidade de obter informação dos alvos, sem necessidade de trabalho de campo, por toda a área. A Biogeografia moderna permite o registro de distribuição e outras informações sobre os organismos, em conjunto com os dados de clima, solo, vegetação, etc.

³ No início da sistematização do conhecimento biogeográfico existiam duas correntes de pensamento para a dispersão das espécies: dispersionistas e extensionistas. Ambas reconhecem que a distribuição das espécies pelo espaço é dinâmica, porém a segunda acreditava que essa dispersão só poderia ser feita por meio de um elo, ligações continentais.

A evolução das técnicas de pesquisa regional permitiu o desenvolvimento da Biogeografia ecológica. Os botânicos começaram a analisar os efeitos da geologia sobre a flora em conjunto com a interação climática. Os estudos de Dokuchaev (1887) mostraram como os solos se diferenciam ao longo do espaço, como sendo produto da atividade biológica em interação com o meio físico (COX; MOORE, 2009).

Neste sentido, a Biogeografia vem contribuir com a busca por respostas dos padrões de distribuição das espécies, com análises correlacionadas dentro de uma escala geográfica de habitats. Existem dois fatores genéricos que influenciam nos padrões de caracterização da fauna e da flora ao longo do espaço: o primeiro fator é o limite de distribuição e, o segundo é a superação das barreiras. O limiar para o desenvolvimento de um habitat está condicionado à disponibilidade de alimentos para os indivíduos e a superação das intempéries que tornam o ambiente hostil ou fazem das espécies da fauna e da flora prisioneiras daquele habitat.

Os estudos dos habitats e a interação deles para com as matrizes (demais usos ao entorno dos fragmentos de vegetação nativa), baseados na emergente Ecologia⁴ de paisagens, apresentam duas vertentes: uma geográfica e outra ecológica. A primeira busca compreender a influência do Homem sobre a paisagem, já a segunda trata-se da importância do contexto espacial para os processos ecológicos, bem como sua conservação (METZGER, 2001). Diferentemente da Ecologia de ecossistemas que busca compreender e explicar as relações verticais da biota com seu ambiente, ou seja, a sinergia entre os diversos níveis tróficos de uma mesma comunidade, a Ecologia de paisagens busca compreender as relações horizontais da biota com o meio, isto é, a interação entre diferentes comunidades distribuídas ao longo do espaço. Independente de qual vertente for adotada como análise da paisagem, o ponto de partida da Ecologia de paisagens é o reconhecimento da dependência espacial entre as unidades dessa.

Forman e Gordon (1986), Wiens et al. (1993) acrescentaram que a Ecologia de paisagens é o estudo da estrutura, função e interação de ecossistemas heterogêneos. A paisagem é heterogênea, compostas por múltiplos agentes, e o produto da interação destes com o meio se diferencia ao longo do tempo e espaço. Fala-se em Ecologia humana de paisagens que centra exatamente neste processo de interação Homem x

⁴ O geógrafo alemão Alexander von Humboldt foi o pioneiro por atribuir a paisagem um caráter regional, onde a escala é um fator importante na Ecologia de paisagem (FARINA, 2006)

meio, sendo conhecida como Ecologia de paisagens geográfica (METZGER, 2001). De outro lado, há a Ecologia de paisagens ecológica que busca compreender as consequências do padrão espacial sobre os processos ecológicos.

[...] a Ecologia de paisagens seria assim uma combinação de uma análise espacial da geografia com um estudo funcional da Ecologia. A problemática central é o efeito da estrutura da paisagem (o padrão espacial) nos processos ecológicos (METZGER, 2001, p.5).

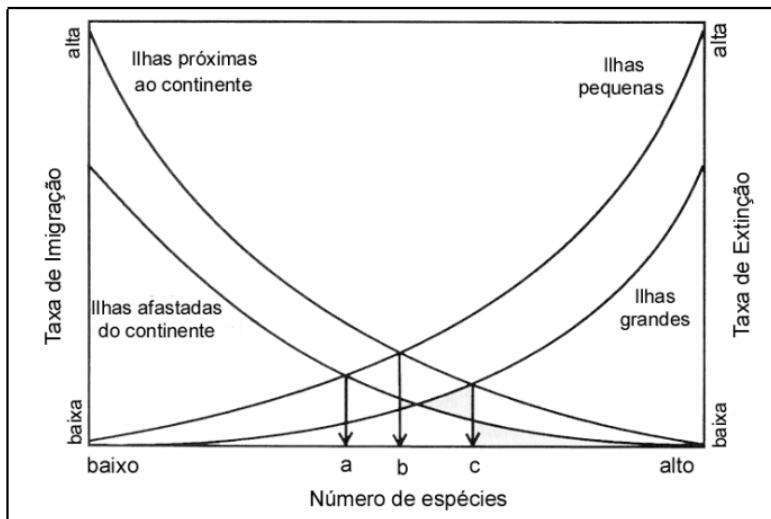
O termo Ecologia de paisagens foi proposto pelo biogeógrafo alemão Carl Troll (1939). Ele buscou combinar as relações verticais estudadas pelos ecólogos de ecossistema (interações entre o meio biótico e abiótico) com a abordagem horizontal dos geógrafos (heterogeneidade espacial), dando origem a Ecologia de paisagens geográfica.

Essa divisão conceitual da Ecologia de paisagens em “geográfica” e “ecológica” é redundante, pois o diferencial dessa ciência é aplicação do método de investigação espacial da Geografia em diferentes escalas (espaço e tempo) sobre os diversos objetos de estudo da Ecologia. Dessa forma, todas as abordagens são geográficas e ecológicas, simultaneamente. Com o advento tecnológico (sensoriamento remoto e fotogrametria) ficou mais fácil à mensuração da influência mútua dos elementos que compõem a paisagem, dando um enfoque para os estudos regionais.

Os pesquisadores da Ecologia de paisagens com o objetivo de mensurar e avaliar os *patches* (FVN) “[...] encontraram uma nova ferramenta para relacionar os efeitos da fragmentação do habitat na viabilidade das populações, como riscos de extinção e possibilidades de migração [...]” (METZGER, 2001; HAILA, 2002 apud BOAS, 2010, s.p). A abordagem da Ecologia de paisagens criada nos Estados Unidos busca adaptar a teoria da Biogeografia de ilhas para o planejamento das áreas de vegetação nativa no continente.

Essa Teoria do Equilíbrio Ecológico das ilhas, conhecida como Biogeografia Insular apresenta uma estreita relação entre limite de distribuição e superação de barreiras. (**Gráfico 1**). Tal teoria foi apropriada nas discussões referente à fragmentação dos habitats.

Gráfico 1 - Teoria do Equilíbrio Ecológico das ilhas.



Fonte: (Barroso, 2002)

Nessa teoria, Mac Arthur e Wilson (1963) propuseram as seguintes hipóteses:

1. Tamanho da ilha e a relação imigração e extinção;
2. Evento *turnover*;
3. Variabilidade da taxa de extinção e migração com o nível de isolamento;

Conforme Mac Arthur e Wilson (1963), para desenhar a curva espécie-área utiliza-se a **equação 1**:

$$S = (IP) / (E+I) \quad (1)$$

Onde, S = o número de equilíbrio das espécies, I=a taxa de imigração inicial E= taxa de extinção, P= espécies que estavam presentes nas ilhas.

A partir desses pressupostos e com a crescente preocupação sobre a fragmentação dos habitats, a teoria da Biogeografia das ilhas foi associada a essa paisagem fragmentada, onde os fragmentos de vegetação nativa estão cercados por demais usos que promovem o grau de isolamento destas áreas, isto é, a matriz foi associada aos oceanos e mares e as manchas às ilhas.

A Teoria de Biogeografia de Ilhas ajudou a refinar o pensamento das pessoas também sobre o isolamento de hábitat. Assim, tem sido previsto que as reservas que estão isoladas de outras áreas de hábitat por grandes extensões da paisagem degradada e hostil vão sustentar menos espécies do que aquelas mais próximas ao hábitat intacto. Isso ocorre porque reservas pouco isoladas

são facilmente colonizadas por novas espécies e porque tal imigração gera contribuições genéticas e demográficas que podem reduzir as taxas de extinção local dentro da reserva (LAURENCE, 2008 apud DÔGE, s.d, s.p.).

A vulnerabilidade das espécies à extinção foi organizada em um quadro em 13 categorias não excludentes, que facilitam a compreensão de como a disposição dos habitats influencia neste processo. Essas informações auxiliam o reconhecimento da qualidade dos habitats, no sentido de conservação da biodiversidade (**Quadro 1**).

Quadro 1- Categorias de classificação de espécies vulneráveis à extinção pelas atividades antrópicas.

Categoría	Descrição	Ocorre Naturalmente
Área de ocorrência geográfica limitada	Qualquer evento que altere ou destrua uma área específica pode desencadear a extinção	sim, especialmente em ilhas
Poucas populações	Idem	Idem
Populações pequenas	Idem. Inclui vulnerabilidade genética	Idem
Populações em declínio	Sinal de que existe uma perturbação interna ou externa	sim, mas raramente
Baixa densidade populacional	Vulnerável à fragmentação do habitat, onde pode ocorrer pequenas populações em cada pedaço	Idem
Necessidade de habitats extenso	Tendem a desaparecer com danificação de parte da área ou pela fragmentação	Idem
Grande porte	Sofrem pela necessidade de grande habitats e geralmente tem populações pequenas e/ou com baixa densidade	sim
Ineficácia na dispersão	Condições do habitat mudam rapidamente e forçam a migração para evitar a extinção. Aqueles que não conseguem fazê-lo tendem a extinguir-se	raríssimo
Migrantes sazonais	Problemas quando uma das áreas de migração foi danificada e/ou destruída; ou quando há empecilhos à sua dispersão	Idem
Necessidade de nichos especiais	Alteração de habitats pode inviabilizar a vida, devido à ausência de outra espécies com as quais se relacionava	sim, mas raramente
Preferência por ambientes estáveis	Intolerância a mudanças ambientais, como árvores presentes sob o dossel de florestas tropicais. Geralmente tem populações pequenas e ciclo reprodutivo longo (seleção k)	sim
Formação de agregações	Em certos períodos, toda sua população se aglomera, facilitando a predação/captura.	sim, mas raramente
Espécies caçadas ou consumidas	Sobre exploração da espécie pode diminuir sua população	Idem

Fonte: PRIMACK; RODRIGUES, 2001 apud PELICICE, s.d.

Excluindo o processo de seleção natural das espécies, uma vez que o Homem se configura como ameaça às outras de um determinado ecossistema, os estudos dos fragmentos e sua disposição ao longo do espaço associados à Biogeografia insular se fortalecem como técnica de análise da paisagem e como ferramenta na tomada de decisão do planejamento ambiental. Os princípios básicos para os habitats fragmentados na paisagem continental são: a) fragmentos maiores deverão suportar mais espécies do que fragmentos menores; b) o número de espécies deve diminuir com o aumento da distância do fragmento em relação a outros fragmentos.

Walter (2004) aponta diferenças ao comparar os fragmentos de habitats continentais com as ilhas oceânicas (**Quadro 2**).

Quadro 2- Diferenças entre ilhas oceânicas e um fragmento de habitat continental.

Propriedade ou processo	Ilha	Fragmento
Descrição	Pedaço isolado de terra cercado por 1000 km de água em todas as direções	Parte de um habitat anteriormente único ou unidade de paisagem continental
Cronologia	Originada há milhões de anos	Originada há décadas
Dinâmica da área (tamanho)	Estável no tempo ecológico	Redução e isolamento de outros fragmentos de habitats repentinos ou graduais
Edge	Matriz de água salgada	Um ou diversos tipos de habitat cercam o fragmento
Ecótono	Ausente	Um ou muitos, depende da composição da paisagem
Predação	Baixa: Maioria dos predadores ausentes (mamíferos não voadores, formigas carnívoras)	Alta: a maioria dos predadores está presente. (Fácil acesso a partir da borda)
Estabilidade	Alta, exceto após evento de distúrbio (de origem externa ou vulcânica)	Baixa devido à redução do tamanho das populações: espécies grandes, raras, que tendem a desaparecer do fragmento
Evolução	Táxons endêmicos	Fragmentos podem conter populações viáveis ou não viáveis de táxons continentais
Invasibilidade	Negligenciável, exceto se suportado pelo Homem, barreira de água altamente protetora	Alta devido ao efeito de borda e a proximidade com a matriz adjacente
Robustez	Alta: suporta toda sua diversidade em longo prazo	Baixa: não pode suportar animais com ampla <i>home ranges</i> , perda da qualidade de habitat devido ao efeito de borda
Sucessão	Estágios normais dentro do ecossistema insular	Sucessão impedida: áreas de floresta original irão desaparecer

Fonte: Adaptado de Walter (2004)

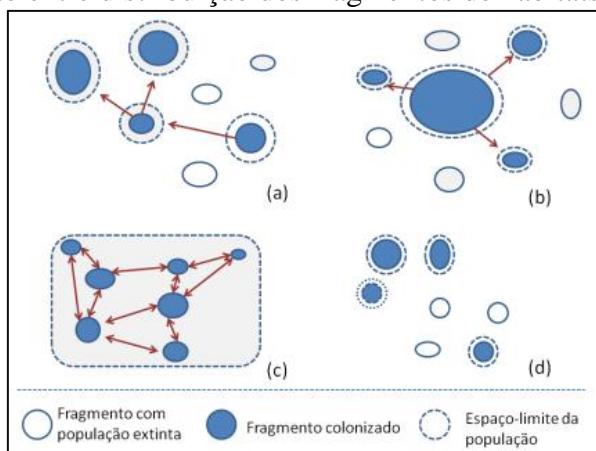
O cabedal teórico da Ecologia de paisagens também possui forte influencia da teoria de metapopulações de Levins (1970). O termo metapopulação que descreve "população de populações", explica a relação entre as taxas de extinções e recolonizações. O somatório das populações que habitam as manchas distintas constitui uma metapopulação, onde a conexão entre as populações locais é realizada por meio da migração.

A partir dos processos de interação entre matriz e fragmentos florestais é possível montar as estruturas conceituais e matemáticas que possibilitaram a modelagem espacial e o desenvolvimento dos estudos em Ecologia de paisagens. Para tal, assumem-se alguns princípios: a) uma espécie, que anteriormente tinha uma distribuição espacial contínua no habitat, pode se tornar uma metapopulação devido à fragmentação do habitat; b) as várias populações locais tornam-se mais vulneráveis a extinção local; c) a dependência da taxa de recolonização dos indivíduos para incrementar a biodiversidade e evitar a extinção das espécies.

The metapopulation concept is strongly related with island biogeography (MacArthur & Wilson, 1967), considering both colonization and extinction as fundamental processes. In particular, the inclusion of the metapopulation concept in the body of landscape ecology concepts contributes to a strong ecological synthesis. (FARINA, 2006, p 73)

A modelagem espacial da paisagem é feita por meio da análise da distribuição dos habitats e suas formas de organização. Esses dados implicam em inferências distintas sobre a qualidade dos *patches* (FVN). Conforme o padrão espacial se altera, eles podem ser classificados em: metapopulação clássica, continente-ilha, população em mancha e metapopulação em desequilíbrio (**Figura 2**).

Figura 2- Relação entre distribuição dos fragmentos de habitats e metapopulação.



a- Metapopulação clássica, b- continente-ilha, c- população em mancha e d-metapopulação em desequilíbrio. **Fonte:** BOAS (2010).

Soares (2013) as definiram da seguinte forma, conforme a **Figura 2** (a,b,c, e d), respectivamente:

Fig. 2a. Metapopulação clássica [...]: modelo no qual há um núcleo formado por um conjunto de populações pequenas, mas conectadas com tanta frequência que o núcleo como um todo nunca se extingue servindo como fonte de migrantes para populações periféricas que continuamente se extinguem e são substituídas por recolonizações. Continente-ilha (Fig. 2b): modelo no qual há uma população nuclear que é maior e nunca se extingue, servindo como fonte de colonizadores para populações satélites que são menores e frequentemente se extinguem e são frequentemente recolonizadas; População em mancha (Fig. 2c): modelo no qual os indivíduos se movimentam com frequência entre um conjunto de populações que nunca chegam à extinção local; Metapopulação em desequilíbrio (Fig. 2d): modelo no qual não há fluxo de organismos entre os fragmentos, a extinção, sem recolonização faz com que estas populações tendam a desaparecer, pode-se chamá-las de populações relictuais. (SOARES, 2013, s.p.)

Ainda tratando da distribuição dos habitats e sua modelagem, a associação da teoria insular com a de metapopulação é bastante utilizada para aqueles que trabalham com gerenciamentos e projetos das reservas naturais. Alguns biogeógrafos buscam responder algumas questões: o quanto grande deve ser um fragmento florestal? Qual deve ser a localização deste? Qual a espécie-chave que deve ser mantida?

3 Estudo dos fragmentos de vegetação nativa para o diagnóstico ambiental

A Ecologia de paisagens, quando inserida na macroecologia, é compreendida como síntese de diferentes campos do conhecimento que procura avaliar os múltiplos padrões de diversidade biológica em escalas regionais. O planejamento ambiental consegue abranger áreas extensas e tem como finalidade a utilização dos recursos naturais de forma sustentável, e o diagnóstico é uma etapa desse que permite a descrição do meio.

A conservação da biodiversidade ainda é um desafio, uma vez que, para isso, a compreensão do todo se apresenta de forma abstrata e dificulta a delimitação do que deverá ser conservado com precisão. Partindo da análise ecossistêmica, a diversidade biológica deve ser conservada em todos os seus níveis de organização (processos ecológicos e evolutivos). Dessa forma, o planejamento ambiental deve se preocupar com a conservação das partes ou do todo? O somatório das partes tem como

resultado o todo? Farina (2006) afirma que a base da conservação ambiental está pautada em três princípios: 1. Conservação das plantas e animais; 2. Dos biótopos de relevante interesse biológico e 3. Dos processos ecológicos em geral.

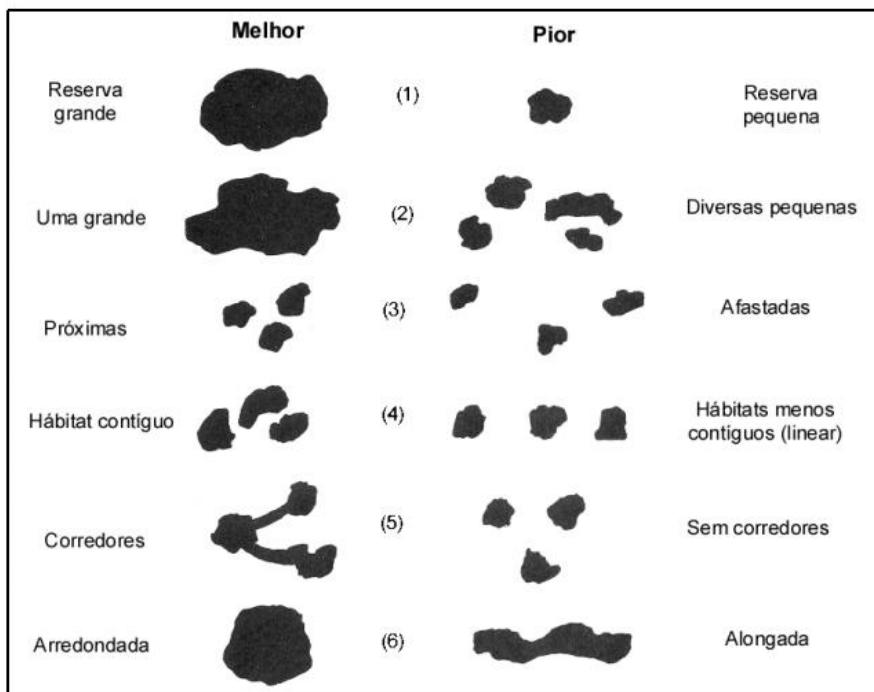
Quando se trata da conservação ambiental, admite-se que a interação dos elementos bióticos e abióticos se dá de forma dinâmica, portanto cada área de estudo abrangerá caminhos metodológicos complexos e resultados distintos ao longo do tempo e espaço. O questionamento que deve permear as etapas do planejamento ambiental é como conservar a biodiversidade? Neste caso, a orientação se dará por meio da conservação *in situ* ou *ex situ*? Conservação *in situ*, são as técnicas empregadas para a manutenção dos indivíduos *in loco*, e *ex situ* é manutenção da biodiversidade fora do seu habitat natural, como um zoológico, ou abrigo de animais silvestres, por exemplo.

A relação entre a macroecologia e o planejamento ambiental indica como regra principal que a conservação da biodiversidade seja feita *in situ*, isto é, por meio da proposição e manutenção das áreas protegidas por Lei e criação de áreas prioritárias para conservação da diversidade biológica, como as Unidades de Conservação. A conservação *in situ* é indicada em função do tamanho regional dos biomas, pela eficiência e custo dos procedimentos. Fundamenta-se, também, na ideia de que a conservação de habitats extensos que os processos ecológicos em subníveis hierárquicos também serão beneficiados.

Inseridas na matriz, encontram-se as manchas de ecossistemas originais ou deles derivados que funcionam como habitats de vegetação remanescente (FVN) para a biota regional. As dimensões destas manchas, suas formas e a disposição espacial de seu conjunto determinam as suas qualidades como habitat para a biota (COLLINGE, 1996, apud SANTOS, 2002).

A paisagem apresenta um mosaico de habitats (*land mosaics*) fragmentados e outras matrizes. Os fragmentos de habitats de uma mesma fitofisionomia se diferenciam em razão da forma, tamanho e densidade variada. O processo de descrição dos fragmentos deve considerar diferentes atributos, como: a densidade, isolamento, tamanho, forma e as características de fronteira dos mesmos. (FARINA, 2006). A **figura 3** mostra como o formato e organização desses fragmentos de vegetação nativa interfere na qualidade ambiental destes.

Figura 3- Forma, tamanho e qualidade dos *patches*.



Fonte: Barroso (2002, p.3).

A literatura referente à fragmentação dos habitats indica que os fragmentos de vegetação nativa maiores, ou manchas próximas e com formatos mais arredondados são melhores ecologicamente do que as manchas menores, mais distantes e de formas irregulares. Farina (2006, tradução nossa) destaca a importância dos fragmentos grandes para a conservação da biodiversidade: “[...] grandes fragmentos possuem mais espécies, menos perturbação e menor estradas de acesso do que os fragmentos menores”.

Existem formas para melhorar a dispersão entre as unidades de vegetação nativa, como corredores lineares, trampolins e tampões. Os corredores lineares auxiliam na conservação de espécies individuais e na integração das comunidades. Um corredor ecológico pode ser entendido como aquele que proporciona a conectividade entre os fragmentos florestais, que viabilize tanto a locomoção da fauna quanto sua troca de genes e da flora. Diferentes tipos de elementos da paisagem podem aumentar a conectividade entre os fragmentos de vegetação nativa. Muitos são os elementos que podem servir como corredor e não são explícitos (cercas vivas, vegetação ao lado das rodovias, estradas, entre outros).

As matas ripárias são estratégicas para compor os corredores ecológicos. “*Riparian corridors are made up of vegetation growing adjacent to creeks and rivers that are sometimes retained in human dominated landscape*” (HILTY; LIDICKER; MERELENDER, 2006, p. 97). Essas áreas são protegidas por leis, sendo assim, já são elementos que funcionam como corredor ecológico, sobretudo para o Cerrado, que se configurou como fronteira agrícola desde a década de 60 e apresenta uma matriz de antropização consolidada. A conservação dos leitos dos rios em conjunto com as matas ciliares, possui uma boa conectividade com diferentes áreas não somente para os animais aquáticos, mas como também para organismos que buscam abrigos ou comida nesses habitats, tais como borboletas, pássaros, pequenos mamíferos e etc.

Quanto à tipologia dos corredores ecológicos, a literatura indica duas classificações: contínuos e não contínuos. O Corredor do tipo contínuo atende um maior número de elementos da fauna, com processo de reabilitação mais eficiente. O Corredor não contínuo é representado por ilhas de vegetação, criadas estrategicamente, porém o processo de reabilitação é menor do que o primeiro (BERGHER, 2008).

Corredores Lineares e contínuos permitem a locomoção de animais maiores.

[...] os corredores ecológicos são usados como estratégia conservacionista desde o início do século XX, principalmente para aves. A referida autora cita trabalho realizado em Queensland, Austrália, que sugere que remanescentes lineares, floristicamente diversificados e apresentando pelo menos de 30 a 40 metros de largura, podem funcionar como habitat e, provavelmente, como corredores de movimento para a maioria dos mamíferos arbóreos daquela região (VALERI e SENÔ., 2004, s.p.).

Valeri e Senô (2004) mostraram os critérios adotados para estabelecer o corredor ecológico em São Paulo, para possibilitar o acesso da fauna aos fragmentos florestais.

Foi implantado um corredor ecológico com 30 metros de largura e 600 metros de comprimento, interligando-o a uma área de preservação permanente ao redor de uma nascente, beneficiária do Córrego Jaboticabal. A implantação do corredor ocorreu em 26 de outubro de 2000, com o plantio de 3.519 mudas de 110 espécies arbóreas nativas, cumprindo as exigências da Resolução nº 21 da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, publicada no Diário Oficial em 23/11/2001 (VALERI e SENÔ., 2004, s.p.)

Os trampolins ecológicos (*stepping stones*) caracterizam os corredores ecológicos não lineares. Estes são importantes, pois servem de elementos de ligação entre os fragmentos grandes, além de melhorar a heterogeneidade entre a matriz e servir de abrigo para as espécies (FORMAN; GORDON, 1986).

Outros elementos para incrementar a qualidade dos habitats são os tampões que consistem em faixas de reflorestamento ao entorno dos fragmentos com função de aumentar a sua área central, isto é, aquela livre do efeito de borda ou *boundary and edge effect*. Este influencia diretamente no ecossistema e sua biodiversidade. As bordas são os locais de interação que limitam unidades bióticas distintas. Não necessariamente, o olho humano consegue separar esse efeito (HILTY; LIDICKER; MERLENDER, 2006).

Além das possibilidades de corredores, áreas trampolins e tampões, o uso das pontes-vivas (**foto 1**) permite o cruzamento da fauna sobre as rodovias. Estas pontes suspensas são importantes para romper as barreiras geográficas criadas pelas estradas, que ocasionam a redução do fluxo gênico entre populações de determinadas espécies de animais silvestres. Além de conectadoras de áreas adjacentes, outro objetivo é oferecer uma travessia segura aos animais que vivem em habitats florestais, sobretudo, isolados. Com estas estruturas almeja-se diminuir o número de atropelamento dos organismos.

Foto 1- Exemplo de ponte viva sobre rodovia. Ecoduto de Woeste Hoeve na autoestrada A50, Holanda.



Fonte: autor desconhecido.⁵

⁵ Disponível em :< <http://arquiteturasustentavel.org/pontes-vivas-para-a-passagem-de-animalis/> >

O atropelamento de fauna silvestre supera impactos ambientais como os da caça, por exemplo. Nos Estados Unidos foram estimados 365 milhões de atropelamentos/ano (década de 60), na Espanha 100 milhões (década de 90) e na Alemanha 32 milhões (1987-1988). No Brasil, segundo o Centro Brasileiro de Estudos de Ecologia de Estradas - CBEE (<http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>) estimou-se que devem morrer mais de 1,3 milhões de animais por dia.

Para elaborar o planejamento dos corredores ecológicos, trampolins, pontes vivas e outros elementos de conectividade dos habitats, também é preciso realizar a avaliação das matrizes dos fragmentos, isto é, avaliar o tipo de uso da terra e manejo ao entorno destes habitats. A principal análise das matrizes em Ecologia de paisagens está ligada com o quesito da permeabilidade dessas regiões, ou seja, no grau de facilidade de deslocamento dos organismos para outro fragmento.

A permeabilidade da matriz, como um todo, pode ser estimada pela densidade de pontos de ligação e pelo grau de resistência dessas aos fluxos biológicos. Os pontos de ligação constituem em pequenas áreas de habitat dispersas na matriz. Estes pontos podem ter um papel importante no movimento de algumas espécies ou na persistência das mesmas, que não careçam de grandes espaços de habitat para se desenvolverem (WHITCOMB et al., 1976 apud JUVANHOL, 2011, p. 19).

Neste sentido, a conservação da biodiversidade está diretamente ligada à estrutura da paisagem, pois ela influí na dinâmica das populações. Nas áreas urbanizadas, principalmente, a atividade humana transformou e ainda transforma a paisagem original em um mosaico fragmentado, ou no que se pode chamar de matriz antropizada. As atividades agropastoris também são responsáveis pela configuração dessa matriz. Farina (2006) elencou algumas métricas da paisagem que são importantes na investigação da fragmentação dos habitats (**Quadro 3**).

Quadro 3- Métricas em Ecologia de paisagens para avaliação da fragmentação e qualidade dos *patches*.

Área e estrutura
Área florestal, ha
Perímetro, m
Forma
Densidade do dossel
Densidade do estrato arbustivo
Densidade das gramíneas
Número de habitats
Isolation
Área florestal com 0,5 km
Área florestal com 1,0 km
Comprimento da linha de borda
Distância dos fragmentos de outros
Distância dos fragmentos de cidades
Connectedness
Números de borda conectados por espécies florestais
Quantificação da serrapilheira
Total de unidades lineares de conexão
Uso da terra ao entorno dos fragmentos
% do perímetro do fragmento conectado por culturas de cereais
% do perímetro do fragmento conectado por feijão
% do perímetro do fragmento conectado por olerícolas
% do perímetro do fragmento conectado por outras culturas
% do perímetro do fragmento conectado por pastagens
% do perímetro do fragmento conectado por áreas de pousio

Fonte: Adaptado de FARINA (2006), tradução nossa.

Todas as medidas para avaliação da paisagem e as estratégias para conservação da biodiversidade devem ser pensadas dentro do planejamento ambiental. Franco (2001) discutiu que este deve partir das bases naturais para a sustentação da vida e das suas relações ecossistêmicas em um determinado território. Portanto, o planejamento ambiental deve visar à diminuição dos gastos de energia que o sustenta, o seu grau de entropia, assim como os riscos e impactos ambientais, sem prejudicar ou suprimir outros seres da cadeia ecológica da qual o Homem faz parte, mantendo a biodiversidade dos ecossistemas.

A partir disto, as etapas do planejamento e gestão ambiental podem ser conduzidas por meio de questões importantes levantadas anteriormente nesta pesquisa? O quanto grande dever ser um fragmento florestal? Qual deve ser a localização deste? Qual a espécie-chave que deve ser mantida?

O planejamento ambiental pautado nas análises segundo a Ecologia de paisagens indica que o ideal é não ter que fazer restauração e sim de se fragmentar a paisagem de forma inteligente (LAURENCE; GASCON, 1997). Em síntese, o reconhecimento desse modelo de investigação valoriza a importância da manutenção das áreas de vegetação nativa para a preservação das outras partes da paisagem, como a fauna, solos e qualidade do recurso hídrico, por exemplo, buscando garantir a sustentabilidade e o equilíbrio ecológico do meio.

4 Considerações finais

Entende-se por Ecologia de Paisagens, o ramo investigativo dos padrões ecossistêmicos por uma escala horizontal, em que estes são afetados pela organização e interação dos elementos de uma determinada paisagem. Esta apresenta métodos associados à Biogeografia insular que revoluciona o modo de análise da relação entre os fragmentos de vegetação nativa e os demais usos que os cercam.

Este método de investigação da paisagem é fundamental para o planejamento ambiental de uma determinada unidade territorial, e objetiva a transformação da paisagem para atingir a sustentabilidade dos recursos naturais do meio, bem como a conservação dos processos bióticos. A Ecologia de paisagens, como investigação da qualidade ambiental dos habitats, possibilita a inferência da qualidade de áreas extensas, buscando a compreensão das dependências dos elementos da paisagem e seus padrões espaciais.

Os estudos dos problemas resultantes da fragmentação dos habitats, em consequência da expansão das fronteiras agrícolas, é uma questão urgente. O desenvolvimento metodológico da análise da paisagem, aliado às técnicas de geoprocessamento, permite inferir sobre o nível de fragmentação dos habitats e fornece as métricas dos fragmentos de vegetação nativa para as tomadas de decisões dentro do planejamento ambiental. Permitindo, deste modo, elaborar um sistema de gestão territorial eficiente, e, sobretudo escolher os locais prioritários para conservação dos habitats e dos processos naturais envolvidos.

A revisão literária sobre essa temática, ainda, é pouco representativa, indicando que os estudos em Ecologia de paisagens permeiam por uma nova área do conhecimento que está em expansão. Apesar desta não ter nascido propriamente no cerne da Geografia, mas sim de uma visão interdisciplinar entre esta e a Biologia, destaca-se a importância da ciência geográfica que por natureza estuda a relação Homem x meio, aborda a escala regional por meio da categoria paisagem, e, ainda pode sugerir formas de gestão do território conforme as suas potencialidades e fragilidades.

Referências

- ARQUITETURA SUSTENTÁVEL. Pontes vivas.** Disponível em :<
<http://arquiteturasustentavel.org/pontes-vivas-para-a-passagem-de-animais/>> Acesso em: dez. 2013.
- BARROSO, Gilberto Fonseca .Teoria de Biogeografia de Ilhas.** Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de recursos naturais e Ecologia, março de 2002.
 Disponível em:<
http://ucbweb2.castelobranco.br/webcaf/arquivos/12787/4787/Biogeografia_de_ILhas.pdf> Acesso em: jan. 2014.
- BLUMENFELD , Esther Carone. Relações entre Vizinhança e Efeito de Borda em Fragmento Florestal.** 2008. Dissertação de mestrado (Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.) Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. Disponível em :<
<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000431953>>Acesso em jun. 2014.
- BOAS, Taissa. O surgimento da Ecologia de paisagens.** (2010) Disponível em:<<http://ecopaisagem.wikispaces.com/O+Surgimento+da+Ecologia+de+Paisagens>>
 Acesso em: jan. 2015.
- BROWN, J. H. L., M. V. Biogeography.** 2ª. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 1942.
- CAMPOS, Rafael Dias da Silva.** O Conde de Buffon e a Teoria da degenerescência do Novo Mundo do século XVIII. In: X Encontro de História de Mato Grosso do Sul. Simpósio Internacional de História. XIII Semana de História da UFMS/CPTL. 2010. Três Lagoas-ES. **Anais eletrônicos X Encontro de História de Mato Grosso do Sul. Simpósio Internacional de História. XIII Semana de História da UFMS/CPTL.** 2010. Três Lagoas-ES Universidade Federal do Mato Grosso do sul, p. 1641-1654.
 Disponível em:< <http://www.ndh.ufms.br/wp-anais/Anais2010/Aceitos%20em%20ordem%20alfabetica/Rafael%20Dias%20da%20Silva%20Campos.pdf>> Acesso em: out. 2015.
- COX. Barrya; MOORE, Peter.** Uma história da Biogeografia. In: **Biogeografia uma abordagem ecológica.** p.12-37.

DÔGE, Jonas. **Biogeografia aplicada a Paisagens.** Disponível em:< <http://ecopaisagem.wikispaces.com/Biogeografia+aplicada+a+Paisagens> > Acesso em: out. 2015.

FARINA, Almo. **Principles and methods in landscape ecology:** toward a science of landscape. Holanda: Kluwer Academic Pub, 2006.

FORMAN, R. T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology.** New York: Wiley, 1986.

FRANCO, M. A. de R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável.** São Paulo: Annablume (Fapesp), 2001.

HILTY, J. A; LIDICKER, W. Z; MERELENDER, A. M. **Corridor Ecological:** the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. USA: Andrew P. Dobson, 2006.

JUVANHOL, R. S. **Análise Espacial de Fragmentos Florestais no Corredor Ecológico entre os Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, ES.** 2011. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Florestal. Disponível em:< <http://www.corredoresecologicos.es.gov.br/publicacoes/TCC2011-RONIE.pdf> > Acesso em: fev. 2014.

LAURANCE, W. F.; GASCON, C. How to creatively fragment a landscape. **Conservation Biology**, v.11, 1997, p.577-579.

LAURANCE, William. F. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. **Biological Conservation**. Elsevier. 2008. 141: 1731-174

LEVINS, R. Extinction. In M. Gesternhaber (ed.), **Some Mathematical Problems in Biology.** American Mathematical Society, Providence, Rhode Island. 1970. . pp. 77-107

MACAHTUR, Robert H. e WILSON, Edward O. An equilibrium theory of insular zoogeography. **Evolution. The society for the study of evolution.** Coverage, v.17, p. 373-387, dez. 1963.

METZGER, Jean Paul. Delineamento de experimentos numa perspectiva de Ecologia da paisagem. In: CULLEN JR., L; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre.** Curitiba: UFPR/Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2003. p. 539-553.

_____. O que é Ecologia de paisagem?. **Biota Neotropica**, v.1, n.1, p.1-9, 2001.

PINHO, Luis Antonio; PELICE Fernando Mayer. **Extinção.** Disponível em:< http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/modulo_8-

bloco_1/uni_extincao/material_apoio/M8EBU3_Extincao_versao_web.pdf> Acesso em fev. 2015.

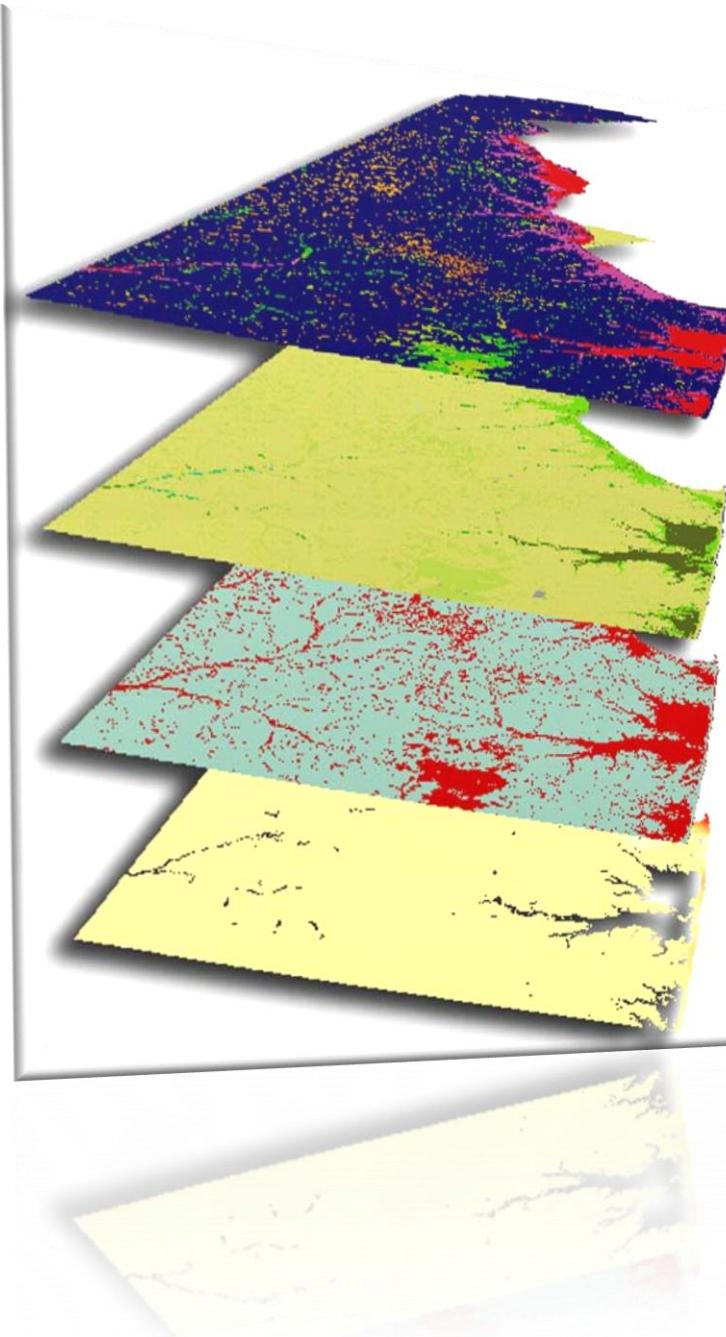
PORTAL Centro Brasileiro de ecologia de estradas (CBEE). **Atropelômetro da fauna silvestre.** Disponível em:< <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>> Acesso em: out. 2015.

SANTOS, Janaina Sant'Ana Maia. **Análise da paisagem de um Corredor Ecológico na Serra da Mantiqueira.** 2003. Dissertação de mestrado. São José dos Campos: INPE. Disponível em:< <http://www.obt.inpe.br/pgsere/Santos-J-S-M-2002/publicacao.pdf>> Acesso em: jan. 2014.

SOARES, Hortência Araújo. **A fragmentação de hábitat e a abordagem da dinâmica de metapopulações para conservação da biodiversidade.** Disponível em:< <http://Ecologiaparatodos.org/2013/02/26/a-fragmentacao-de-habitat-e-a-abordagem-da-dinamica-de-metapopulacoes-para-conservacao-da-biodiversidade/>> Acesso em: jan. 2015.

VALERI, Sérgio Valiengo, SENÔ, Mirela Andréa Alves Ficher. **A Importância dos Corredores Ecológicos para a fauna e a sustentabilidade de remanescentes florestais.** Disponível em:< http://www.clienteg3w.com.br/celialrusso/site/corredores_ecologicos.pdf> Acesso em: mar. 2014.

WALTER, Hartmurt S. The mismeasure of islands: implications for biogeographical theory and the conservation of nature. **Journal of Biogeography.** v.32. n.2. fev. 2004, p. 177-197.



*A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia
Hidrográfica do Rio Araguari- Minas Gerais*

*Yet a set of common patch shapes
does result from nature's curves
and PEOPLES's lines.*
(FORMAN, 2006, p. 113)

RESUMO

A estrutura espacial dos fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - Minas Gerais

Os elementos que compõe a paisagem (fragmentos e matriz) são objetos de estudo da Ecologia de Paisagens. Por meio das técnicas de geoprocessamento é possível analisar quantitativamente o tamanho, forma, número, tipo e configuração dos *patches*. A área de estudo dessa pesquisa é a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari que está localizada na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na parte ocidental do estado de Minas Gerais, ocupando uma área de 22.146,23 km². As imagens utilizadas para extração das áreas de vegetação florestal nativa dessa bacia são do sensor OLI/Landsat 8 que apresenta resolução espacial de 30 metros. Como resultado, a área de estudo possui 149.521 unidades de fragmentos florestais de vegetação nativa, com no mínimo 900 m². As métricas em Ecologia de Paisagens avaliadas são referentes à forma, tamanho, densidade de borda, comprimento da borda e área central para cada classe de fragmento: muito pequeno, pequeno, médio e grande. O fragmento de vegetação nativa com maior área é a Unidade de Conservação de Galheiros.

Palavras-chave: Ecologia de Paisagens. Cerrado. Fragmentação. Vegetação nativa.

ABSTRACT

The special structure of Araguari's river basin patches

The elements that make up the landscape (fragments and matrix) are Landscape Ecology of the study subjects through geoprocessing techniques it is possible to quantitatively analyze the size, shape, number, type and configuration of ecosystems (patches). The study of this research area is the basin of the Rio Araguari-MG that is located in the region of Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba, in the western part of the state of Minas Gerais, covering an area of 22,146.23 square kilometers. The images used for extracting the areas of native forest vegetation of this basin are the sensor used in this process was the Oli / Landsat 8 which has a spatial resolution of 30 meters. As a result, the study area has 142,492.00 units with at least 900 m², the metrics evaluated Landscape Ecology refer to the shape, size, edge density, length of edge and core area for each fragment: very small small, medium and large.

Key-words: Ecology of Landscapes. Cerrado. Fragmentation. Native vegetation.

1 Introdução

Os estudos de conservação e conectividade dos habitats é uma temática urgente diante dos problemas ambientais do século XXI, em que o foco é a biodiversidade na paisagem. Essa riqueza pode ser preservada nos habitats que são componentes estruturais do mosaico de paisagens. A natureza ficou a mercê da exploração compulsiva do Homem no Brasil por, pelo menos, quatro séculos, que levou a organização e ao desenvolvimento do mundo contemporâneo, onde as desigualdades e mazelas sociais estão escancaradas pelos continentes. A partir da década de 1960, começaram os movimentos autônomos pela busca de melhoria de condições de vida, de trabalho, do direito da mulher, e inclusive contra a forma em que o meio ecológico estava condicionado pela lógica econômica mundial.

Como agravante deste cenário de exploração dos recursos naturais, a biodiversidade encontra-se ameaçada. A riqueza e a abundância de espécies dependem das características estruturais dos fragmentos de vegetação nativa (METZGER, 2000). O sucesso de uma espécie (adaptação) em um determinado meio é fruto da interação com os fatores abióticos e bióticos sob um limite de tolerância. Isto é, cada espécie possui um nicho ecológico, onde ela enfrenta fatores limitantes, cuja diversidade genética é muito importante para que os organismos possam responder e se adaptar às mudanças ambientais. Quanto maior for a área de refúgio natural para os organismos, mais chances eles possuem de se dispersarem e aumentarem a variabilidade genética da biodiversidade.

A avaliação da qualidade dos habitats (manchas de vegetação nativa) da paisagem pode ser feita por parâmetros estabelecidos pela Ecologia de paisagens. Essa utiliza o potencial de investigação regional para analisar os padrões ecológicos espaciais. Especificamente, nos estudos dos habitats fragmentados é possível fazer o levantamento da métrica dos fragmentos de vegetação nativa (FVN), que possibilita a avaliação da susceptibilidade ambiental dessas áreas em relação à perda da biodiversidade, isto é, auxilia no processo de separação das zonas onde a fauna e flora são vulneráveis à extinção.

A aliança entre o Geoprocessamento e a Ecologia de paisagens é uma ferramenta importante para auxiliar na compreensão de padrões espaciais ecológicos. Desta maneira, é preciso estabelecer a escala espacial e temporal com afinco. Em noções e conceitos de tratamento de dados espaciais, a investigação pode perpassar por três linhas: modelagem cartográfica, matemática e métodos estatísticos. Dale e Fortin (2014, p. 1, tradução nossa) detalharam essas linhas para o tratamento em dados ecológicos: “[...] descrever e testar a estrutura espacial da paisagem, a extração e interpolação espacial desta, regredir e simular os processos da paisagem, analisar a interação destes, e realizar a modelagem considerando as escalas espaço-temporal do objeto de estudo”.

O aparato geotecnológico apresenta diversos aplicativos computacionais que permitem fazer a análise métrica descritiva das estruturas da paisagem. Em Ecologia de paisagens, “[...] esses programas caracterizam a fragmentação de uma paisagem, fornecendo valores quantitativos de extensão de área e de distribuição espacial dos diferentes tipos de fragmentos que compõem uma paisagem” (HESSBURG et al., 2000 apud PIROVANI et al. 2012).

In ecological studies, explicit considerations of spatial structure have come to play an important role in our efforts to understand and to manage ecological processes. Therefore, the description and quantification of ecological patterns, both spatial and, temporal, are important first steps in our quest to comprehend the complexity of nature (DALE; FORTIN, 2014, p. 3).

Os dados utilizados em Ecologia da paisagem podem ser espaciais ou não. As análises espaciais referem-se à relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem (fragmentos e matriz), ou seja, é possível analisar quantitativamente o tamanho, forma, número, tipo e configuração dos FVN .

Para Forman e Gordon (1986), as métricas são importantes informações da paisagem, além de serem base para cálculo de alguns índices, tais quais:

- Índice de Densidade e Tamanho: são índices referentes ao número de fragmentos, tamanho médio dos mesmos, desvio padrão e coeficiente de variação de tamanho (MCGARIGAL et al., 2002) .
- Índice de bordas: são áreas de transição entre as unidades de paisagens distintas, e esse índice auxilia no levantamento da quantidade de áreas que estão sobre o efeito de bordas (HOLLAND, 1988 apud METZGER, 1999).

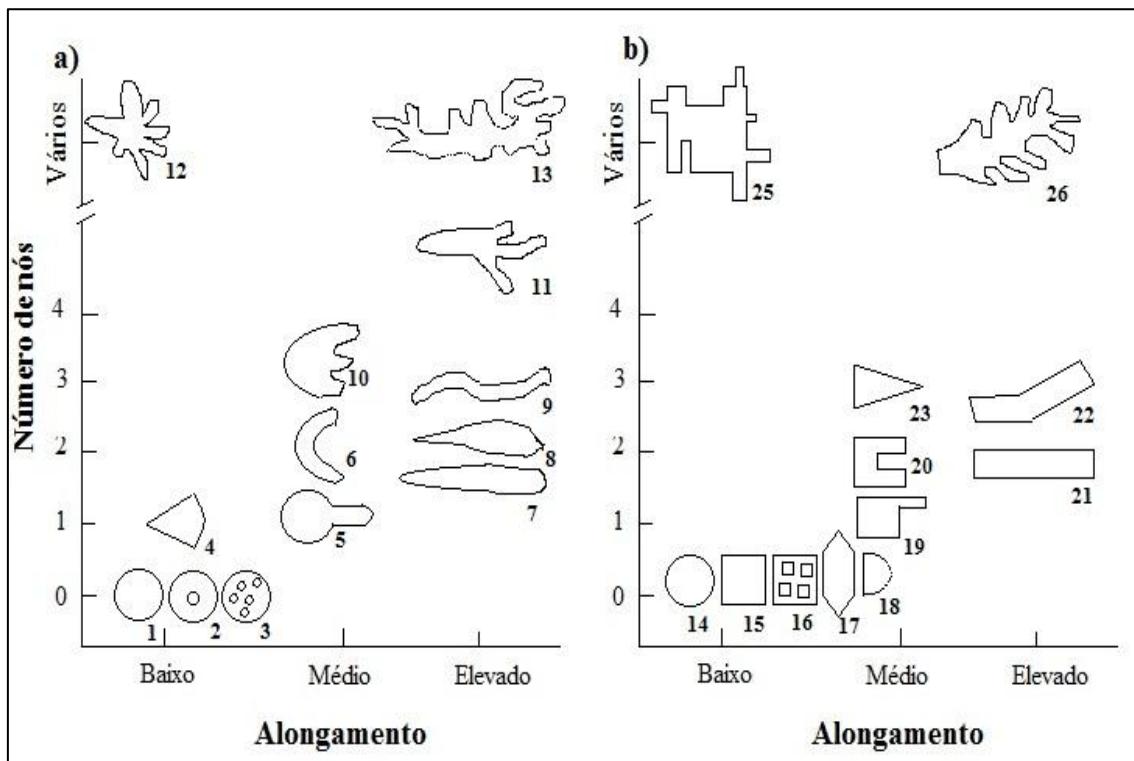
- Índice de forma: a forma de um fragmento influencia diretamente na quantidade de área sobre efeito de borda, em que o perímetro de mancha está diretamente ligado à forma do mesmo (VOLOTÃO, 1998).
- Índices de proximidades: refere-se à distância do vizinho mais próximo. Esse índice permite avaliar o grau de isolamento dos fragmentos (VOLOTÃO, 1998; FORMAN e GORDON, 1986).
- Índice de Área Central: permite refletir sobre a configuração de uma paisagem, e depende dos outros índices (índice de borda e forma). Avalia se o fragmento apresenta influências mínimas das externalidades, uma vez que, essa área separa a área de borda (VOLOTÃO, 1998).

Forman (2006, p. 45-46) estabeleceu duas teorias de análise para as manchas, *Large or a small patches - LOS* e *single large or several small patches-SLOSS*. Essas teorias são importantes para o planejamento do mosaico da paisagem, isto é, elaborar planos de aptidão e conservação para uma bacia hidrográfica, por exemplo. Elas trazem reflexões importantes sobre o tamanho ideal para os fragmentos, a quantidade e a localização desses na unidade de planejamento e, consequentemente, a possibilidade de preservação dos fluxos de energia e matéria do meio.

Os *patches* apresentam formas diversificadas na paisagem, devido, sobretudo, às conversões dos fragmentos para os demais usos da matriz. Cada formato apresenta perdas na conservação dos habitats, por conta do aumento das externalidades sobre a área do FVN (FORMAN, 2006, p. 117). A **Figura 1** apresenta tipos de formatos para classificação dessas unidades quanto à sua forma geométrica.

Sobre a **Figura 1**, os números 1, 2, 3, 14 apresentam formato *round* (circular). *Amorphic* para as unidades com formas irregulares, 13. *Stream-lined patches* para aqueles que são estruturas mais alongadas e lineares, como 7, 8 e 9. *Indented patches* (estruturas endentadas), *removal of a portion along one side*, exemplo 20, ou seja, remoção de uma parte de um lado do fragmento. *Sponge-like or perforated patches* (fragmentos perfurados), número 2, 3 e 16. *Donut shape or ring patches* (formato de anéis-toro, isto é, com uma única perfuração), 12. Outros formatos de fragmentos não são tão comuns como, por exemplo, triângulos, cones, quadrados, etc. O formato desses fragmentos florestais de vegetação nativa (FVN) varia em conformidade com o terreno (declividade, aptidão agrícola, entre outros).

Figura 1- Formato dos *patches* encontrados na paisagem fragmentada.



Fonte: FORMAN, 2006, p. 117

As métricas em Ecologia de paisagens para avaliação da forma, disposição espacial e tamanho dos fragmentos assumem o círculo como a figura ideal para o mesmo, pois é a figura geométrica com menor perímetro (borda do fragmento). Quanto mais distante desta figura, mais irregular será a forma do *patch*. Quanto maior for a borda de um fragmento maior será sua área em contato com as externalidades provenientes da matriz (demais usos).

Farina (2006) apresentou algumas fórmulas para as métricas espaciais. A **Equação 1** descreve a relação entre perímetro e área do fragmento de vegetação nativa.

$$\frac{L}{S} \quad (1)$$

Em que L= Perímetro e S= Área.

A relação entre essas duas variáveis indica a qualidade do habitat, uma vez que o quanto maior for o perímetro e menor for a área de um fragmento indica que o mesmo apresenta formato irregular. Já que a figura geométrica que apresenta menor

perímetro é o círculo. Dessa forma, a correlação entre perímetro e área está descrito na **Equação 2**.

$$\frac{282 \times L}{\sqrt{S}} \quad (2)$$

Em que L= Perímetro e S= Área e 282 é uma constante.

Outro fator importante é a densidade de fragmentos de vegetação nativa no mosaico da paisagem (**Equação 3**). Se a densidade de fragmentos for representativa significa que há bastante nós (patches) para o estabelecimento de estratégias ambientais para a conectividade desses habitats.

$$\frac{Ni}{A} \quad (3)$$

Em que Ni é o número de *patches* da área de estudo, Li é o perímetro.

Para avaliação do tamanho e quantidade de manchas pela paisagem, o índice de Hulshoff (1995)- S1 mostra que valores altos indicam a presença de muitos fragmentos com áreas pequenas, **Equação 4**.

$$\frac{1}{Ni} \sum \frac{Li}{Si} \quad (4)$$

Em que Si é a área total dos fragmentos, Ni é o número de *patches* e aij é a área de cada patch.

Para saber se existe simetria na forma dos fragmentos de uma determinada área utiliza-se o índice 2 de Hulshoff (1995), **Equação 5**.

$$\frac{1}{Ni} \sum \frac{Li}{4\sqrt{Si}} \quad (5)$$

O tamanho médio dos fragmentos (*Mean Patch Size- MPS*) é estimado pela **equação 6**.

$$\frac{\sum_{j=1}^n aij}{ni} \quad (6)$$

Em que ni é o número de *patches* e aij é a área de cada patch.

Para encontrar a área do maior fragmento da matriz (*Largest Patch Size-LPS*), utiliza-se a **equação 7**, em que A é a área da paisagem.

(7)

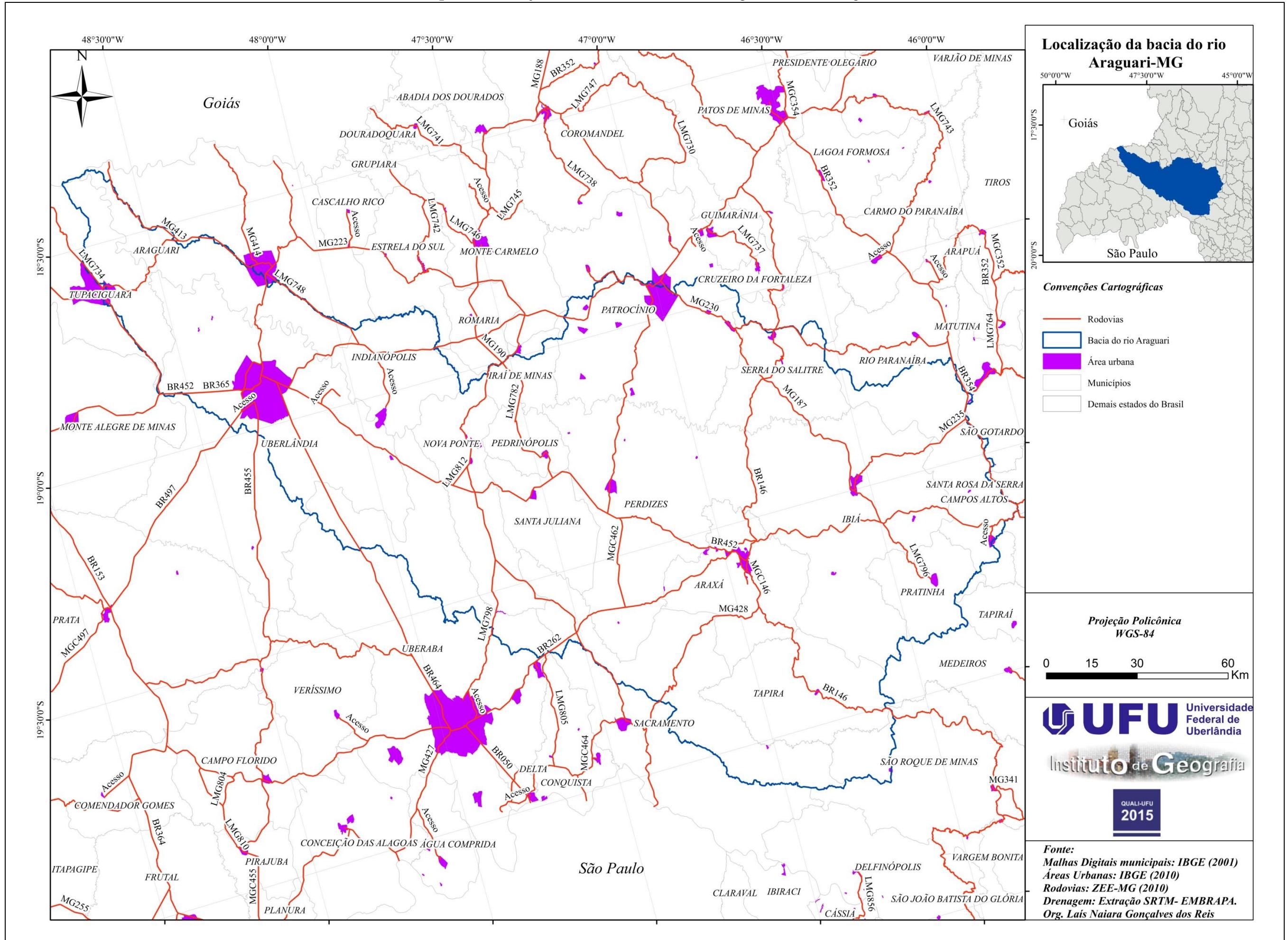
$$\frac{\text{Max}(a_{ij})}{A} \cdot 100$$

Este capítulo tem como objetivo avaliar o FVN da BHRA por meio da métrica dos *patches*. Estes estudos são importantes para a Gestão da Conservação da Conectividade dos habitats (*Connectivity Conservation Management*), para a compreensão da distribuição espacial dos fenômenos e gerir as atividades do espaço, reduzindo as ameaças à biodiversidade local e regional. Nessa perspectiva, assumiu-se uma escala regional (22.146,23 km²) que possibilitou avaliar quantitativamente e qualitativamente os remanescentes de Cerrado da área de estudo. Correlacionando os aspectos da métrica da paisagem (quantidade de *patches*, tamanho dos fragmentos, avaliação do fenômeno de borda) com as condicionantes da bacia hidrográfica (uso da terra e cobertura vegetal nativa) foi possível estabelecer as bases do planejamento para propor aspectos de conectividade para a BHRA – que serão abordados no **capítulo 5**.

2 Procedimentos Metodológicos

Para avaliar a metodologia investigativa das paisagens fragmentadas do bioma Cerrado foi utilizado um recorte espacial que é a BHRA, que está localizada na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na parte ocidental do estado de Minas Gerais, ocupando uma área de 22.146,23 km². Essa está localizada entre as coordenadas 18° 20' e 20° 10' de latitude sul e 46° 00' e 48° 50' de longitude oeste. Abrange as áreas de vinte municípios (alguns parcialmente): Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, São Roque de Minas, Sacramento, Santa Juliana, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia, (**Mapa 1**).

Mapa 1- Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



2.1 Mapeamento dos fragmentos de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - Minas Gerais

Os fragmentos de vegetação nativa mapeados estão inseridos nas seguintes fitofisionomias: a mata ciliar e a de galeria, o cerradão e o cerrado sentido restrito. O sensor utilizado neste processo foi o OLI/Landsat 8 que apresenta resolução espacial de 30 metros. Portanto, não foi possível extrair as áreas de preservação permanente (APP). As cenas utilizadas estão descritas no **Quadro 1**. Para a extração das informações utilizou-se o software SPRING 5.2 onde foi realizada a classificação supervisionada, aplicando o processo semiautomático, isto é, agrupamento dos pixels semelhantes por meio do processo de segmentação, área de pixel 15 e similaridade 18. Este processo caracteriza-se pelo reconhecimento de padrões de alvos homogêneos distinguindo áreas que apresentam comportamentos espectrais diferenciados na superfície, com a eficiência do algoritmo e a capacidade de reconhecer as feições do usuário.

Quadro 1- Identificação das cenas utilizadas no mapeamento de 2014.

Órbita/ponto	Data
219/73	10/03/2014
220/73	12/06/2014
220/74	13/03/2014
221/73	13/03/2014
221/74	13/03/2014

Fonte: Reis (2015).

O algoritmo computacional aplicado para classificar as cenas do sensor OLI/Landsat 8 foi o Maxver, que classifica pixel por pixel, agrupando as informações de cada pixel em regiões homogêneas. Esta classificação associa cada pixel à classe com maior probabilidade de gerar um pixel com as suas características (JENSEN, 1996). O desempenho e limiar de aceitação do mapeamento estão descritos no **Quadro 2**.

Quadro 2- Resultados da classificação semiautomática dos fragmentos florestais de vegetação nativa para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari do ano de 2014.

Classificação semiautomática dos Fragmentos Florestais			
Desempenho médio	90,96%	Limiar de aceitação	95%
Abstenção Média	9,04%	Classificador	Maxver
Confusão	0,00%		

Fonte: Reis (2015).

Após a extração dos fragmentos de vegetação nativa (FVN), seguiu-se a metodologia proposta de Juvanhol et al. (2011), num estudo de fragmentação florestal aplicado em área do Estado do Espírito Santo, em que os fragmentos foram agrupados em: muito pequeno $\leq 5\text{ha}$; pequeno $\geq 5,01 \text{ e } \leq 10$; médio $\geq 10,01 \text{ e } \leq 100$ e grande $\geq 100,01 \text{ ha}$.

2.2 Análises dos fragmentos florestais em relação aos índices estruturais da Ecologia de paisagens

As análises estabelecidas para os fragmentos foram orientadas pelos índices ecológicos e/ou métricas da paisagem. Para tal, foi utilizado o conjunto de ferramentas computacionais chamada *Patch Analyst*, uma extensão do software da ESRI, disponibilizada para download gratuito no sítio <http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/Patch5_1_Install.htm>. As métricas obtidas foram: CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), MPS= Tamanho médio das manchas (hectares), PSCoV= Coeficiente de Variação do Tamanho médio das manchas (porcentagem), PSSD= Desvio Padrão do tamanho das manchas, TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio, AWMSI=Índice de Forma média de Área Ponderada. O **Quadro 3** detalha as fórmulas dos índices utilizados neste processo.

Sabendo-se da importância da área central (*core area*) para a preservação e conservação da biodiversidade natural, em função desta ser livre do efeito de bordas (*edge effect*), estas foram calculadas excluindo as bordas de até 100 metros. A maioria das pesquisas indica que este fenômeno ocorre até esta metragem, podendo ser superiores dependendo do objeto de análise (escala de análise). Rodrigues (1998) fez estudos de 0 à 35 metros e de 35 à 100 metros, a partir da borda para o interior do *patch*. Essa pesquisa indicou que:

A diversidade de espécies tendeu a ser alta antes dos 35 m da borda, teve um pico aos 35 m e foi mais baixa depois dos 35 m, até os 100 m. A possível interpretação (confirmada pela frequência das espécies à diferentes distâncias da borda) é que certas espécies ocorrem próximo a borda, outras ocorrem distantes da borda, e aos 35 m da borda, ambos conjuntos de espécies ocorrem conjuntamente, levando ao aumento de diversidade (RODRIGUES, 1998, p.3).

Quadro 3- Fórmulas das métricas utilizadas para avaliar os fragmentos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

Fórmula	Variáveis
NUMP = $\sum ni$	Número total de manchas ou fragmentos dentro de uma mesma classe ou paisagem; ni = Quantidade de manchas de uma classe se NUMP for a nível de paisagem ou uma mancha ou fragmento se NUMP for a nível de classe. Este serve para encontrar o número de manchas de FFVN
MPS = $\frac{\sum_{j=1}^n aij}{ni}$	Serve para encontrar o tamanho médio dos fragmentos em hectare; aij = área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos; ni = número de fragmentos da classe;
PSSD = $\frac{\left \sum_{j=1}^n aij - \left(\frac{\sum_{j=1}^n aij}{ni} \right) \right ^2}{ni}$	PSSD = Desvio padrão do tamanho médio dos fragmentos; aij= área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos; ni= número de fragmentos da classe. Este índice serve para a variação do tamanho entre as manchas de uma determinada área.
PSCoV = $\frac{PSSD}{MPS} \times 100$	PSSD= Desvio padrão do tamanho dos fragmentos; MPS = Tamanho médio dos fragmentos; Este índice serve para encontrar o desvio padrão do tamanho entre os fragmentos da área de estudo.
TE = $\sum_{i=1}^n ei$ ED = $\frac{TE}{TLA}$	ei = borda (perímetro) da i-ésima mancha. TE = Total de bordas; TLA= Área total da paisagem. Serve para encontrar o perímetro dos fragmentos.
MSI = $\frac{\left \sum_{j=1}^n \frac{0,25pij}{\sqrt{aij}} \right }{ni}$	pij= perímetro do fragmento ij; aij= área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos; e ni = número de fragmentos da classe.Serve para estimar a figura geométrica de um fragmento, assumido a figura ideal como círculo.
AWSI = $\sum_{j=1}^n \left \left(\frac{0,25pij}{\sqrt{aij}} \right) \right \times \left \left(\frac{aij}{\sum_{j=1}^n aij} \right) \right $	Pij = perímetro do fragmento ij; aij = área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos.É o índice da forma média dos fragmentos ponderado pela área de estudo.

Fonte: PIROVANI (2010).

3 Resultados e discussões

3.1 Análise dos fragmentos florestais de vegetação nativa (2014) da área de estudo

De acordo com o antigo Código Florestal - Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 - em relação à Reserva Legal (RL), as propriedades rurais que não possuíam 20% dessa área com cobertura vegetal nativa deveriam recuperar essas áreas. Na impossibilidade de alocar essas áreas dentro da mesma sub-bacia hidrográfica o órgão ambiental definiria o local para alocação da mesma. Porém, com a aprovação do novo Código Florestal- LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 - os empreendimentos que danificaram o meio ambiente até junho de 2008 ficaram desobrigados de reflorestar e recuperar tais áreas. Isto significou uma perda de área dos habitats de FVN, tendo como agravante a mudança da área da RL, que era de 20%. Agora, esta área pode ser computada com as de preservação permanente das propriedades.

Para Pirovani (2010), a fragmentação é caracterizada pela ruptura de uma unidade contínua, em que os elementos menores apresentam dinâmica e processos ecológicos distintos da unidade original. Cada mancha se constitui como ecótopo da paisagem (habitat de um ecossistema). Para estudar a dinâmica e o funcionamento desses fragmentos, se destaca a Ecologia de paisagens.

Thus, landscape ecology is simply the ecology of landscapes, and similarly, regional ecology is the ecology of regions. The spatial elements within landscapes have been called landscape elements, local ecosystems, ecotopes, biotopes, biogeocoenoses, geocomplexes, sites [...] This land mosaic or ecosomatic paradigm has not only attracted scientists who see rich research opportunities, but also galvanized linkages among disciplines directly solving land use issues.(FORMAN, 2006, p.20)

Nesta paisagem fragmentada, algumas manchas são melhores do que as outras, em função do potencial para manutenção da biodiversidade silvestre. Esta análise pode ser inferida pela probabilidade de sobrevivência e reprodução das populações (ou indivíduos) que as ocupam, isto é, da sua aptidão darwiniana. Na paisagem, considera-se que algumas manchas podem ser boas, favoráveis, e outras ruins, menos favoráveis e ainda, que entre elas alguns habitats são completamente desfavoráveis e negativos. Dessa forma, o risco para um dado indivíduo será

proporcional ao tempo que este permanecer em cada um dos tipos de habitat para suas atividades vitais (alimentação, reprodução, excreção etc.).

Ainda sobre a conservação da biodiversidade dos fragmentos de vegetação nativa (FVN), sabe-se que esses habitats estão diretamente ligados com os padrões e fluxos dos processos abióticos. A conservação destas áreas implica, inclusive, na manutenção do regime hidrológico, ciclos de reciclagem dos minerais, balanço da radiação, padrão de ventos da atmosfera e dos movimentos de solos (FORMAN, 2006, p. 48).

O mapeamento dos FVN da BHRA (**Mapa 2**) indicou 149.521,00 *patches* neste recorte espacial, que juntos somavam 245.200,46 ha de remanescentes florestais (Cerradão e Matas) e remanescentes savânicos (Cerrado sentido restrito) do bioma Cerrado em 2014. Os dados que inferem sobre a qualidade dos habitats da BHRA, para este período, estão organizados na **Tabela 1**.

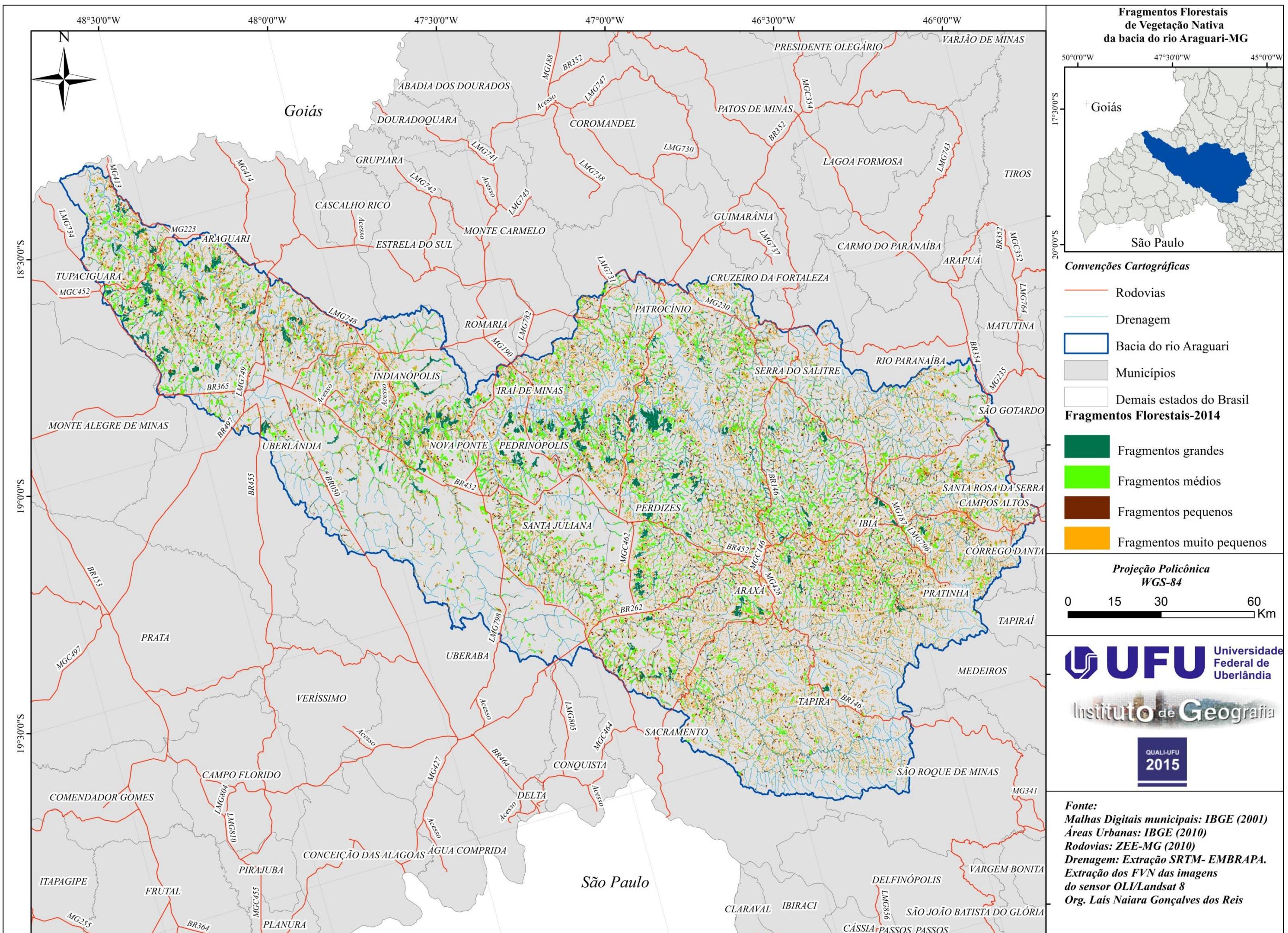
Tabela 1- Índices das métricas em Ecologia de paisagens calculados para os fragmentos de vegetação nativa na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari em Minas Gerais.

Métricas dos FVN						
Grupo	Índices	Unidades	MP (<5ha)	P (5-10 ha)	M (10-100ha)	G (>100 ha)
Área	CA	Hectares	77.301,59	31.296,20	107.796,61	28.806,06
Densid. e tamanho	MPS	Hectares	0,54	9,07	31,24	225,05
	NUMP	Adimensional	142.492,00	3.451,00	3.450,00	128,00
	PSSD	Hectares	1,01	1,84	21,74	193,36
	PSCoV	Porcentagem	186,96	20,29	69,58	85,92
Borda	TE	Metros	36.235.854,31	6.993.202,75	17.071.093,86	3.099.044,66
	ED	m/ha	147,78	28,52	69,62	12,64
Forma	MSI	Adimensional	1,20	1,90	2,49	4,56
	AWMSI	Adimensional	1,43	1,92	2,76	4,98

Legenda: CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), MPS= Tamanho médio das manchas (hectares), PSCoV= Coeficiente de Variação do Tamanho médio das manchas (porcentagem), PSSD= Desvio Padrão do tamanho das manchas, TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio, AWMSI=Índice de Forma média de Área Ponderada, MPFD=Dimensão Fractal da Forma das Manchas

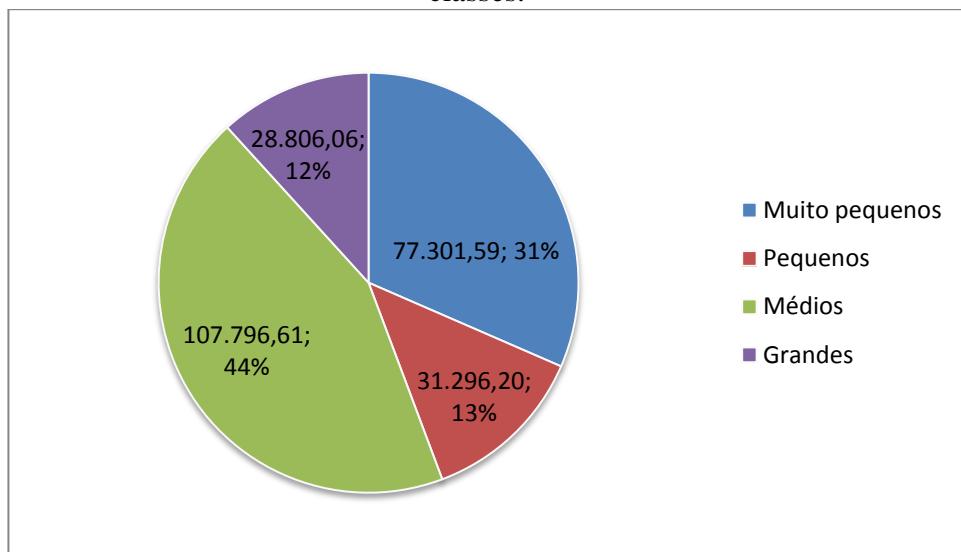
Fonte: Reis (2015).

Mapa 2- Mapeamento da cobertura florestal nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



Do total dos FVN mapeados, na BHRA, a maior parte (142.492 unidades) está inserida na classe de fragmentos muito pequenos (menor que cinco hectares). Juntos representam uma área de 77.301,59 hectares de vegetação nativa fragmentada. Os fragmentos pequenos (3.451 unidades) totalizam 31.296,20 hectares. Os fragmentos médios somam 107.796,61 ha e os grandes, apenas 28.806 ha, representados por 128 unidades. O tamanho médio dos fragmentos da bacia é de 61,30 hectares. Conclui-se que a vegetação nativa da BHRA está muito fragmentada e as manchas grandes totalizam somente 12% de 245.200,46 hectares (**Gráfico 1**).

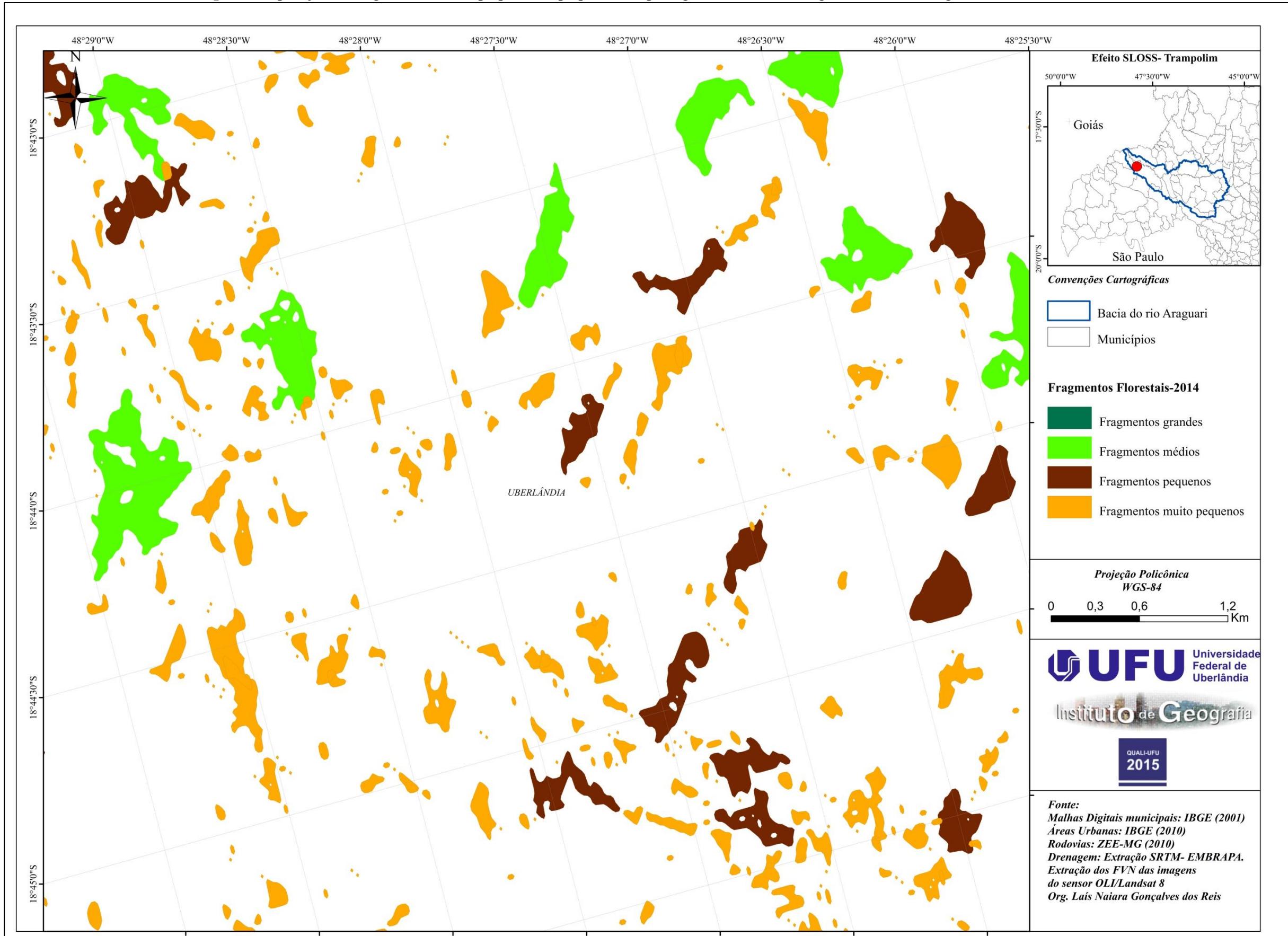
Gráfico 1- Distribuição da área de fragmentos florestais de vegetação nativa por classes.



Fonte: Reis (2015)

Na BHRA, a maior parte das unidades de *patches* está inserida nas categorias dos fragmentos muito pequenos e pequenos. Estes são sensíveis ao processo de alteração da paisagem pela atividade humana. Sabe-se que o ideal para a conservação da biodiversidade é a manutenção de fragmentos com áreas maiores, em função da quantidade e qualidade de recursos para a biota, porém o efeito SLOSS (*several small patches*), também apresenta funcionalidade na paisagem. Essas áreas são consideradas como abrigo temporário para a fauna (fenômeno trampolim) e evitam o isolamento geográfico das mesmas (FORMAN, 2006, pp. 45-46). O **Mapa 3** mostra a espacialização de ilhas muito pequenas dispersas pela matriz, servindo de *steps stones* para a dispersão da fauna. A distância mínima dessas estruturas menores depende de qual espécie é objetivada pela Gestão da Conservação da Conectividade (**Capítulo 3**).

Mapa 3- Disposição de fragmentos muito pequenos e pequenos na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



A manutenção destes fragmentos menores espalhados pelo mosaico da paisagem é um fato importante, para diminuir o grau de ameaça ao isolamento das espécies. Pois, esse se configura como ameaça de extinção destas em decorrência da competição por recursos e decréscimo da taxa de recolonização em um habitat fragmentado. Para verificar o risco de isolamento geográfico das espécies emprega-se a teoria da percolação (**Capítulo 3**) que tem como regra básica a premissa que um organismo precisa encontrar pelo menos um recurso ao se movimentar pela matriz (FARINA, 2006, p. 71).

As métricas referentes à borda dos fragmentos são importantes para as tomadas de decisão, no que tange às estratégias para diminuir a influencia das externalidades provenientes da matriz (espécies exóticas, temperatura e umidades diferentes, etc.). A densidade das bordas do fragmento (ED) é a relação do perímetro de bordas com a área do fragmento - metros/hectares que revela a relação entre a forma e o tamanho do fragmento. Indicando que os fragmentos grandes da BHRA apresentaram potencialidade maior para conservação da biodiversidade, uma vez que a ED é de 12,64 m/ha. A densidade das bordas é inversamente proporcional à área de cada classe de fragmento (JUVANHOL et al., 2001, p. 359).

As métricas de borda (TE) revelaram que a somatória dos perímetros de todos os fragmentos muito pequenos apresentou o maior valor de borda de todas as categorias (muito pequeno, pequeno, médio e grande), com o montante de 36.235.854,31 metros, isto ocorre em razão da quantidade de unidades dessa categoria na bacia, 142.492,00 unidades. Os fragmentos médios da BHRA apresentaram uma área de borda cerca de 240 % maior do que a área de borda dos fragmentos pequenos, 6.993.202,75 metros.

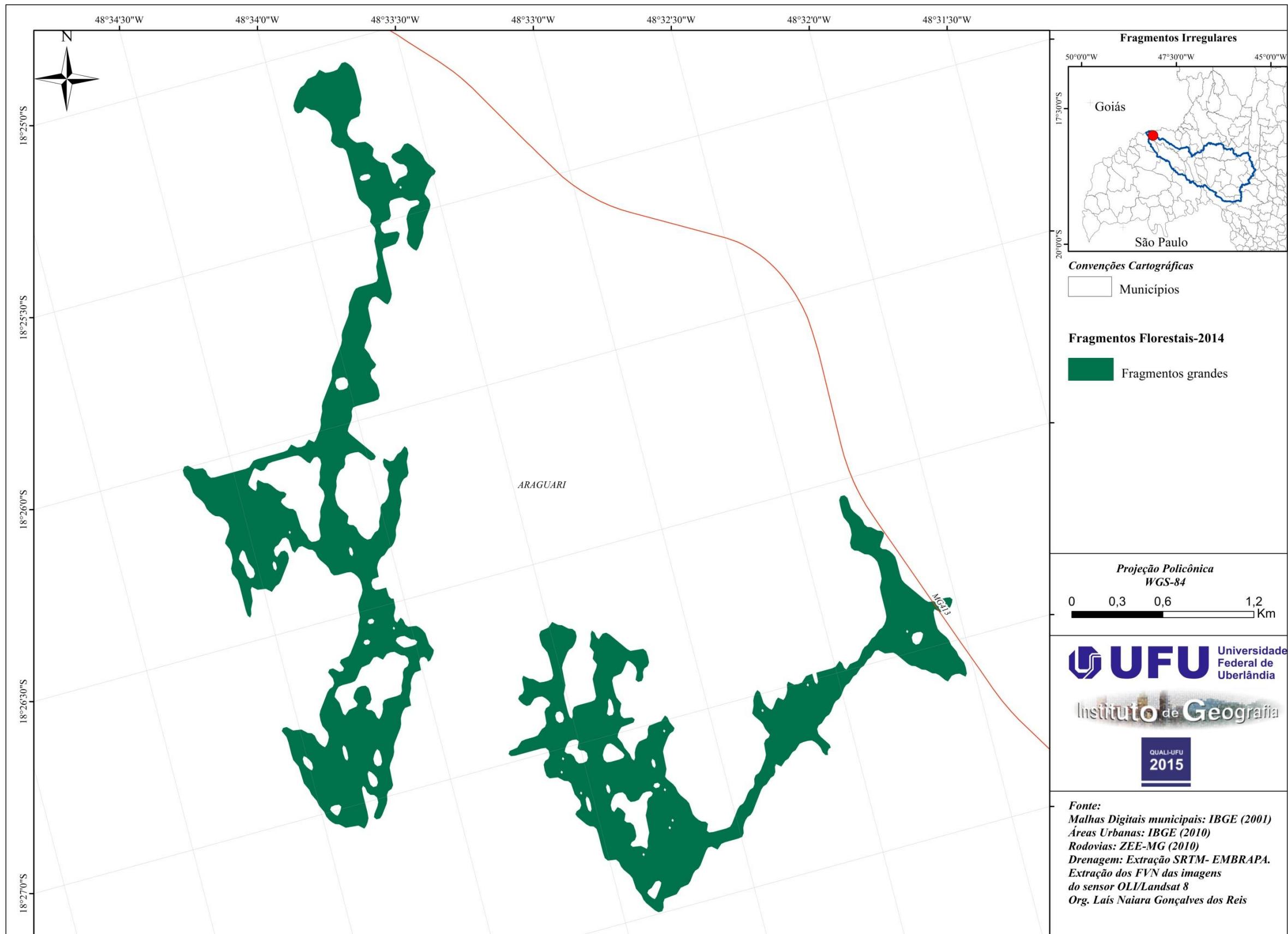
Os dados da **Tabela 1** evidenciaram que os fragmentos estão dispersos na paisagem sem planejamento adequado quanto à forma, apresentando formas irregulares, essas se distanciam da figura ideal, o círculo. Ou seja, é necessário propor um plano com estratégias para incremento da conservação dos habitats para essa bacia em que os *patches* assumam formatos mais circulares, sem perda da área atual. O indicador que avalia a forma do fragmento (MSI) indica a geometria dos fragmentos que podem ser classificadas em regulares ou irregulares.

Os fragmentos muito pequenos e pequenos da BHRA apresentaram formas mais regulares (1,2 e 1,9) diferentemente dos fragmentos médios e grandes (2,49 e 4,56). Isso indica que o processo de desmatamento foi desordenado sem sequer orientação adequada dos órgãos competentes IEF e IBAMA, uma vez que estes órgãos não possuem diretrizes para o processo de desmatamento no que diz respeito à forma ideal para os fragmentos, preocupadas em preservar os fluxos ecológicos dos mesmos.

A preocupação com a forma dos *patches* é fundamental para garantir a qualidade dos habitats, e, por conseguinte a conservação da biodiversidade. O que propicia melhor qualidade nestas áreas da bacia é a variável tamanho, uma vez que, no Brasil não existem normas ambientais preocupadas com a forma e determinação locacional eficiente para as reservas de vegetação nativa.

O índice médio ponderado pela área (AWMSI) indica que os fragmentos pequenos são os mais regulares da BHRA. O **Mapa 4** mostra a irregularidade geométrica de dois fragmentos florestais grandes presente na área de estudo.

Mapa 4- Exemplo de formato irregular dos fragmentos de vegetação nativa na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



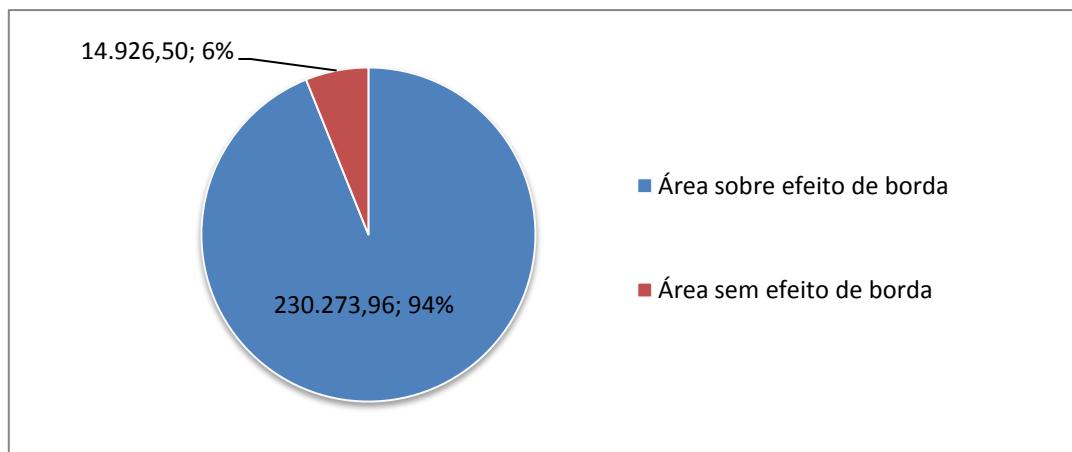
O tamanho do fragmento é importante para a conservação da biodiversidade, porém se o formato deste é irregular significa que a sua borda é maior e, portanto, há maior área sofrendo influência do efeito de borda. Ao se excluir 100 metros da borda da unidade do **Mapa 4** nota-se que restara pouca área central, sem influencia deste efeito (**Mapa 5**). A forma desses fragmentos mostra que além de possuir formato irregular, apresentam feições alongadas e os mesmos estão perfurados (peforados). Isso é causado pela abertura de clareiras no interior dos fragmentos.

Ainda sobre o *edge effect*, segundo Farina (2006), menor é o número de espécies de aves próximas às bordas dos fragmentos. Não existem pesquisas substanciais para mensurar os impactos do efeito de borda para todo o bioma Cerrado. Sabe-se que este fenômeno impacta negativamente a qualidade do habitat devido às mudanças microclimáticas em suas bordas, alterando, assim, a riqueza de diversidade biológica dos *patches*

Sun and Wind are overriding controls on edge microclimate. Both desiccate leaves and increase evapotranspiration (the evaporation of water molecules from plant, soil and other surfaces). Therefore, sun and wind determine which plants survive and trive in an edge, as well as having a major impact on soil, insects, and other animals in the edge. These ecological effects increase with a greater difference in vegetation height between the adjacent ecosystems. (FORMAN, 2006, p. 87)

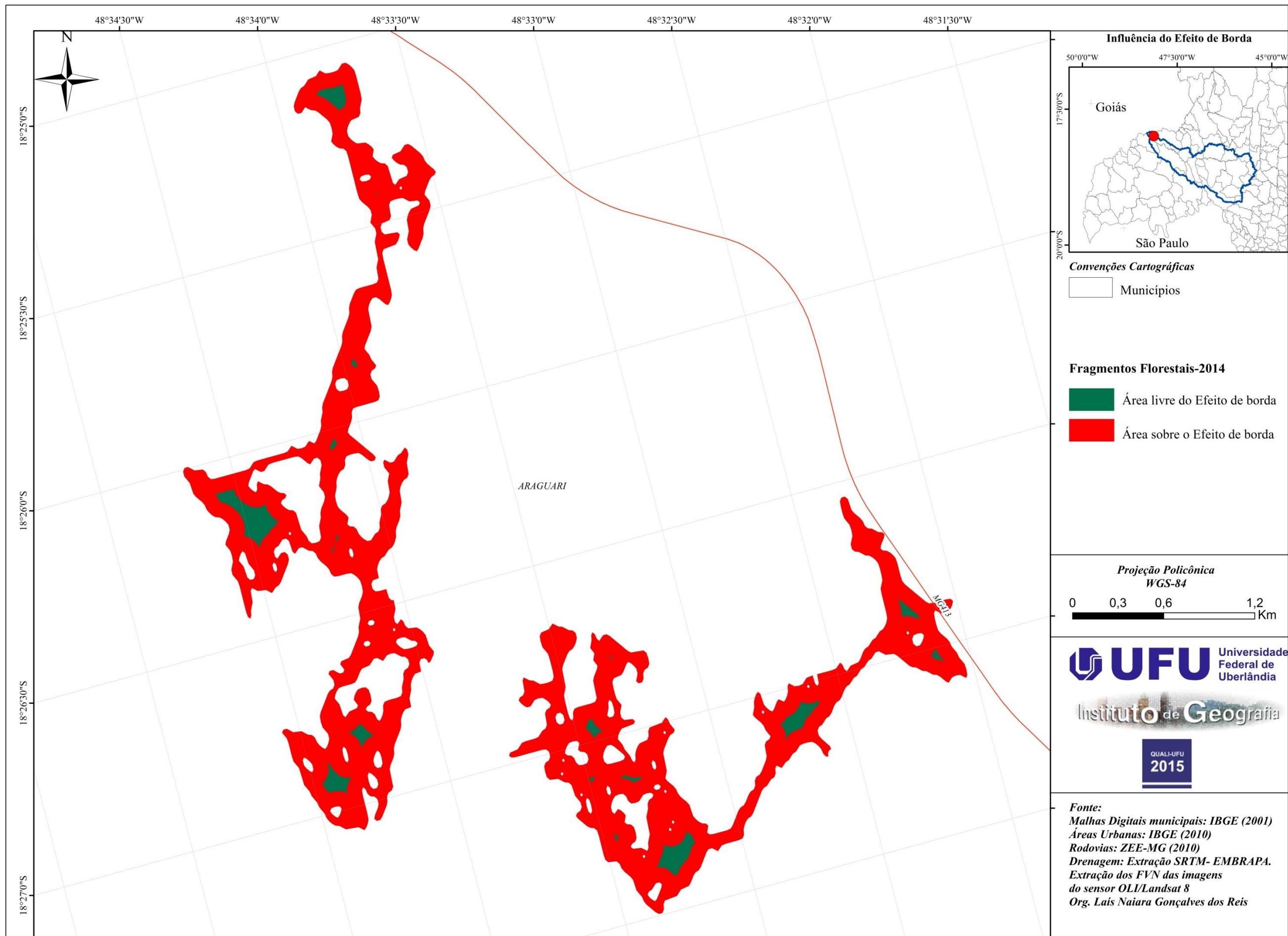
Depois de excluída a área de borda (100 metros) do mapeamento, os FVN da BHRA apresentaram 14.926,50 hectares de área central, isto é, apenas 6% do total de fragmentos podem estar livres de efeito de borda, conforme indica o **Gráfico 2**.

Gráfico 2- Relação entre *area core* e área com efeito de borda dos fragmentos de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.

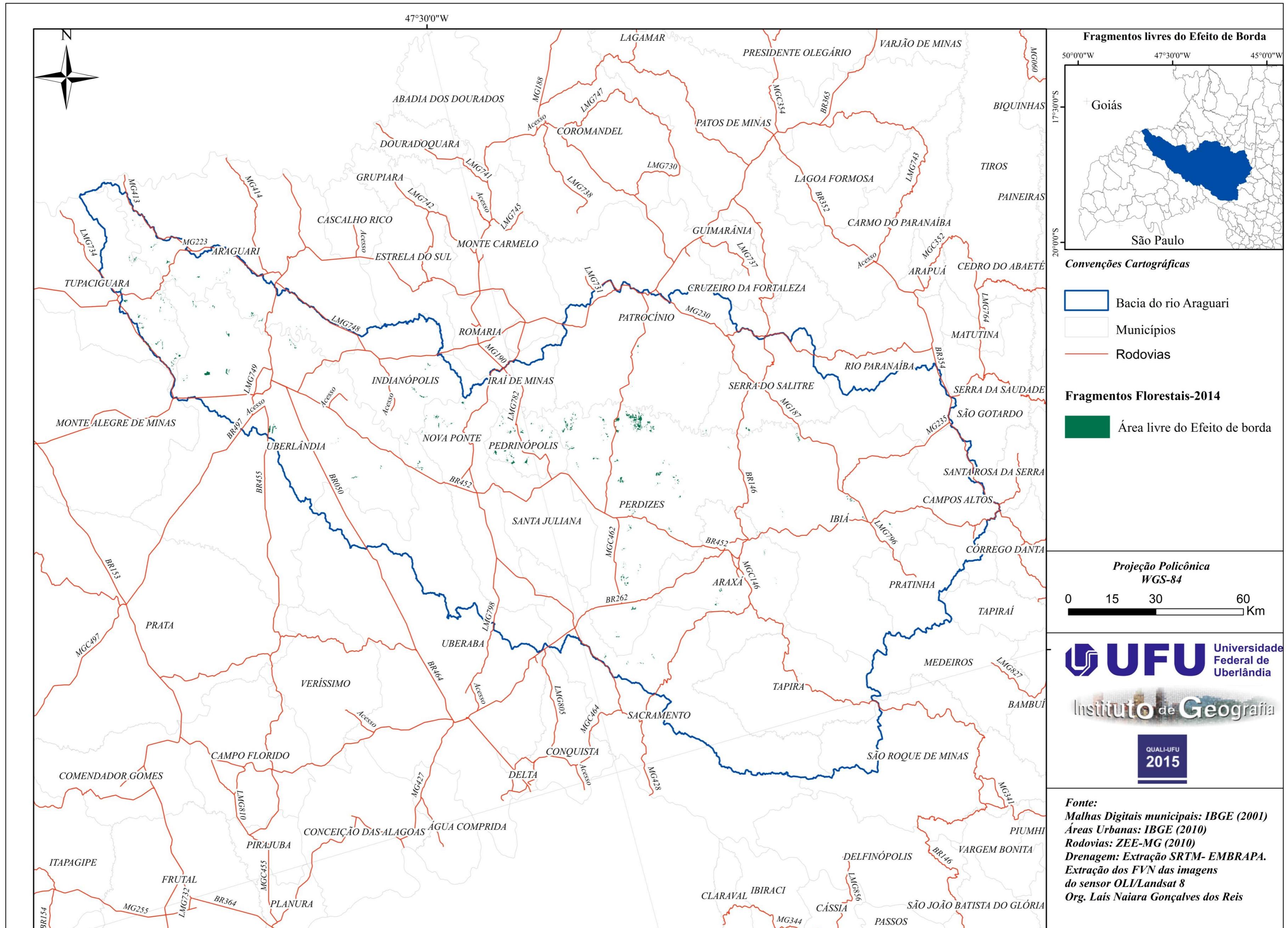


Fonte: Reis (2015).

Mapa 5- Área central dos fragmentos, após a exclusão da faixa de 100 metros do limite da borda para o interior das unidades.



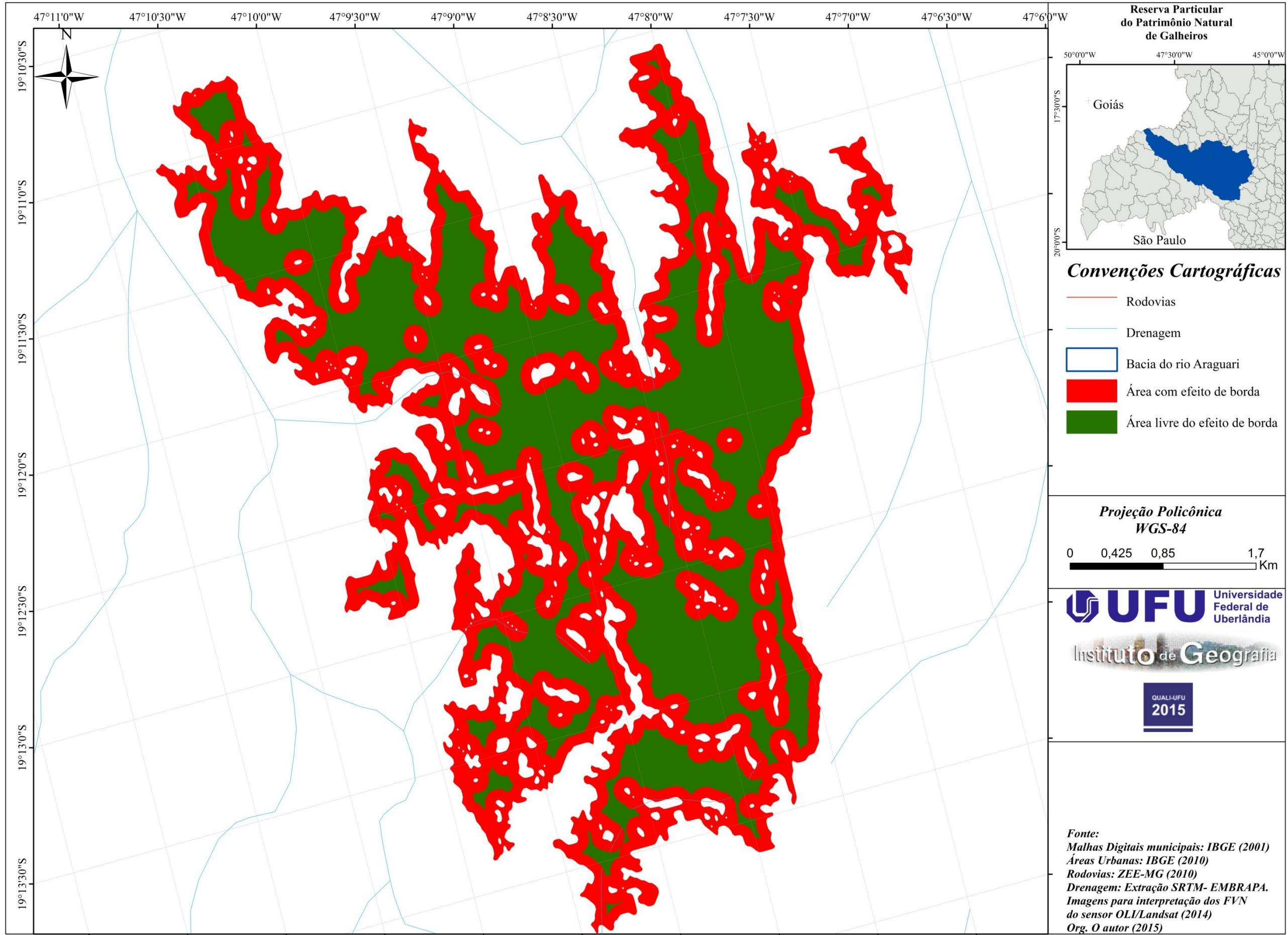
Mapa 6- Áreas centrais (*core areas*) dos fragmentos florestais de vegetação nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



Forman (2006, p. 81) afirmou que o efeito de borda dos FVN em contato com a agricultura são áreas fronteiriças para as pragas e produtos agrícolas. Os processos de erosão do solo também são mais ativos, a entrada de luz nas bordas dos FVN altera a composição florística e faunística deste habitat, etc. E neste cenário o Homem atua como espécie importante e agravante desse fenômeno, pois é responsável por aumentar as bordas dos fragmentos, uma vez que ele é o arquiteto deste mosaico de paisagens.

A RPPN de Galheiros é o maior fragmento florestal nativo da BHRA. Ela está localizada no município de Perdizes. A análise métrica deste fragmento indicou que ele apresenta 2.212,41 ha de fitofisionomia florestal, o MSI (Índice de forma médio) de 7,81, isto é, figura geométrica irregular, bem distante de um círculo, portanto, a área de borda é maior do que deveria (130.371,66 metros), se o mesmo tivesse formato circular. A densidade da borda é de 4,52 (metros/hectare). O **Mapa 7** mostra a área central desse habitat ao excluir se 100 metros de borda, restando apenas 918,2817 hectares de área livre do efeito de borda, isto é, 60% do total da UC pode estar sobre influência do fenômeno de efeito de borda.

Mapa 7- Área central (área core) do fragmento florestal de vegetação nativa onde se localiza a RPPN de Galheiros, Perdizes-MG.



No bioma Cerrado, o efeito de borda nos habitats florestais evidencia as mudanças quanto à composição florística, em decorrênci do aumento da taxa da mortalidade dos indivíduos, aumento de cipós e invasão de espécies exóticas, como a *brachiaria sp.* (LAURANCE et al, 2001). A preocupação com a forma dos fragmentos florestais de vegetação nativa é urgente e deve ser objeto de análise para o planejamento ambiental de uma determinada região.

4 Considerações Finais

A BHRA apresentava 142.492,00 unidades de fragmentos muito pequenos (menor que cinco hectares), 3.451,00 unidades de fragmentos pequenos (entre 5 e 10 hectares), 3.450 unidades de fragmentos médios (entre 10 e 100 hectares) e 128 unidades de fragmentos grandes (maior que 100 hectares).

Os resultados desta pesquisa forneceram dados quantitativos sobre os fragmentos florestais de vegetação nativa que permitem inferir sobre a qualidade dos habitats. Para o levantamento quantitativo dos fragmentos e suas formas utilizou-se dos procedimentos técnicos do Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, porém não foi possível mapear as áreas de preservação permanente que são consideradas corredores ecológicos lineares devido a baixa resolução espacial das imagens do sensor OLI/Landsat 8. Portanto, sugere-se que seja feito um mapeamento com imagens de melhor resolução espacial.

Na BHRA, a maioria dos fragmentos dos remanescentes de Cerrado, existentes, já sofreram alteração antrópica, a paisagem é um ambiente herdado, modificado pelo Homem. Apenas 6% do total de áreas de fragmento florestal de vegetação nativa deste bioma, na área de estudo, podem não apresentar interferência do efeito de borda, sendo que os fragmentos médios e grandes apresentam formas irregulares, portanto, com bordas extensas. Existem muitos fragmentos pequenos espalhados pela matriz dessa bacia, que são importantes para facilitar o fluxo gênico evitando o isolamento geográfico. Notou-se também a baixa expressividade dos fragmentos maiores.

A Ecologia de Paisagens reúne técnicas e métodos próprios para investigação de padrões e qualidade dos habitats que auxiliam no planejamento ambiental. Quase todo o

referencial sobre esse ramo do conhecimento é proveniente da literatura estrangeira. Ainda é um ramo pouco explorado no Brasil. Dessa forma, as teorias não foram pensadas para os biomas neotropicais. Surge a necessidade de estabelecer uma linha de pesquisa para testar esses modelos para a realidade do Cerrado, com experimentos em campo e monitoramento da fauna e floral e do efeito de borda sobre os FVN.

Referências

- DALE, Mark R. T.; FORTIN, Marie-Josée. **SAPATIAL ANALYSIS**: A guide for ecologists. 2^a ed. Cambridge. United Kingdom, 2014. p.438
- FARINA, Almo. **Principles and methods in landscape ecology**: toward a science of landscape. Holanda: Kluwer Academic Pub, 2006.
- FORMAN, M.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: Wiley, 1986. 619p.
- FORMAN, Richard, T. T. **Land Mosaicas**: The ecology of landscapes and regions. Cambridgge University Press. 9^a ed. 2006. p. 1-604.
- FORTIN, M. J; DALE, M. R. T. **Spatial Analysis**: A guide for ecologists. 2^a ed. Universtity of Toronto, 2014. p. 1-438.
- LAURANCE, W. F; YENSEN, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**. 1991 ;55:77-92.
- JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**. London, Prentice Hall, 1996. P. 316
- JUVANHOL, Ronie Silva , Fiedler, Nilton Cesar , Alexandre Rosa dos Santos , Daiani Bernardo Pirovani , Franciane Lousada Rubini de Oliveira Louzada , Henrique Machado Dias1 , André Luiz Campos Tebaldi. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. 2011. **Floresta e Ambiente**; v.18. n.4. pp.-353-364. Disponível em:<<http://www.mundogeomatica.com.br/Publicacoes/Artigo27.pdf>> Acesso em: out. 2015.
- McGarigal, K. et al. **FRAGSTATS**: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002. Disponível em :<<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em 23 ago. 2011. Acesso em jan. 2015.
- METZGER, Jean. Paul. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas. In: **Simpósio de Restauração de Ecossistemas Degradados com Espécies Nativas**. São Paulo: Edusp, 2000.

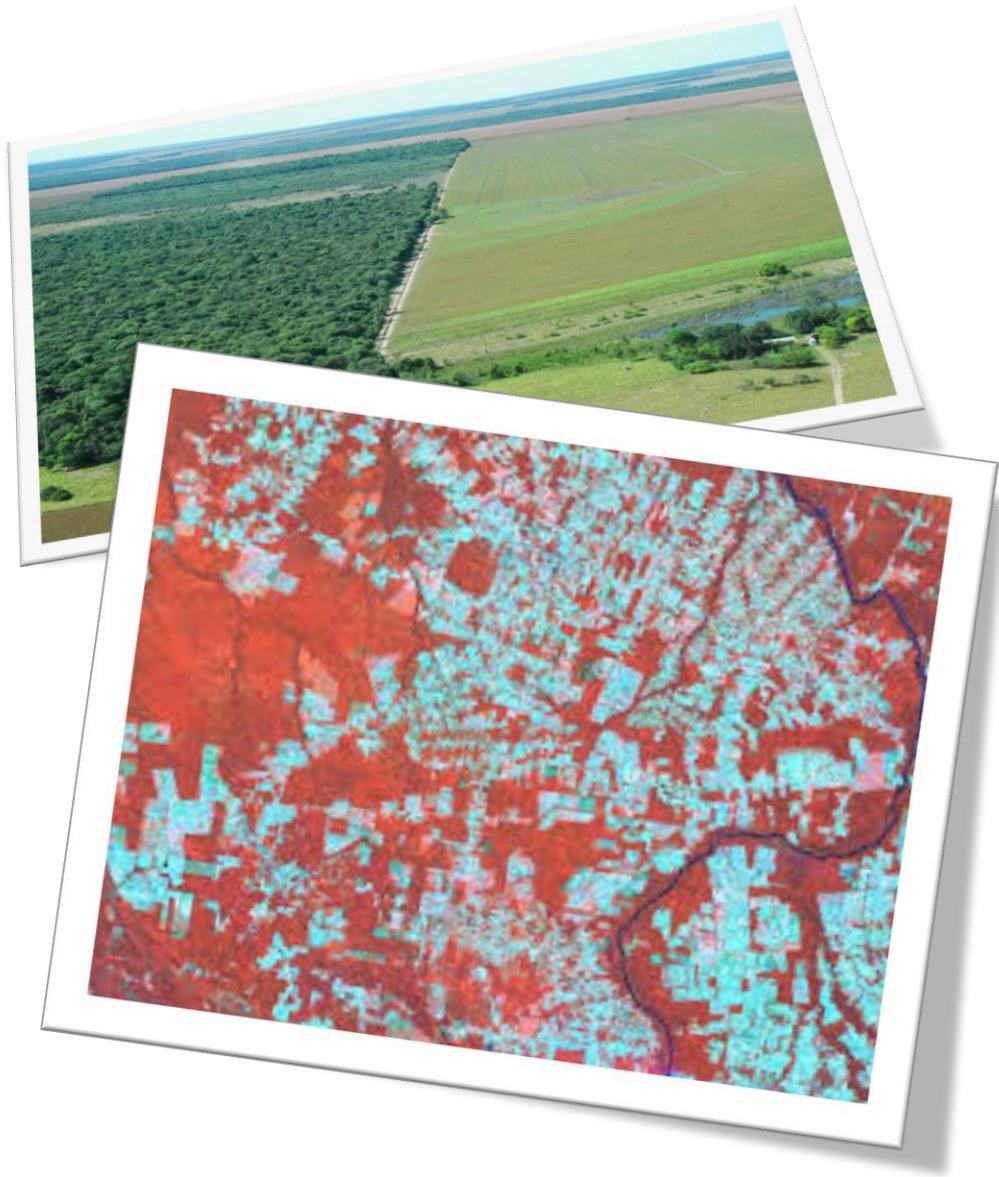
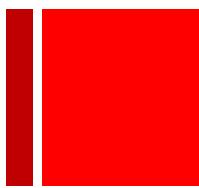
_____. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.71, n.3-I, p.445-463, 1999.

PIROVANI, Daiani Bernardo. Uso de geotecnologias para estudo da fragmentação florestal com base em princípios de Ecologia da Paisagem. **IN: Geotecnologias aplicadas aos recursos naturais**. Org. SANTOS, A. S, et al. - Alegre, ES: CAUFES, 2012. Disponível em:< http://www.mundogeomatica.com.br/Livro_Geoteconologia_Recursos_Florestal.htm> Acesso em: mai. 2015.

_____. **Fragmentação, florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias, 2010.

RODRIGUES, Efraim. Efeito de borda em fragmentos de florestas. **Opinião**. Londrina: Cadernos da Biodiversidade. Disponível em :< http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Publicacoes/Cadernos%20da%20Biodiversidade/Caderinos_da_Biodiversidade_V1n2/CADERNOS_2_VERS.pdf> Acesso em: out. 2015.

VOLOTÃO, C.F.S. **Trabalho de análise espacial Métricas do Fragstats**. Dissertação de Mestrado. São Jose dos Campos: INPE, 1998.



A avaliação da percolação dos habitats e a permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG

RESUMO

Ecologia de paisagens: avaliação da percolação dos habitats e permeabilidade da matriz da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG

A localização dos fragmentos funcionais orienta os estudos biológicos e os de planejamento ambiental ligado à conectividade dos habitats. A análise espacial das manchas dos fragmentos correlacionada com a movimentação potencial das espécies silvestres se configura como um padrão e pode ser analisado por meio do modelo de representação deste cenário. O modelo utilizado para representar essa correlação foi o grafo matemático. Os resultados deste modelo são importantes para identificar os fragmentos de vegetação nativa que são funcionais em relação ao efeito resgate (*rescue effect*). O objetivo deste capítulo é avaliar o grau de permeabilidade e percolação para a bacia hidrográfica da bacia do rio Araguari, utilizando como limiar crítico de dispersão, 3,6 km e que tenha como habitat os fragmentos de vegetação nativa. Para tal, os fragmentos identificados foram convertidos em pontos possibilitando a triangulação para identificar a distância euclidiana entre os pontos. Para verificar a permeabilidade da matriz foi feito o mapeamento do uso da terra com as seguintes classes: pastagens, agricultura, silvicultura, áreas urbanas, fragmentos florestais, áreas de campo, mineração e represas. Concluiu-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari apresenta um potencial relativamente bom para o estudo de metapopulações para indivíduos com poder de dispersão de até 3,6 km e que tenham como habitat os fragmentos florestais de vegetação nativa, porém a matriz dessa paisagem não apresenta boa percolação.

Palavras-chave: Ecologia de paisagens. Percolação. Permeabilidade da matriz. Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

ABSTRACT

Landscape Ecology: habitats evaluation of percolation and permeability of the matrix of the river basin Araguari

The location of the functional fragments guides biological studies and environmental planning linked to the connectivity of habitats. The spatial analysis of the staining of the fragments correlated with the potential movement of the wild species is configured as a standard and can be analyzed by the model representation of this scenario. The model used to represent this correlation was the mathematical graph. The results of this model are important to identify fragments of native vegetation that are functional in relation to the rescue effect (*rescue effect*). The aim of this chapter is to evaluate the degree of permeability and percolation to the watershed of the Araguari River basin, using as a critical threshold dispersion, 3.6 km and has a habitat nativa. Para the vegetation fragments such, the identified fragments They were converted into points enabling triangulation to pinpoint the Euclidean distance between the points. To check the permeability of the matrix was made the mapping of land use with the following classes: pasture, agriculture, forestry, urban areas, forest fragments, field, mining and dams. It was concluded that the Hydrographic Basin of Araguari River has a relatively good potential for metapopulation study for individuals with power dispersion up to 3.6 km and whose habitat forest fragments of native vegetation, but the matrix of this landscape not It shows good percolation.

Key-words: Landscape ecology , percolation, permeability matrix, Araguari river basin.

1 Introdução

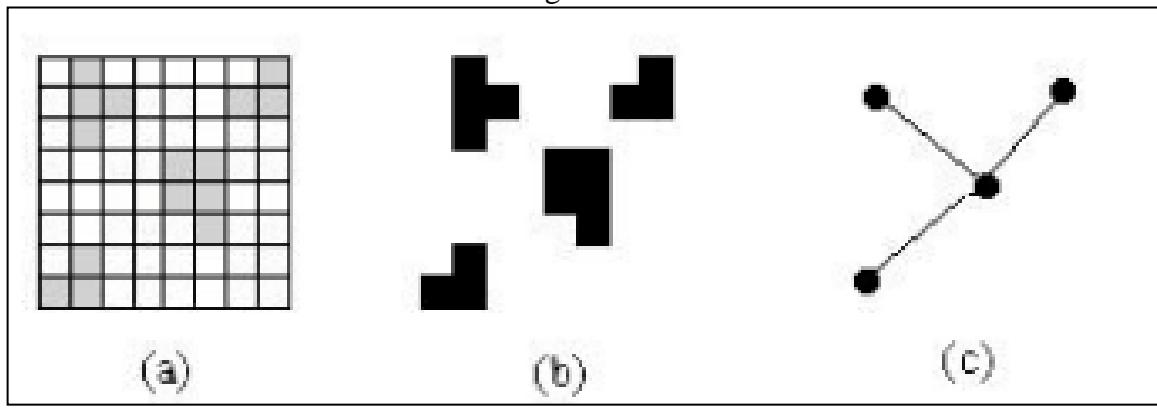
O estudo da distribuição geográfica das espécies (*range*) apresenta dificuldades no que diz respeito aos padrões de mecanismos evolutivos destas por escalas distintas, ou seja, na medida em que a escala de estudo diminui, aumenta a generalização de determinados processos ecológicos. Porém, por meio do estudo de extensas áreas é possível fazer algumas inferências. Sabe-se que a maior diversidade ecológica encontra-se nas regiões tropicais, em função do contexto macroecológico (relação entre o clima e abundância de recursos).

A discussão sobre os mecanismos envolvidos na origem e manutenção desses padrões centra-se no balanço entre processos atuais (ligados ao impacto dos fatores ambientais atuais, designadamente o clima, sobre a distribuição das espécies) e históricos (fatores históricos ligados aos padrões geográficos de especiação e extinção e inércia filogenética [...]) (ALMEIDA, 2011, p.152-153).

Em ecologia de paisagens, o padrão espacial é compreendido por meio da determinação de níveis da paisagem, isto é, a distinção da heterogeneidade do ecossistema que é permitida por meio do detalhamento das informações possibilitadas pelo aumento da escala espacial. Urban (2002) disse que alguns padrões espaciais são determinados por condicionantes de níveis imediatamente superiores. “A ecologia de paisagens considera que processos geram padrões e padrões controlam os processos ecológicos em diferentes escalas” (TURNER, 1989 apud PAESE, 2002).

Desse modo, a análise espacial das manchas dos fragmentos, espalhadas por uma paisagem, correlacionada com a movimentação potencial das espécies silvestres, se configura como um padrão e pode ser analisado por meio do modelo de representação deste cenário conhecido como grafo matemático. “Grafos são constituídos de um conjunto finito de nós, também chamados de vértices e um conjunto finito de arestas também chamadas de linhas, mais uma regra que define quais arestas ligam quais pares de vértices” (BOAVENTURA, 1979 apud PAESE, 2002, s.p). O modelo de grafos deverá ser aplicado para cada área, uma vez que a dinâmica de ordenamento territorial varia pelo espaço e esta produz fragmentos e unidades de matriz distintas. Os vértices são os fragmentos de vegetação nativa (FVN) e as arestas são as distâncias máximas que uma determinada espécie consegue sair de seu habitat fragmentado (limiar crítico), (**Figura 1**).

Figura 1- Extração da informação dos *patches* de uma imagem de satélite e elaboração de um grafo.



(a) Formato matricial (raster), (b) Formato vetorial (*shape*) e (c) grafo

Fonte: PAESE (2002)

A amplitude de conexão entre os *patches* varia conforme a espécie de interesse, pois, espécies diferentes podem apresentar dispersão e hábito alimentar distintos. De acordo com Urban (2002), este tipo de modelo não permite fazer constatações sobre a biologia da população, porém, é importante para identificar as manchas mais importantes para determinadas espécies. A **Figura 2** mostra a funcionalidade dos *patches* e as diferentes formas de interação para espécies que se movimentam por distâncias diferentes.

Figura 2 - Funcionalidade dos *patches* conforme varia a distância de locomoção para espécies distintas.

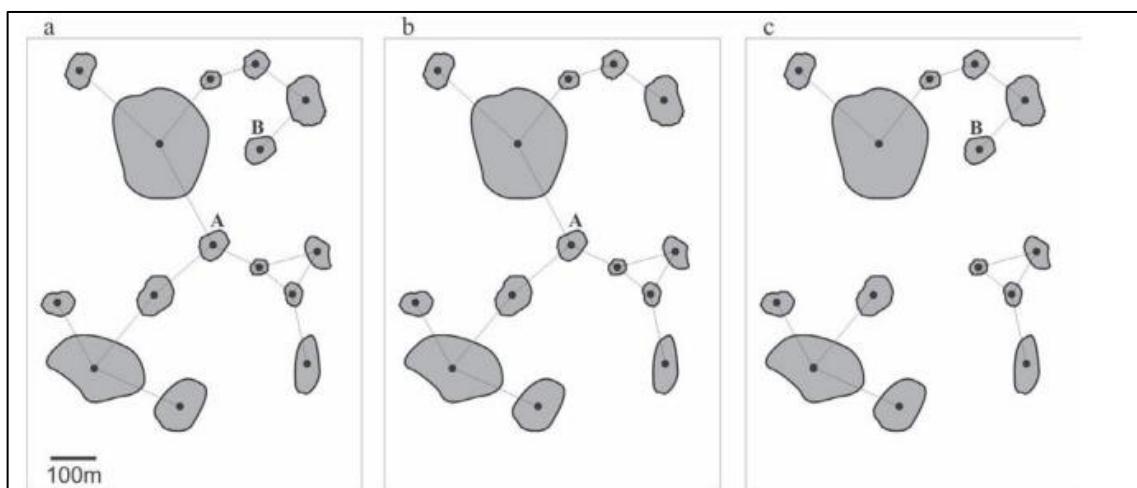


Figura 2. Conectividade funcional de uma paisagem para uma espécie com capacidade de dispersão entre fragmentos de 100m. a) Conectividade funcional da paisagem sem alterações b) Conectividade funcional se o fragmento B fosse removido, a paisagem se mantém com um único grafo c) Conectividade funcional se o fragmento A fosse removido, a conectividade funcional é menor, aparecendo agora três subgrafos. Ainda que apresentam a mesma área, o fragmento A é mais importante para a conectividade funcional da paisagem que o fragmento B.

Fonte: FORERO e VIEIRA, 2007, p. 496.

A localização dos fragmentos funcionais orienta os estudos biológicos e os de planejamento ambiental ligado à conectividade dos habitats (*Connectivity Conservation Management*). (WORBOYS et al., 2010). Sobre o uso dos grafos em Ecologia de paisagens:

[...] o tornam especialmente útil para o estudo da conectividade da paisagem: 1. Enfatiza a configura espacial das unidades da paisagem, 2. Enfatiza as interações e fluxos entre as mesmas, 3. Permite relacionar a configuração espacial das unidades da paisagem e os fluxos ou interações entre elas, em paisagens e escalas diferentes. (PAESE, 2002, sp.)

Em ecologia de paisagens, o estudo e a localização das metapopulações (Lewins, 1970) ou teoria da biogeografia insular (**explicada no capítulo 1**) é importante para identificar os Fragmentos de Vegetação Nativa (FVN) que são funcionais em relação ao efeito resgate (*rescue effect*). Este efeito foi diagnosticado por Shafer (1990) que disse que o mesmo refere-se a capacidade (probabilística) das ilhas de *patches* serem recolonizadas por espécies de habitats externos.

Dessa forma, é fundamental viabilizar estruturas na paisagem que incrementem a conectividade, para que as manchas caracterizadas como ameaças de extinção para determinadas espécies possam receber novos indivíduos para aumentar a taxa de colonização deste habitat. Segundo Almeida (2011, p. 160), “[...] mesmo que um dado ambiente adequado para o estabelecimento da espécie no futuro esteja ao alcance de processos dispersão [...] pode não haver mais conectividade entre o ambiente atual e o futuro que permita essa dispersão.” Dessa forma, é preciso assegurar a permanência das estruturas viabilizadas no mosaico de terras (*land mosaics*).

Diante deste contexto, a demanda pelo planejamento pautado na investigação da percolação dos habitats é fundamental para a manutenção da biodiversidade em uma determinada escala regional. Este fator (índice de percolação) em uma bacia hidrográfica está condicionado com os limiares críticos (*critical Thresholds*). Esses são determinados pela dificuldade imposta pela matriz (grau de permeabilidade), isto é, parte-se do pressuposto da distância máxima que uma espécie silvestre consegue se movimentar para além de seu habitat, sofrendo com as intempéries da matriz.

O objetivo deste capítulo é avaliar o grau de permeabilidade e percolação para a BHRA, utilizando como limiar de investigação uma espécie X que apresente 3,6 km de dispersão. Paese (2002) utiliza esse valor de dispersão, em seus estudos, para o macaco Sauá (primata).

1.1 A teoria da percolação

A detecção dos limiares de percolação ou proporções críticas (pc) avalia o limite crítico da conectividade dos *patches* considerando o uso da terra da matriz. O' Neill et al. (1988b) apud Paese (2002) empregaram essa teoria para avaliar a heterogeneidade espacial da paisagem com o objetivo de identificar as áreas probalísticas dos indivíduos conseguirem se movimentar por toda a escala espacial. Neste sentido, Paese (2002) elenca alguns critérios que determinam esta movimentação: “1. A distribuição da espécie é limitada pela distribuição de seu habitat; 2. A espécie tem o comportamento de uma metapopulação e sua distribuição é limitada pela dispersão. 3. Os impactos das atividades humanas são o principal controlador da sua distribuição.”

A identificação dos fragmentos que estão conectados e podem ser acessados por indivíduos formando uma metapopulação indicam padrões em Ecologia de paisagens. A possibilidade de organismos cruzarem determinado tipo de matriz para outro fragmento florestal indica o aspecto funcional dessas áreas que varia de espécie para outra, pois, cada organismo apresenta padrão de dispersão e área de vidas próprios.

Neste sentido, a paisagem apresenta diferentes conectividades para diferentes organismos, em multiplas escalas (NOSS, 1991). Dependendo dos padroes de deslocamento dos organismos, a conectividade estrutura e funcional da paisagem podem ter o mesmo significado. Isso ocorre quando o deslocamento de um organismo é restrito aos tipos de cobertura da terra que correspondem ao seu habitat (TISCENDORF e FAHRIG, 2000) Esta situação constitui a base da maioria das medidas de conectividades baseadas na teoria da percolação (PAESE, 2002, sp.).

A teoria da percolação estuda o comportamento do processo de difusão apresentando um limiar crítico. De acordo com Farina (2006, p. 68), “(...) percolation threshold pc is < 0.5928 (also called critical probability) (Ziff, 1986) or the fluid crosses the lattice connecting every molecule of fluid with the others when p (probability) $>$ to pc.” Nos locais onde o animal pode se movimentar e cruzar a paisagem em sua totalidade, esse percurso recebe um limiar igual ou maior do que o pc.

Neste contexto, alguns questionamentos embasam o campo teórico da investigação em Ecologia de paisagens: Por qual motivo um organismo deixa seu habitat fragmentado e utiliza a matriz como passagem para outro fragmento? Qual é a distância que uma determinada espécie pode atravessar encontrando pelo menos um recurso? Qual é o fator de resistência para os diferentes tipos de matriz? Quais os critérios que fazem com que as

espécies permaneçam ou não em um determinado *patch*? (FORERO-MEDINA e VIEIRA, 2007) Existem algumas pesquisas que mostraram que os animais apresentam a capacidade de perceber (*perceptual range*) um habitat à distância.

A capacidade perceptual de um animal determina a facilidade de localizar fragmentos de habitat, e pelo tanto o tempo de procura numa ‘matriz’ não favorável (Zollner e Lima, 1999). Um animal com estreita capacidade perceptual terá um risco de mortalidade relativamente alto, pois gastará mais tempo procurando um habitat favorável do que um animal com capacidade ampla (FORERO-MEDINA; VIEIRA, 2007, p. 498).

Para inferir sobre a conectividade dos habitats e as suas limitações, o levantamento dos grafos matemáticos pode indicar a possibilidade de áreas de estudo das metapopulações, indicando locais para a investigação empírica dos animais, dessa forma, para conhecer e sistematizar a sua interação com os diferentes usos da matriz.

1.2 O efeito resgate e a permeabilidade da matriz

O efeito resgate (*rescue effect*) serve para evitar a extinção local de espécies. Uma vez, que indivíduos de uma mancha A podem interagir com uma B e C, por exemplo. De acordo com o ICMbio (s.d) o efeito resgate é o “processo mediante o qual a imigração de propágulos resulta em uma redução no risco de extinção para a população em questão.”

O efeito resgate pode aumentar o tamanho das populações nas manchas de habitat remanescentes (Moilanen e Hanski, 1998; Goston e Blackburn, 2000; Reynolds, 2003), diminuindo-se as chances de extinção por efeitos etocásticos¹, mais prováveis de ocorrer em menores populações (Pimm et al., 1998; Moilanen e Hanski, 1998) (MARTINS, 2011, p. 5.) .

Existem poucas pesquisas sobre a movimentação da fauna silvestre pelas áreas da matriz. Para estabelecer limiares precisos de resistência para os diferentes tipos de uso da terra de uma matriz é preciso fazer um levantamento empírico e monitoramento dos animais, por meio do método de captura-marcação-recaptura. Essas pesquisas são importantes para conhecer “[...] as variáveis bióticas ou ambientais que influenciam estes movimentos. As

¹ A variação demográfica resulta da natureza probabilística dos processos de natalidade e mortalidade. Assim, a probabilidade de reproduzir ou morrer de um animal é sempre constante, e esperamos que a proporção atual que reproduzem ou morrem em qualquer intervalo de tempo varia seguindo a distribuição binomial com a média igual a probabilidade do evento (p) e variância $V_p = p * (1 - p) / N$. Fonte: Ecobio tarefas. Acessado in: <<http://ecobiotarefas.tripod.com/id9.html>> .

distâncias máximas de deslocamento entre fragmentos usando diferentes tipos de matriz, também não são conhecidas.” (FORERO-MEDINA, 2007, p. 498).

Dependendo da estrutura desta matriz (agricultura, pastagens, campos, áreas urbanas, etc.), a conectividade dos fragmentos pode diminuir e pode aumentar a taxa de mortalidade durante a dispersão. Segundo Taylor et al. (1993) apud Langone (2007, p. 26), usos semelhantes aos habitats podem ser mais acessíveis para a fauna silvestre, “[...] remanescentes florestais que possuem campos ou banhados como matrizes adjacentes tendem a sofrer maiores alterações do que fragmentos com matrizes representadas por plantações de Pinos ou Eucalyptus.” (LANGONE, 2007, p. 26)

A matriz dos fragmentos deve ser entendida com um filtro seletivo com permeabilidade diferente para cada espécie (Gascon et al. 1999) e a capacidade de tolerar as áreas do entorno dos remanescentes é crucial para a manutenção das populações de espécies florestais e o principal determinante de vulnerabilidade de extinção das espécies (Castro e Fernandez, 2004). Neste estudo, a natureza da matriz pode estar influenciando negativamente a fauna de pequenos abundantes são extremamente hábitat-generalistas, apresentando vantagens em relação às outras espécies que ocorrem somente nas áreas de floresta. (LANGONE, 2007, p. 40)

2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos estão divididos em duas etapas: avaliação da percolação dos habitats e avaliação de resistência da matriz da BHRA.

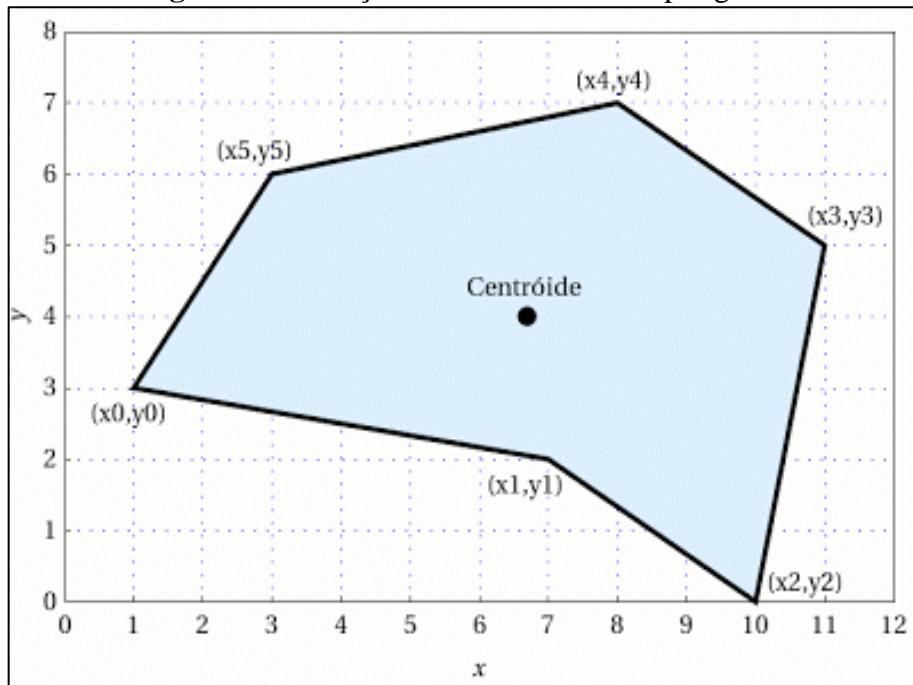
2.1 Avaliação da percolação dos habitats da bacia BHRA

Para a construção dos grafos, seguiu-se a metodologia proposta por Paese (2002), que em sua pesquisa selecionou as arestas dos grafos de até 3,6 km, representando a distância crítica de dispersão. Reforça-se que este modelo serve para qualquer espécie que apresente este limiar de dispersão e que tenha hábitat florestal, em especial para os primatas.

Os fragmentos acima de 20 hectares foram selecionados para representar os nós do grafo, conforme metodologia proposta por Paese (2002). Como os FVN são polígonos,

extraiu-se o centróide², (**Figura 3**), de cada feição em formato de ponto, por meio da ferramenta *feature to point*, contida no software *ArcGis*. Para o uso desse programa, foi feito uma parceria com o laboratório SIGEO do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo.

Figura 3- Definição do centróide de um polígono.

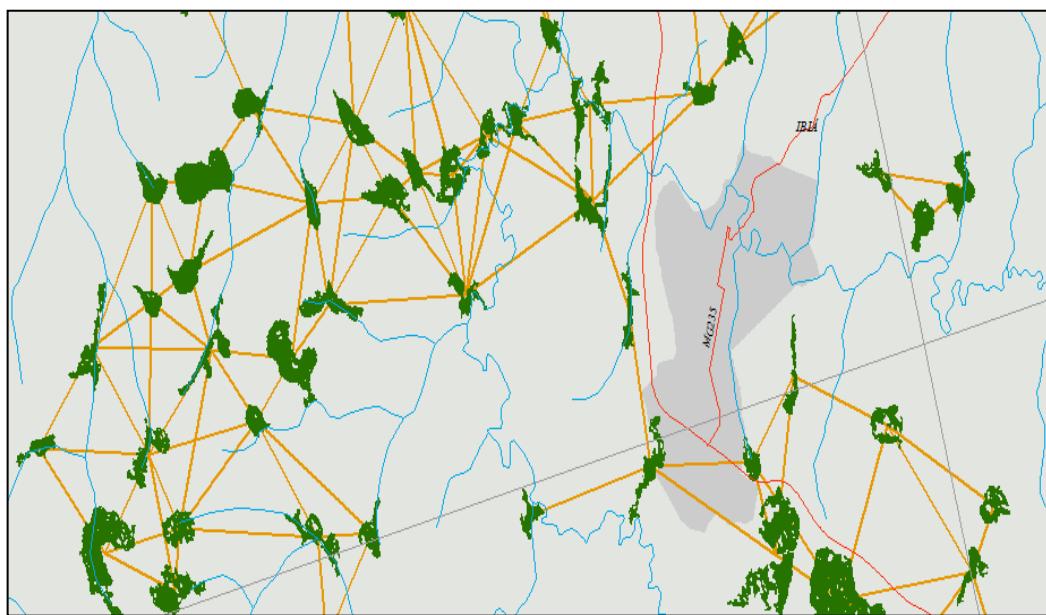


Fonte: DAN SCIENTIA (2009)

Após a elaboração do grafo para a BHRA foi dado um destaque para os subgrafos com o propósito de indicar as possíveis metapopulações na área de estudo. A partir da extração do centróide para cada fragmento foi feito uma triangulação vetorial manual para identificar a distância euclidiana entre os pontos para de FVN da BHRA (**Figura 4**).

² O centróide é o ponto no interior de uma figura geométrica que define o centro geométrico. É preciso calcular a área do polígono, definir a quantidade de vértices e o sinal dos mesmos. E depois encontrar as coordenadas (x,y) do centróide (DAN SCIENTIA, 2009).

Figura 4- Distância euclidiana entre os fragmentos florestais de vegetação nativa para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



Fonte: Reis (2015).

2.2 Avaliação da resistência da matriz da BHRA

O uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA (2014) é resultado da atualização do mapeamento feito por ROSA (2012). A atualização foi feita por meio da interpretação visual em tela, para as seguintes classes: pastagens, agricultura, silvicultura, áreas urbanas, fragmentos florestais (matas de galeria, semideciduais, Cerradão e Cerrado sentido restrito), áreas de campo (campos úmidos, limpos e sujos), mineração e represas. Para este mapeamento foram utilizadas as imagens do sensor OLI/Landsat 8 (descritas no capítulo 2).

Para a reclassificação dos usos para graus de resistência a dispersão para a espécie Sauá levou-se em consideração os tipos de uso da matriz. A rodovia não foi analisada neste capítulo, pois o capítulo 4 é destinado para a análise do atropelamento da fauna silvestre nas rodovias da BHRA em Minas Gerais. Diante da revisão literária realizada, foi considerado que não existem estudos que afirmem com exatidão os pesos de resistência que cada tipo de uso da matriz representa para a dispersão. Sendo assim, propõe-se um modelo arbitrário que deverá ser avaliado futuramente, em projetos de captura-marcção e recaptura para qualquer primata com poder de dispersão de até 3,6 km, conforme o **Quadro 1**. Os pesos variam de 1 a 10 (permeável-impermeável).

Quadro 1- Pesos para reclassificar as áreas conforme o grau de permeabilidade da matriz.

Uso	Pesos	Valor Qualitativo
Áreas urbanas, represas e áreas de mineração	10	Impermeáveis
Agricultura	8	Muito pouco permeáveis
Pastagens	5	Pouco permeáveis
Silvicultura	2	permeável
Campos nativos	1	Muito Permeável

Fonte: Reis (2015).

A partir disso, foram selecionadas as arestas dos grafos que cruzaram as classes mencionadas no **Quadro 1** para a quantificação métrica dos trechos para cada categoria. E dessa forma mensurar a percolação da fauna silvestre para a BHRA.

3 Resultados e discussões

O aumento da fragmentação florestal criou barreiras para a dispersão das espécies e promoveu o isolamento geográfico em diferentes graus nos habitats fragmentados (manchas de vegetação nativa). Este fenômeno afeta, negativamente, a diversidade biológica de um determinado habitat. A movimentação dos organismos (extra-habitat) por ambientes mais hostis pode aumentar o risco de mortalidade das espécies. Porém, este padrão de movimentação é muito importante para a colonização de algumas manchas, pois, melhora a troca de fluxo gênico destas áreas. Fragmentos próximos que recebem imigrantes de outras manchas estão interconectados e se constituem como sendo uma metapopulação (LEVINS, 1970). Onde estas áreas são dependentes do fator genético de organismos de outras regiões.

When populations are living in a heterogenous environment and can be isolated from each other are assured only by immigration or immigration process. The risk of local extinction and the probability of recolonization mainly depends on the capacity for maintaining exchange of individuals. Colonization success depends of many factors, like as the capacity to disperse. These populations are considered more generally as components of a metapopulation. The colonization ability is essential during the turnover process in a metapopulation (FARINA, 2006, p. 72).

Farina (2006, p.73-74) apontou três fatores que são determinantes para iniciar o padrão de movimento de dispersão: a) Limiar econômico, isto é, um indivíduo se movimenta de uma mancha para outra, em busca de recursos, esta movimentação apresenta caráter temporário; b) Quando ocorrem conflitos por alimentos, a dispersão é importante para escapar da relação desarmônica de competição, e também quando existe problema de dominação, ou disputa por territórios e c) Evitar a consanguinidade (*inbreeding avoidance*) do grupo.

Os estudos investigativos das metapopulações são importantes para a biologia da conservação, sobretudo para a paisagem fragmentada. As técnicas da Ecologia de paisagens baseiam-se neste conhecimento. Uma vez que a fragmentação é prejudicial para os padrões de movimentação, constata-se a ligação entre as unidades dos *patches*, cujo mosaico fragmentado (*land mosaic*) pode estar comprometido, dificultando ou impossibilitando a configuração de modelos de metapopulações (FARINA, 2006, p. 74).

As características que influenciam nos modelos metapoplacionais são: variações no tamanho e qualidade do habitat, as relações espaciais entre os elementos da paisagem (*patches e matriz*), as características de dispersão dos organismos de interesse (capacidade de percepção de habitats à distância) e as variações temporais na estrutura da paisagem (conversão do uso da terra) (PAESE, 2002).

Podem ser distinguidos dois tipos de conectividade estrutural e funcional. A primeira descreve a métrica física das manchas como foi descrita no **capítulo 2**. Já a segunda leva em consideração as respostas dos organismos em relação aos *patches*. Porém, a análise da conectividade dos fragmentos não pode se pautar somente por um viés. “A conectividade pode ser vista então como uma variável independente, que tem efeitos sobre os processos ecológicos e as populações, ou como uma variável dependente da interação entre estrutura e comportamento” (GOODWIN, 2003 apud FORERO-MEDINA; VIEIRA, 2007, p. 496). Dessa forma, a junção do **capítulo 2** com o **3** e o **4** são a base para o planejamento e proposição das estruturas da paisagem que proporcionarão o aumento da conectividade dos habitats para a BHRA.

A mobilidade de um organismo é um dos determinantes mais importantes da conectividade funcional da paisagem (D'Eon et al., 2003) e esta última tem que ser considerada na escala de interação entre a paisagem e o organismo em questão. Já que os diferentes organismos respondem à heterogeneidade ambiental em diferentes escalas e em diferentes formas (Johnson et al. 1992) uma paisagem não é inteiramente fragmentada ou conectada (FORERO-MEDINA; VIEIRA, 2007, P. 496).

Segundo a linha de pensamento dos autores Forero-Medina e Vieira (2007), para a BHRA entende-se que a ligação funcional entre os fragmentos de habitat (manchas de FVN) pode acontecer porque os organismos podem utilizar a matriz como habitat ou porque os mesmos apresentam habilidades de dispersão (deslocamento discreto) por estas até atingir outro *patch* habitat. Sendo assim, os grafos matemáticos indicaram a potencialidade de metapopulações para a BHRA, (**Mapa 1**).

Mapa 1- Exemplo de sub-grafos de metapopulações potenciais em uma área da BHRA para espécies com poder de dispersão de até 3,6km.

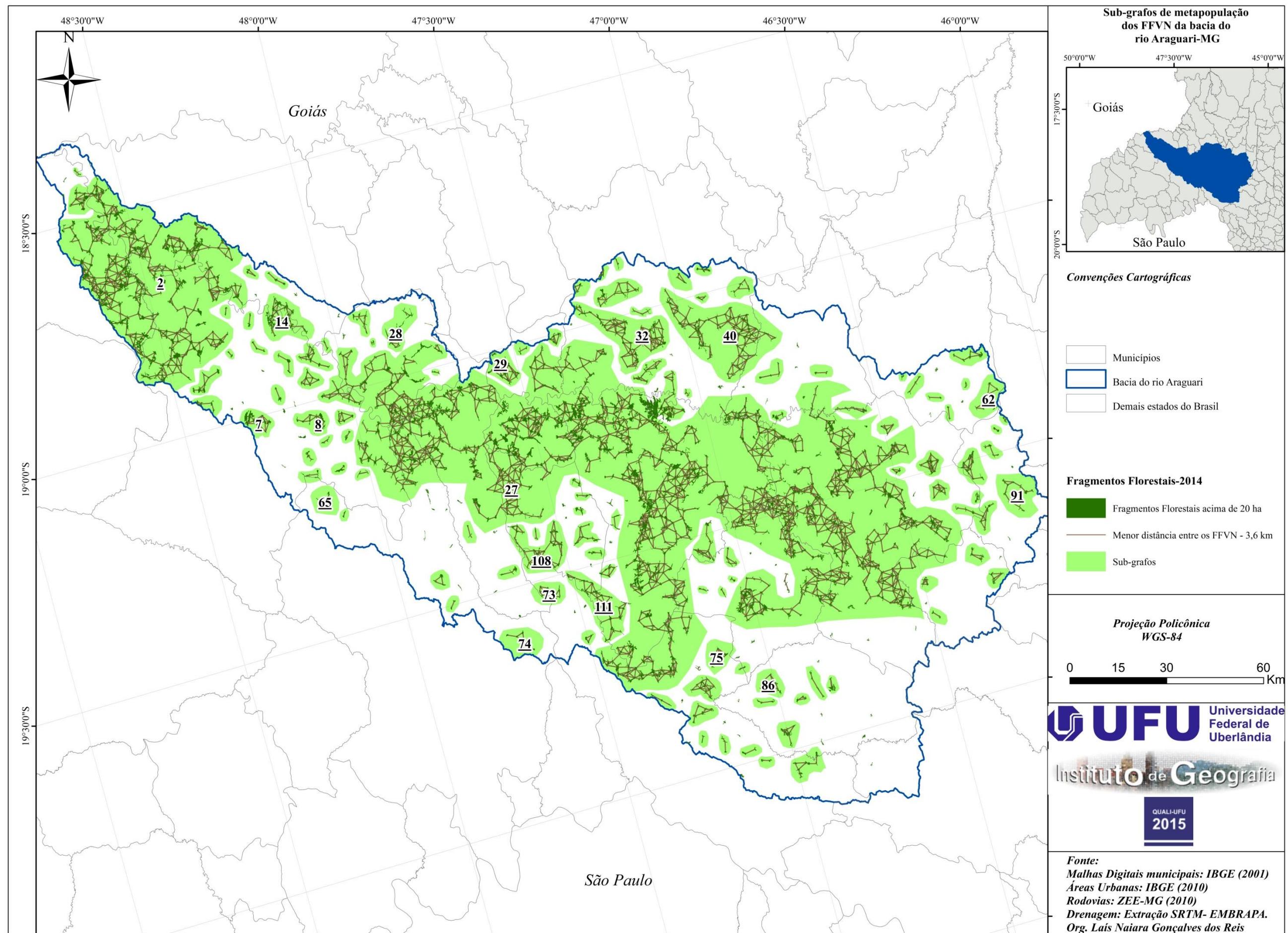


A BHRA apresenta dois grandes sub-grafos de metapopulações possíveis para o espécies com poder de dispersão de até 3,6 km (2 e 27), do total de 114 clusters identificados na área de estudo, (**Mapa 2**). Pode-se afirmar que longitudinalmente a BHRA (isto é sentido da montante até a jusante do rio Araguari) quase percola, ou seja, está abaixo do limiar crítico ($pc \leq 0,5928$). A porção da jusante apresenta percolação considerável tanto de leste para oeste, quanto longitudinalmente (índice $\geq pc$). Já na porção central da área de estudo recomenda-se a construção de estruturas de conectividade para proporcionar a percolação no sentido norte-sul (índice $\leq pc$). Na porção da montante, não se pode dizer que não tenha percolação, uma vez, que esta região é área de campo, uma matriz mais porosa. Esta região é a área de localização da Serra da Canastra. É preciso estudos para saber se ela se configura como barreira física para os primatas, por exemplo, e investigar como eles se comportam em áreas de fitofisionomias savânicas e campestres. Porém, é sabido que o habitat preferencial desse gênero são as matas.

Os nós do grafo correspondem a fragmentos acima de 20 hectares. Em 2014, o total da área dos FVN selecionados correspondia a 114.453,29 hectares. Sendo que 55% deste valor estavam concentrados em um único grupo de metapopulação correspondente ao *cluster* 27, com área de 63.406,6968 hectares e o segundo maior cluster de metapopulação 2 possuía 15 % do total de FVN, 18.202,2375 hectares. Cerca de 35% do total dos *patches* selecionados estavam espalhados em 112 cluster diferentes, o que ressalta ainda mais a fragmentação e evidencia os perigos do isolamento geográfico e riscos estocásticos, (**Mapa 2**).

O resultado deste mapeamento do grafo só poderá ser utilizado para espécies com mesma característica de dispersão de até 3,6 km. A distância de dispersão é uma informação útil para a conectividade, porém ela não está relacionada com a resistência que os usos da matriz podem apresentar. Dessa forma, é preciso fazer o custo dessas taxas de deslocamento, para avaliar o grau de permeabilidade dessa matriz.

Mapa 2- Sub-grafos de possíveis metapopulações para espécies que apresentem até 3,6 km e que tenham como habitat os fragmentos florestais, na bacia do Rio Araguari-MG.

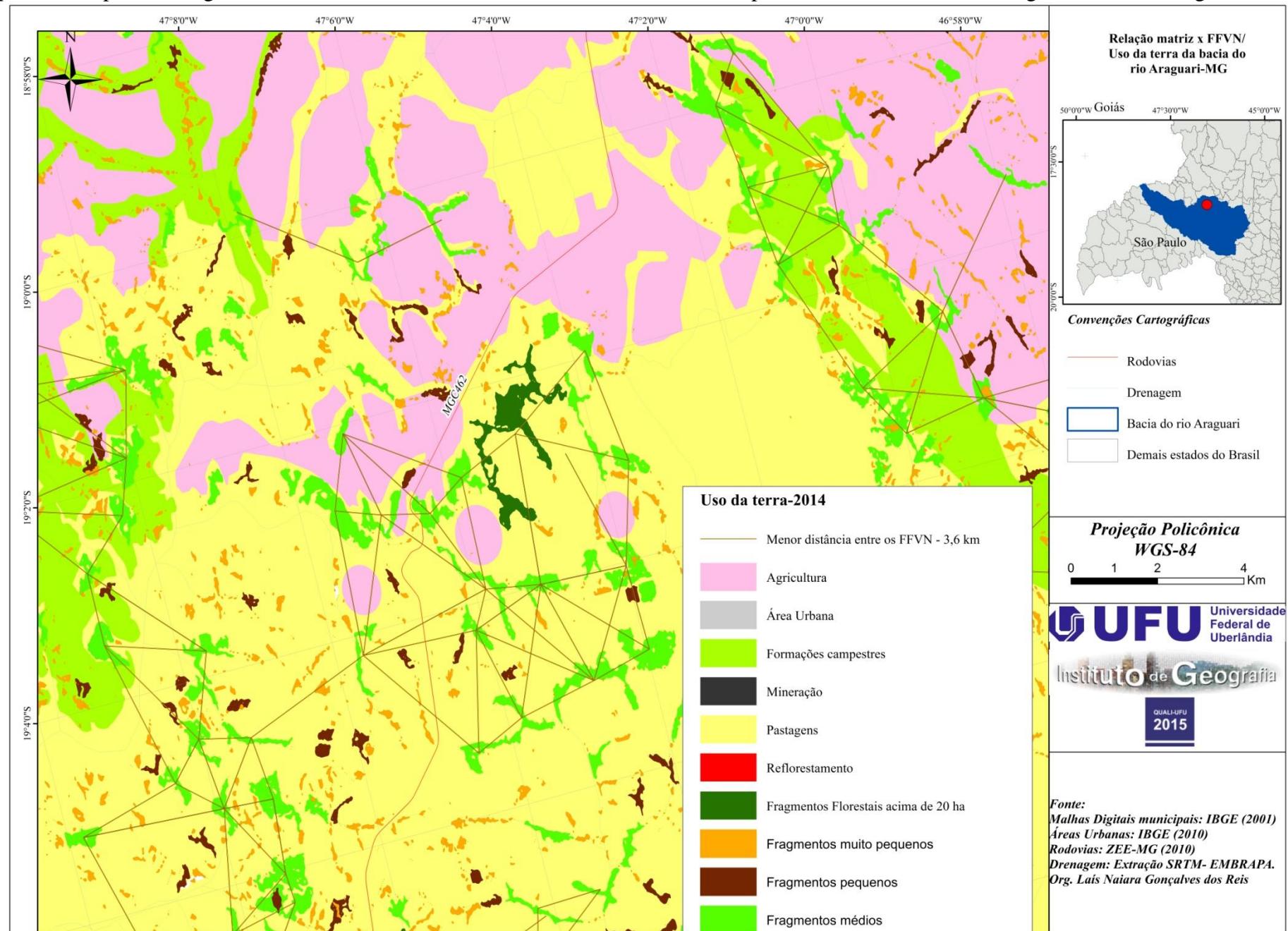


A aplicação dos resultados deste trabalho para diferentes espécies depende das características de dispersão das mesmas. Apesar da distância entre as manchas ser uma característica útil para a análise da conectividade, ela não incorpora aspectos como a resistência ao deslocamento, oferecida por diferentes unidades da paisagem. Neste sentido, as arestas poderiam ser definidas como taxas de deslocamento ou como probabilidades de dispersão de organismos, incorporando mais informações biológica às análises.

BUNN et al, 2000 por exemplo, calcularam o valor das arestas do grafo como distâncias ponderadas (de menor custo) entre as áreas, com base na resistência ao deslocamento de vários tipos de uso da terra entre as manchas de habitat. Partindo-se do pressuposto que as espécies importantes do ponto de vista conservacionista são seletivas quanto à utilização do seu habitat, e utilizam o cerrado ou a mata semidecidua, poderiam ser elaboradas duas classes de mapas/grafos para a representação da paisagem que revelassem as afinidades das espécies pelo habitat: uma para cada tipo de vegetação. (PAESE, 2002, p. 80)

O **Mapa 3** mostra o deslocamento (grafo) sobre a matriz da BHRA. Em 2014, o uso da terra da matriz da área de estudo se dividia da seguinte forma: a) agricultura: 620.363, 9706 ha; b) áreas urbanas: 29.177, 2693 ha, c) formações campestres (campo sujo, campo limpo úmido, campo limpo de altitude): 680.758,3925 ha; d) pastagem: 1.079.853,22 ha, e) mineração: 3.131, 85,96 hectares; f) silvicultura: 99.018,9383 há e g) represas: 119.513,02 (**Mapa 4**).

Mapa 3- Exemplo de sub-grafos cruzando os diversos usos da matriz em um recorte espacial inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



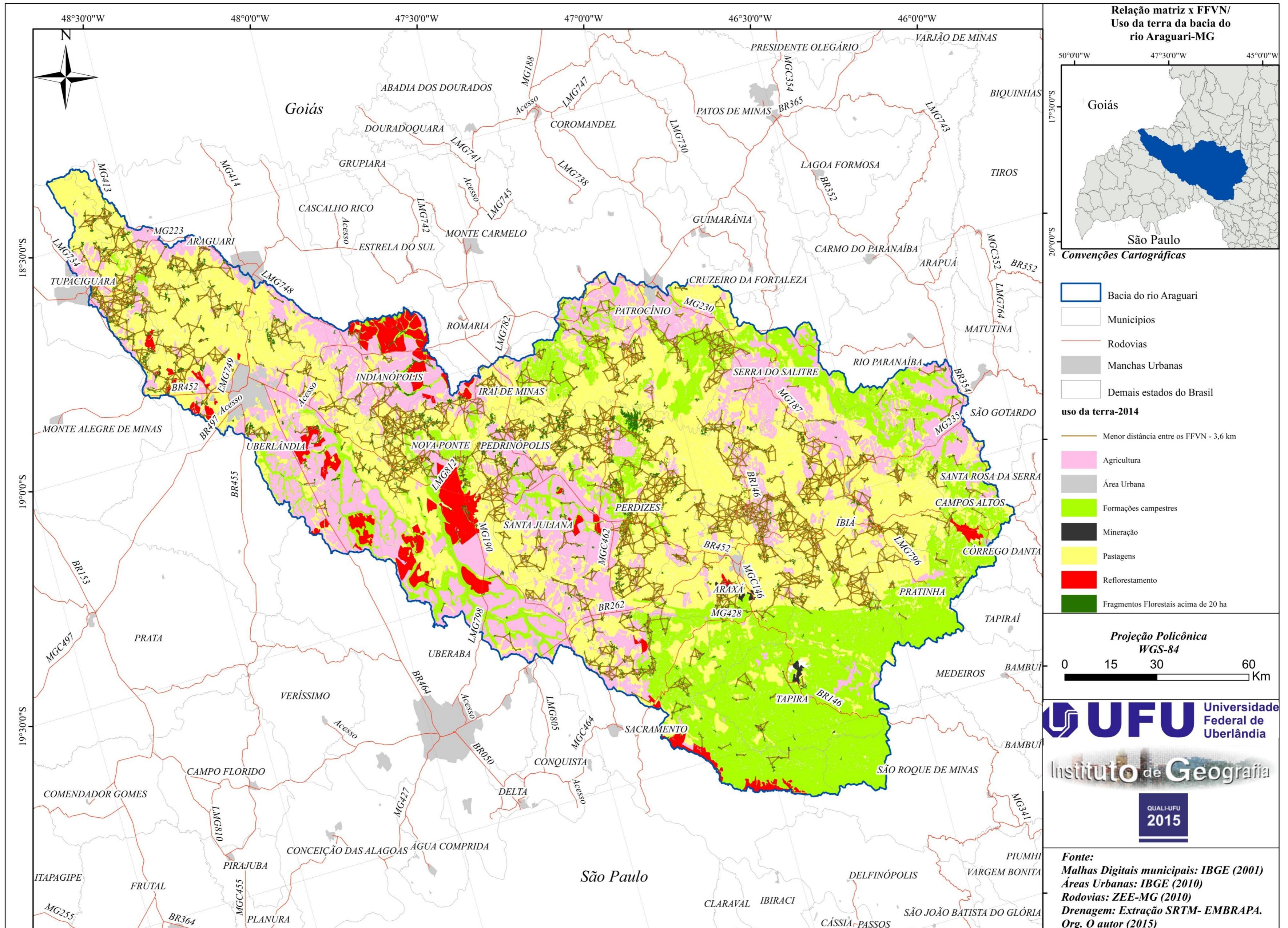
Propõe-se para o estudo da permeabilidade da matriz para primatas que apresentem limiar crítico de dispersão de até 3,6 km, conforme os estudos de Paese (2002). Para a BHRA, áreas urbanas, represas e mineração foram classificadas como unidades da matriz impermeável. Uma vez que, as áreas urbanas se configuram como ameaça para os primatas, em função do alto risco de atropelamento por carros, pela baixo índice de área verde das cidades brasileiras e pela dificuldade de encontrar recurso conforme o limiar crítico de deslocamento. As áreas de mineração também foram consideradas impermeáveis pela ausência de indivíduos arbóreos e inclusive pela perturbação ambiental intensa, por causa dos maquinários. Já os grandes rios e as represas, sobretudo aquelas destinadas para a geração de energia (UHE), são consideradas verdadeiras barreiras para a fauna silvestre, por conta de sua largura e pelo alto risco de afogamento.

Já as áreas de agricultura da BHRA são áreas com intensa mecanização agrícola, sobretudo nas áreas de chapadões, nestas áreas também ocorre o uso de insumos agrícolas que são prejudiciais à fauna silvestre, porém dependendo do tipo da cultura agrícola é possível que o organismo se disperse por ela, como por exemplo, a cultura do café. As áreas de agricultura foram consideradas como sendo pouco permeáveis, em decorrência da maioria das áreas agricultáveis serem culturas temporárias.

As áreas de pastagens foram consideradas pouco permeáveis, são áreas abertas e facilitam o risco de predação, o pouco fator de permeabilidade dessas áreas ocorre pela presença de algumas árvores, conhecidas como madeiras de Lei que não podem ser desmatadas, servindo de abrigo temporário para o macaco Sauá, até a travessia para o próximo *patch* habitat. Alguns exemplos de espécies consideradas madeira de Lei, para o bioma Cerrado: Aroeira do Sertão (*Astronium urundeuva*), Aroeira (*Astronium spp*, Sucupira (*Bondichia spp* e *Pterodon spp*), Carvoeiro (*Sclerolobium spp*), Piqui (*caryocar spp*), entre outras.

As áreas de silviculturas foram consideradas permeáveis por conta da semelhança com as matas em função da abundância de indivíduos de porte arbóreo, permitindo o deslocamento da fauna em segurança (baixo risco de mortalidade durante a dispersão), por outro lado, sabe-se que estas florestas não apresentam riqueza em abundância de recursos (*food*). E por último os campos (nativos) foram considerados permeáveis por conta da presença de extensas áreas com baixa atividade humana e há presença de espécies arbustivas podendo abrigar temporariamente a fauna em movimento.

Mapa 4- Sub-grafos cruzando os diversos usos da matriz da bacia hidrográfica do rio-Araguari-MG.



Mesmo considerando a capacidade perceptual de uma espécie para atravessar a matriz, alguns fatores podem impedir o sucesso de dispersão dos organismos.

[...] fatores como o tamanho corporal (MECH e ZOLLNER, 2002), olfato e visão (FORERO-MEDINA e VIEIRA, 2007) podem influenciar o movimento da espécie de modo que ela se desloque mais eficientemente através da matriz (PREVELLO et al., 2010). Assim também fatores abióticos como a obstrução da estrutura da matriz aos sentidos da espécie (SOZIO et al., 2013), direção do vento (FORERO-MEDINA e Viera, 2007), distância do fragmento (PREVEDELLO et al., 2011) ou linha de plantio (PREVEDELLO e VIEIRA, 2010b; SOZIO et al., 2013) podem afetar o movimento da espécie. (ASSIS, 2014, p. 19)

A permeabilidade da matriz é um fator importante para garantir a percolação dos habitats e o sucesso da dispersão. Assis (2014, p. 20) afirmou que em matrizes mais permeáveis os indivíduos se locomovem mais retilíneamente e menos tortuosamente, portanto ficam menos tempo expostos aos perigos da predação em um ambiente mais aberto, como é o caso da pastagem, por exemplo.

Ao levantar as unidades da matriz cortadas pelas arestas do grafo de dispersão para BHRA, percebeu-se que as possibilidades de rota de menor distância, também, apresentam dificuldades impostas pela matriz, uma vez que, 4.363,1 km de rotas potenciais de dispersão estão localizados em áreas de pastagens e 873,419 km em áreas de agricultura, (**Tabela 1**).

Tabela 1- Uso da terra e cobertura vegetal nativa cruzado pelas arestas do grafo.

Categorias	Km
Agricultura	873,41
Pastagem	4.363,1
Áreas urbanas	7,39
Silvicultura	56,48
Mineração	0,70
Represas	3,65
FVN pequeno	88,39
FVN muito pequeno	60,25
Campestre	655,86
Demais fragmentos	2518,19
Soma	8.627,45

Fonte: Reis (2015).

As áreas de FVN muito pequenos e pequenos também foram cruzadas por algumas arestas dos grafos, indicando que estes FVN são muito importantes na paisagem fragmentada da BHRA promovendo o efeito trampolim (*stepping Stones*).

A **Tabela 2** apresenta o grau de permeabilidade das áreas da BHRA. Destaca-se que apenas 39% das áreas estimadas pelo grafo matemático apresenta $pc \geq 0,5928$, isto é apresentam permeabilidade boa. Estas arestas estão localizadas nas áreas de campos nativos, silvicultura e em áreas de fragmentos de vegetação nativa espalhados pela matriz.

Tabela 2- Grau de permeabilidade da matriz para o espécies que apresentem poder de dispersão de até 3,6 km, na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.

Classes de permeabilidade	Km	%
Muito permeável	3.322,70	38,51
Perméavel	56,484	0,65
Pouco permeável	4363,1	50,57
Muito pouco permeável	873,4191	10,12
Impermeável	11,7429	0,13
Soma	8.627,45	100

Fonte: Reis (2015).

Salienta-se que 61% dos caminhos levantados pelos grafos estão em áreas que podem oferecer perigos para a fauna durante a dispersão e/ou são intransponíveis. Estas áreas são: áreas de pastagem, agricultura, áreas urbanas, represas e as áreas de mineração.

Dessa maneira, pode-se dizer que a BHRA apresenta potencial para o estudo de metapopulações para espécies com poder de dispersão de até 3,6 km, em função da ocorrência de habitats de fragmentos florestais funcionais, porém a matriz dessa paisagem não apresenta boa percolação. Reforça-se a necessidade de planejar estruturas para aumentar a porosidade das unidades da matriz, com a finalidade de evitar o isolamento geográfico e a extinção destes animais.

4 Considerações finais

A paisagem é formada por um mosaico de unidades, portanto é heterogênea e apresenta níveis de interação para cada escala de análise. Os estudos em Ecologia de paisagens estão preocupados em estabelecer um padrão ecológico correlacionado com a estrutura espacial do meio. Essa é uma linha de pesquisa emergente, não existe um referencial teórico complexo comprovado empiricamente. Dessa maneira, essa tese será transformada em linha de pesquisa para constatação em campo e monitoramento da relação entre estrutura dos

fragmentos e movimentação dos organismos, bem como a interação destes para com os diversos tipos de uso na matriz.

A Ecologia de paisagens ainda não possui seu cabedal teórico e identidade definida, pois se trata de um ramo científico interdisciplinar que permeia pelos estudos da estrutura da paisagem (Geografia) e pelos processos ecológicos (Biologia). Porém, afirma-se a importância desta nova forma de investigação da paisagem fragmentada, buscando relacionar o impacto antrópico sobre o meio, e a busca por padrões espaciais para que os problemas de ordem ambiental sejam abordados em suas diversas escalas de interação, ressaltando a complexidade da heterogeneidade da paisagem.

A questão ambiental proporciona a valorização da Geografia enquanto ciência, pois, essa é capaz de analisar integradamente os fenômenos sociais e os naturais, bem como compreender a interação destes e a impressão dessa relação na paisagem. Por isto, a Ecologia de paisagens se apresenta como método investigativo apropriado para os estudos geográficos, sobretudo, para aqueles voltados para o planejamento de bacias hidrográficas. Uma vez que eles procuram entender as potencialidades do meio abiótico e o modo de uso e ocupação humana com o objetivo de aperfeiçoar o uso dos recursos naturais de forma sustentável. Não obstante a Ecologia de paisagens estuda a estrutura espacial e funcional dos fragmentos bem como a interação dos organismos com a matriz, a relação direta entre a diversidade ecológica em uma paisagem antropogênica.

O método de investigação da Ecologia de paisagens empregado para a análise da heterogeneidade da BHRA é algo novo, os resultados deste capítulo mostraram que existem poucos fragmentos funcionais, já que 61% dos caminhos levantados pelos grafos estão em áreas que oferecem perigos para a fauna durante a dispersão e/ou são intransponíveis. Pensando na interação do meio biótico com o abiótico é importante fazer um planejamento adequado para a BHRA em função de sua importância econômica e pela abundância de recurso hídrico, buscando incrementar essas áreas que são importantes tanto para a conservação da biodiversidade quanto para a manutenção de alguns processos abióticos.

Os rumos desta pesquisa para a BHRA devem permear pela necessidade de validar esses modelos de representação. A realização de pesquisas empíricas é necessária para adaptar esses modelos para a realidade do Cerrado, bem como para a heterogeneidade da matriz dessa bacia. Os modelos empregados mostraram que a região apresenta um potencial relativamente bom para o estudo de metapopulações para indivíduos que apresentem limiar

crítico de dispersão de até 3,6 km e que tenham como habitat os ecossistemas florestais, porém a matriz se constitui como ameaça e resistência ao processo de dispersão deste. Esta mesma metodologia pode ser empregada para organismos com hábitos de movimentação e habitats semelhantes. É interessante desenvolver este trabalho para a espécie-chave do Cerrado. Salienta-se que estas pesquisas são a base para o planejamento e ordenamento do território que busque incrementar a conectividade dos habitats e a segurança da diversidade genética.

Referências

ALMEIDA, EUDARDO, A. B. Modelos de Eventos para reconstrução biogeográfica. In: **Biogeografia da América do Sul: Padrões e Processos.** 2011, São Paulo: ROCA, PP. 62-162.

ASSIS, T. O. Utilização de matriz de pasto e café por pequenos mamíferos em uma paisagem fragmentada no sul de Minas Gerais. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3934/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20matrizes%20de%20pasto%20e%20caf%C3%A9%20por%20pequenos%20mam%C3%ADferos%20em%20uma%20paisagem%20fragmentada%20no%20sul%20de%20MG.pdf> Acesso em: nov. 2015. Dissertação de mestrado, 2014.

FARINA, Almo. **Principles and methods in landscape ecology:** toward a science of landscape. Holanda: Kluwer Academic Pub, 2006.

FORERO-MEDINA, G. ;VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. In: **Oecol. Bras**, v. 11. (2007) p. 493-502. Disponível em:<http://www.researchgate.net/publication/28224178_Conectividade_funcional_e_a_importncia_da_interao_organismo-paisagem> Acesso em: nov. 2015.

ICMBIO.Definição de conceitos: Efeito resgate. Disponível em:<http://www.icmbio.gov.br/ran/images/Arquivos/especies_ameacadas/conceitos_iucn_2012.pdf> Acesso em: nov. 2015.

KEITT, T.H; URBAN, D. L., MILNE, B.T. Detecting critical scales in fragmented landscapes. **Conservation Ecology**, v.1, n.1, 4, 1997. Disponível em: <<http://www.consecol.org/Journal/vol1/iss1/art4>> Acesso em: set. 2015.

LAGO, F. P. S; CHAVES, H. M. H; GALVÃO, W. S. Avaliação da estrutura da paisagem para o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, através de análise de imagens de sensorimamento remoto. Disponível em:<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.19/doc/1633.1640.142.pdf>> Acesso em: nov. 2015.

LANGONE, Patrícia Quintana. **Importância da matriz e das características do hábitat sobre a assembleia de pequenos mamíferos em fragmento de mata de restinga no sul do Brasil.** Disponível em:< <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11999>> Dissertação de mestrado, UFRS, 2007.

Levins, R. Extinction. In M. Gesternhaber (ed.), **Some Mathematical Problems in Biology.** American Mathematical Society, Providence, Rhode Island. 1970.
. pp. 77–107

MARTINS, T. K, 2011. **Determinantes ecológicos do risco de extinção; abundância local, amplitude de nicho, capacidade de dispersão e a resposta das espécies de pequenos mamíferos à fragmentação florestal no Planalto Atlântico Paulista.** Tese de doutorado . USP. São Paulo, 2011.

PAESE, Adriana. **A utilização de modelos para a análise da paisagem na região nordeste do Estado de São Paulo.** Disponível em:< <http://www.lapa.ufscar.br/teses>> Acesso em set.2015.

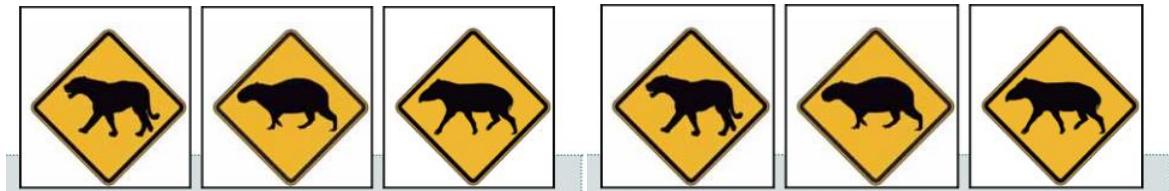
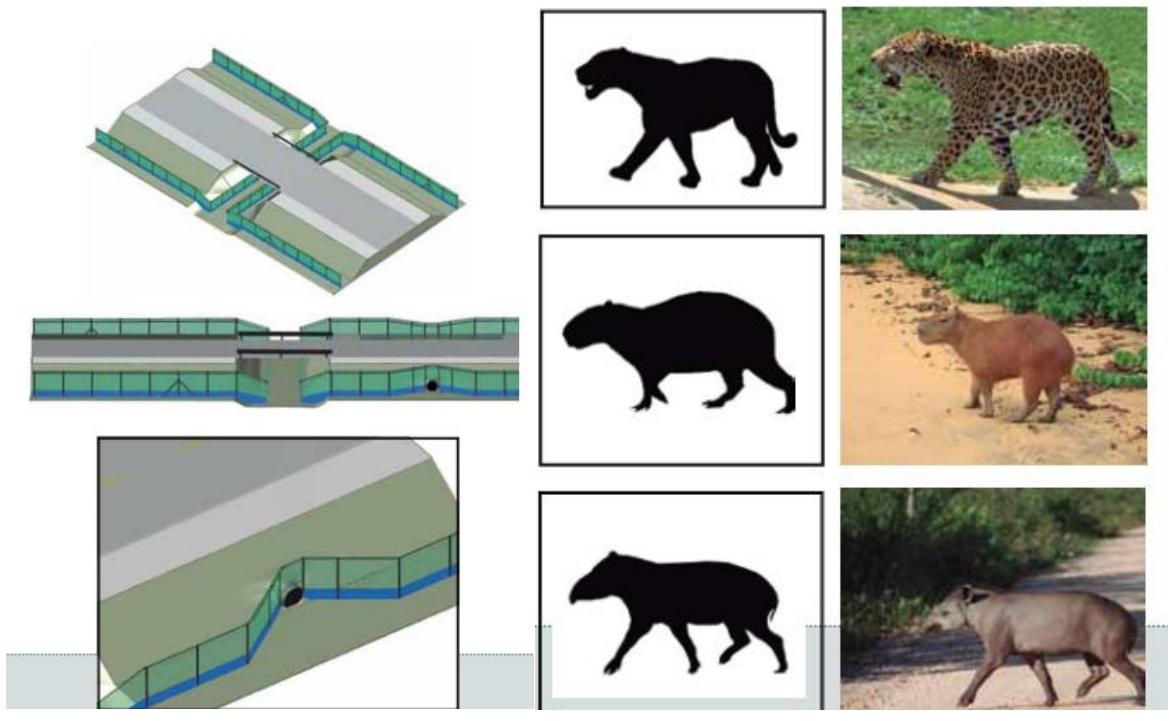
SHAFER, C. **Nature reserves:** island theory and conservation practice. Washington, DC: Smithsonian Institution, 1999. p.189.

ROSA, Roberto. **Estoque de Carbono em Solos sob Pastagens Cultivadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Mapeamento e Modelagem.** 2012. 198 f. Relatório (Pós-doutorado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília – Instituto de Geociências, Brasília, 2012.

SANTOS, Glênio Pereira dos Santos. **Padrão de atividades, dieta e área de vida de Callicebus Nigrirrons (SPIX, 1823).** 2008. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Pontifícia Católica. BeloDisponível em:< http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Zoologia_SantosGP-1.pdf> Acessado em: nov. 2015.

URBAN, D. L. Strategic monitoring of landsacpes for natural resource management. IN: J.L. L.; W. W. T. (Ed.) **Interating landscape ecology into natural resource management.** Cambridge University Press, 2002.

WORBOYS, G. L; FRANCIS, W. L; LOCKWOOD, M. **Connectivity Conservation Management:** a Global Guide . UK: Coupromwell G , 2010, pp. 1-382.



Ecologia de Estradas e a Susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na BHRA-MG

RESUMO

Ecologia de estradas e a susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na BHRA-MG

A malha rodoviária se constitui como um risco aos organismos silvestres, uma vez que estas fragmentam os habitats. Surge a Ecologia de estradas que procura apresentar modelos que correlacionam os fatores bióticos e abióticos com a finalidade de identificar se há padrão para os episódios de atropelamento da fauna. Este capítulo tem como objetivo levantar as áreas susceptíveis ao atropelamento de animais silvestres da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-BHRA e propor os locais para implementação das estruturas de passagem seguras para a fauna do Cerrado. Entende-se que as rodovias podem apresentar graus distintos de susceptibilidade ao perigo de atropelamento para a fauna, objeto de investigação deste estudo. Isso pode variar conforme a disposição espacial desta na paisagem, ou seja, se a mesma está localizada próxima de habitats. A BHRA apresenta 1.774,22325 km de malha viária. Foram sugeridos 22 locais com necessidade alta, 7 locais com necessidades moderadas e 6 locais com necessidades baixa para implementação de passagens seguras para a vida silvestre.

Palavras-chave: Ecologia de Paisagens. Ecologia de estrada. Atropelamento de animais silvestres. Susceptibilidade ambiental. Rodovia.

ABSTRACT

Roads ecology and the susceptibility of the road running over the wildlife in the river basin Araguari

The highway network constitutes a risk to the wildlife, once it fragments habitats. Thus, highway ecology emerges seeking to present models that correlate biotic and abiotic factors in order to identify whether there are patterns in episodes of fauna trampling. This chapter aims to create a data sampling of areas susceptible to wild animals trampling in *rio Araguari* basin, and propose locations for implementation of safe passage structures for wildlife. It is understood that the danger of wildlife trampling has different susceptibility degrees in different roads. The danger may vary if the highway landscape spatial arrangement is located next habitats. The *rio Araguari* basin presents 1.774,22325 kilometers of highways network, it is suggested 22 sites with high need of implementation of safe passage structures, 7 locations with moderate need and 6 places with low need.

Key-words: Ecology of Landscapes. Road ecology. Trampling. Wildlife. Environmental Susceptibility highway.

1 Introdução

As vias de acesso são primordiais para o ordenamento e ocupação territorial, uma vez que as estradas são principais condutoras do processo de adentramento em uma dada região. A primeira política sobre o modelo de logística do Brasil está pautada no sistema rodoviário que teve o marco da expansão de novas vias a partir do Governo de Juscelino Kubitschek, (SILVA, 2015). A ocupação do Cerrado se acelerou e aconteceu de forma desordenada, a partir da construção de Brasília e com ela a malha viária expandiu-se para regiões que outrora eram inexistentes.

A malha rodoviária se constitui como um risco aos organismos silvestres, uma vez que estas fragmentam os habitats - a fragmentação e seus problemas ecológicos foram discutidos no **capítulo 2** - e contribuem com a mortalidade destes durante o processo de dispersão (SCOSS, 2002). As vias de acesso contribuem para o processo de desmatamento, além de promover a invasão de espécies exóticas, conduzirem a propagação de doenças e focos de incêndios para as bordas dos habitats de vegetação nativa. “*Many human-made linear infrastrcutures suach as railroads, powerlines, and petroleum pipelines intensify habitat degradations.*” (BECKMANN et al, 2010, p.5). Destaca-se que os principais impactos ecológicos causados pelas rodovias são: “[...] a mortalidade de espécies animais devido à construção de estradas e colisões com veículos, modificação do comportamento animal, alteração do ambiente físico, alteração do ambiente químico, dispersão de espécies exóticas e aumento do uso do habitat por humanos” (TROMBULAK; FRISSELL (2000), apud SCOSS, 2002, p. 8)

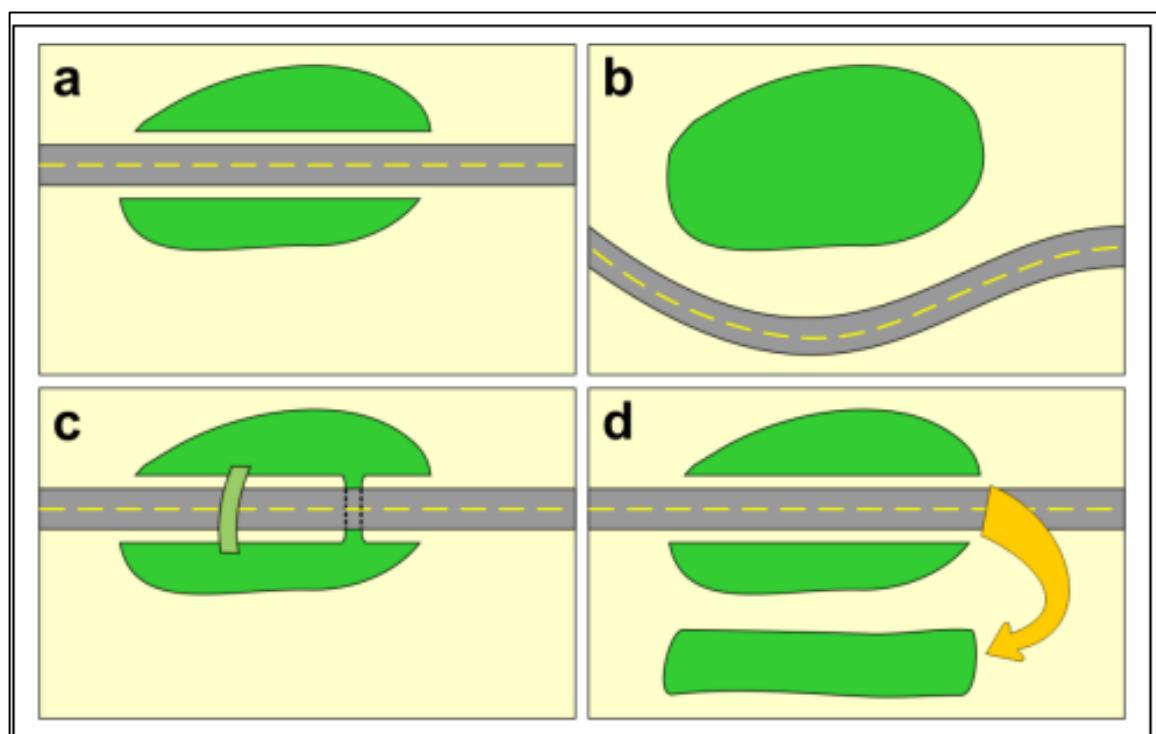
Os estudos e levantamentos da mortalidade de animais silvestres nas rodovias iniciaram-se em 1920, inicialmente, preocupados apenas com a contagem dos indivíduos mortos nas vias de rodagem. Como esse é um problema de impacto para a biodiversidade, emerge um ramo da Ecologia voltado para esta temática, a Ecologia de estradas -“[...] *the Field of Road ecology has expanded in recente years to document the consequences of roads on wildlife [...]”*(FORMAN, 2010, p.6.). Esta ciência está preocupada em apontar os padrões espaciais e/ou temporais para estes fenômenos (OLIVEIRA, 2011).

Os impactos das estradas nas populações animais tem sido uma preocupação e vem sendo estudados desde a década de 1920 (Stoner 1925; Sprague 1939; Knobloch 1939). Segundo Smith-Patten e Patten (2008), os primeiros estudos mostravam apenas a preocupação de um maior impacto sobre a fauna nativa, posteriormente

apareceram estudos mais sistemáticos para as contagens de mortalidade, e, a partir da década de 1940, começaram as relações entre os atropelamentos com os fatores biológicos de cada espécie. Atualmente, a maior parte dos estudos busca padrões de distribuição dos atropelamentos determinados por fatores espaciais ou temporais, aumentando o poder de generalização dos modelos (Taylor e Goldingay 2004; Ramp et al. 2005; Ford e Fahrig, 2007). (OLIVEIRA, 2011, p. 10)

O ideal é a abertura de novas rodovias que levem em consideração os habitats. E caso não seja possível não fragmentá-lo, que sejam apresentadas as formas de mitigação para o impacto ambiental ocasionado pelas vias (**Figura 1**). Este planejamento deve ser pensado por meio dos princípios da Ecologia de estradas.

Figura 1- Representação esquemática das alternativas existentes para a viabilidade do traçado de uma rodovia.



- a) impacto causado pela rodovia (fragmentação do habitat), b) neutralização do impacto potencial pela alteração do traçado, c) mitigação do impacto por meio da implantação de estruturas de passagem de fauna e d) compensação por meio da destinação de habitat equivalente para fins de conservação.

Fonte: LAUXEN (2012).

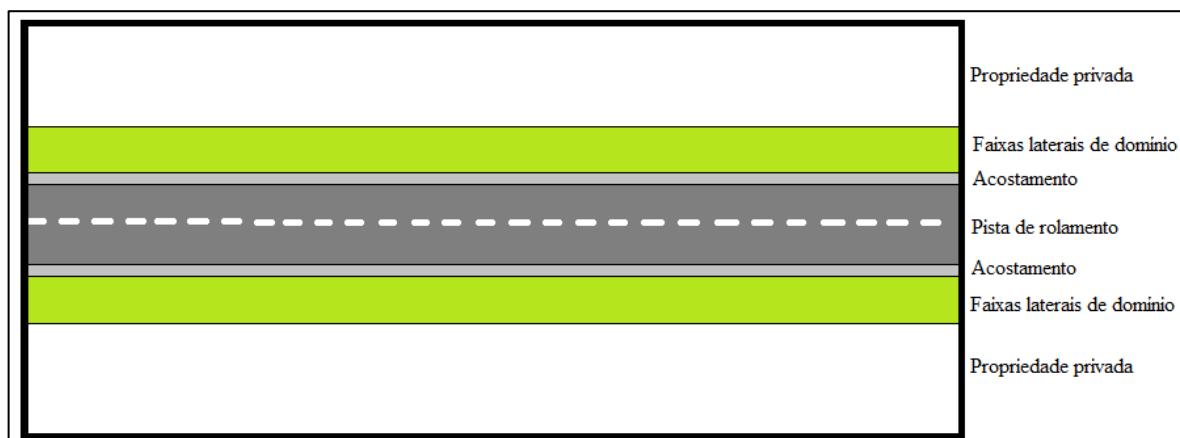
Em Ecologia de estradas, os estudos recentes procuram apresentar modelos que correlacionam os fatores bióticos e abióticos com a finalidade de identificar se há padrão para os episódios de atropelamento da fauna. Sabe-se que a associação das rodovias com o tráfego de veículos pode impactar a vida silvestre de quatro formas: “*Decrease habitat amount and quality; 2. Increase mortality from collisions with vehicles; 3. Limit access to resources; and 4.*

Fragment wildlife populations into smaller and more vulnerable subpopulations (BECKMANN et al., 2010, p. 6).

As pesquisas em Ecologia de estradas já apresentam alguns padrões em relação à vulnerabilidade da fauna silvestre ao atropelamento em rodovias, partindo da análise de locomoção e o comportamento destes. Bennett e Robinson (2000) apud Oliveira (2011) disseram que os animais que demandam por grandes áreas de vida e que apresentam baixas taxas de reprodução são mais vulneráveis às estradas. Alguns vertebrados são atraídos pelas rodovias em função da disponibilidade de grãos e insetos. Assim como os animais carniceiros são atraídos pelas carcaças de animais que foram atropelados (SMITH-PATTEN; PATTEN, 2008 apud OLIVEIRA, 2011, p. 12). Pode-se dizer que há uma cadeia alimentar em função dos efeitos da rodovia: grãos e insetos fonte de alimento para pequenos vertebrados, estes podem se tornar alimentos para vertebrados de médio e grande porte, e as carcaças destes animais, atropelados na rodovia, são fontes de recursos (*foods*) para os carniceiros, que por sua vez, podem ser atropelados na rodovia, também.

A faixa de domínio da rodovia é constituída pela pista de rolamento, acostamentos e a faixa lateral. Esta faixa lateral não apresenta uso definido, observa-se uma regeneração das fitofisionomias do bioma, que se constituem com habitats para alguns organismos. Estes indivíduos apresentam alta vulnerabilidade ao atropelamento pelos veículos da rodovia, em função da proximidade desta, (**Figura 2**).

Figura 2- Área de domínio da rodovia.



Fonte: Reis (2015).

Alguns trabalhos descreveram a vulnerabilidade dos organismos em relação ao perigo de atropelamento nas rodovias:

Fahrig e Rytwinski (2009) e Laurance et al. (2009) citam diversos trabalhos que concordam que os animais mais susceptíveis são aqueles que se movem devagar, como os anfíbios, répteis e pequenos mamíferos; animais arbóreos, que ocasionalmente atravessam terrenos abertos, como preguiças e primatas. Assim como algumas aves, morcegos e insetos, além de espécies com pouca visão, como tamanduás, e ainda aqueles que apresentam respostas lentas ou de “congelamento” com a aproximação de carros, como os tatus e alguns anfíbios. [...] Grilo et al. (2009) afirmam que existem três aspectos a serem considerados: (1) normalmente os adultos das espécies mais comuns são os mais atropelados; (2) o maior número de ocorrências de morte por atropelamento está relacionado aos períodos de maior mobilidade desses animais, dispersão e época de reprodução; (3) características da estrada, áreas urbanas e habitats tem uma relação próxima e variável com os atropelamentos. (OLIVEIRA, 2011, p. 12)

Admitindo que as componentes da paisagem (estrada e fragmentos) influenciam nos padrões de atropelamento da fauna silvestre, constata-se que as rodovias próximas às reservas ou unidades de conservação causam impactos mais relevantes sobre a população dos organismos (SCOSS, 2002). Neste sentido, conhecer o volume de tráfego de uma rodovia também é importante, pois o fluxo intenso de veículos aumenta a probabilidade do risco de morte para os animais (OLIVEIRA, 2011).

Diante da ameaça que as estradas são para a vida silvestre, elas não podem ser desconsideradas dentro do planejamento ambiental de uma determinada área. Para mitigar o impacto das rodovias propõe-se a instalação de estruturas conectivas na paisagem (*wildlife crossing strucutures*). “*Wildlife crossing strucutures are being designed and incorporated into Road construction and expasion projects to help restore or maintain animal movements across roads*” (SPELLERBERG, 2002, FORMAN et al, 2003 apud FORMAN, 2010, p. 17).

Este capítulo tem como objetivo levantar as áreas susceptíveis ao atropelamento de animais silvestres da BHRA e propor os locais para implementação das estruturas de passagem seguras para a fauna pelas rodovias da área de estudo. Essa pesquisa se diferencia das demais por utilizar os métodos de investigação geográficos, abordando seu viés em Ecologia de paisagens, isto é a relação espacial dos fragmentos florestais de vegetação nativa com a proximidade das rodovias. Ressalta-se a importância do mapeamento da susceptibilidade ambiental que se constitui como ferramenta relevante para os estudos espaciais, planejamento e ordenamento territorial. Esse método demonstra as potencialidades do meio para um determinado fenômeno. Diferentemente do viés biológico que estabelece a vulnerabilidade de determinada espécie a um determinado fenômeno.

2 Estruturas e design de travessia para a fauna silvestre

As estruturas de travessia (*safe passages ou crossing widelife*) para a fauna são: pontes, túneis, cercas, placas de sinalização, entre outros. O Brasil não apresenta grandes avanços na implantação dessas estruturas em sua malha viária, diferentemente de outras partes do mundo. Algumas estradas apresentam “[...] túneis, outras redes para transposição de primatas e outros animais, porém na literatura não foram encontrados trabalhos que avaliassem este tipo de estrutura quanto a sua eficiência [...]”, no país (SCOSS, 2002, p. 19).

Na Europa, América do Norte e na Austrália, os estudos e manejos de estradas encontram-se bem avançados, os primeiros estudos envolvendo a mortandade de animais silvestres por atropelamento ocorreram no início do século dezenove (Forman et al., 2003). Nos Estados Unidos, técnicas de mitigação foram empregados para reduzir o atropelamento de animais desde 1992, entre eles destacam-se túneis ou viadutos para animais, sinalização de trânsito, limite de velocidade, refletores, alertas com ultra-sons e programas de conscientização pública (CASELLA, 2010, p.1).

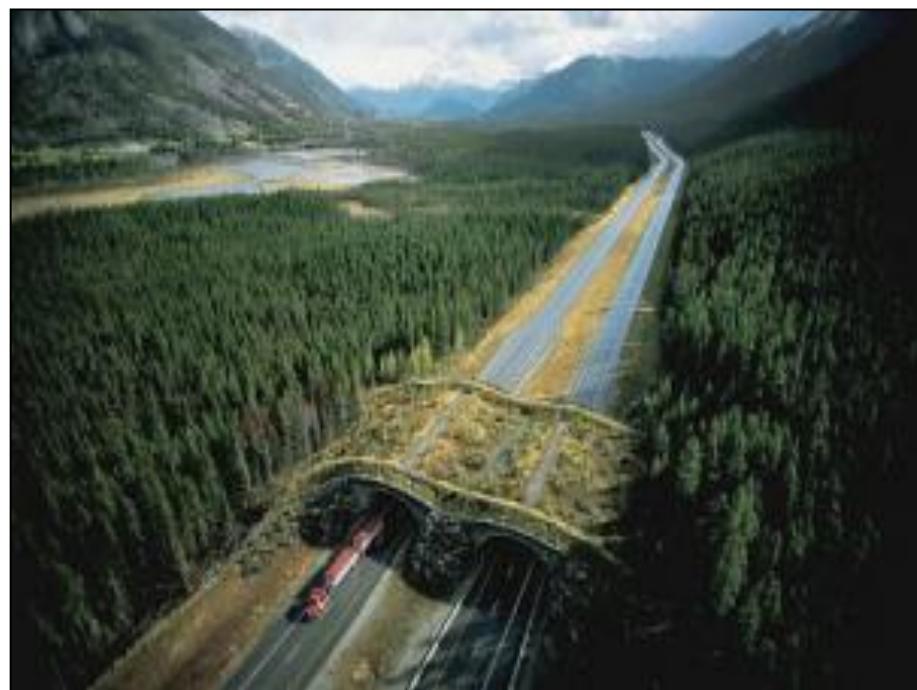
Para a instalação das estruturas de travessia dos animais, primeiro é preciso identificar as demandas das espécies locais, o período de migração, quais fragmentos centrais serão conectados, para assim, realizar o planejamento e a implantação. A escolha do tipo de estrutura também varia conforme a espécie e as características da paisagem. Forman (2010, p. 15) destaca que uma espécie pode usar mais de uma estrutura conectiva na paisagem ou ter preferência por um determinado tipo, “[...] grizzley bears may utilize overpasses whereas caugars maby more likely to use underpasses”. Dessa forma, é mais eficiente escolher o tipo de estrutura segundo às espécies que pretende-se atingir. O ideal é a implementação de passagens multiuso ou mais de um tipo de passagem para uma mesma região.

Forman (2010, p. 37-43) descreve os grupos de espécies que podem utilizar as estruturas de passagem (passagens seguras): mamíferos, semiaquáticos, anfíbios e répteis. Cada espécie apresenta necessidades distintas e podem optar por tipos de passagens diferentes. Este autor cita pelo menos 11 tipos de conectores: *Landscape Bridge* (pontes-vivas sobre as rodovias duplicadas), *Wildlife Overpass* (viadutos sobre as rodovias simples e estradas), *Multiuse Overpass* (estruturas que permitem a passagem de humanos sobre a rodovia), *Canopy Crossing e Viaduct or Flyover* (estruturas que ligam um fragmento ao outro pelo dossel), *Large Mammal Underpass* (passagens largas por debaixo da rodovia), *Multiuse Underpass* (estruturas que permitem a passagem de humanos também por debaixo da

rodovia), *Underpass with water Flow* (passagens por debaixo das rodovias com fluxo de água), *Samll to Medium Mammal Underpass* (passagens menores por baixo da rodovia), *Modified Culvert* (regos para animais semiaquáticos), *Amphibian and Reptile Tunnels* (túneis de réptil e anfíbios).

As pontes-vivas são estruturas que permitem a passagem da vida silvestre sobre as rodovias, sobretudo as duplicadas. Geralmente, elas são maiores que cem metros de comprimento e são elevadas permitindo a passagem de todos os tipos de veículo. Qualquer grupo de espécie pode utilizar esta estrutura. Elas são cobertas por vegetação com a finalidade de garantir a continuidade da paisagem-habitat para a fauna silvestre (**Foto 1**). Dentro dessa modalidade tem-se a estrutura menor para as estradas e rodovias de pista simples que variam de 40 à 70 metros de comprimento sobre as vias (**Foto 2**). E, também, as passagens elevadas de multiuso que permitem a travessia de humanos. Estas possuem de 15 a 25 metros de comprimento. (FORMAN, 2010, p. 38-39)

Foto 1- Passagem elevada (ponte-viva) Wolverine Creek com vegetação, Banff National Park, Canadá.



Fonte: autor desconhecido.¹

¹ Disponível no sítio:<
https://paisagismolegal.files.wordpress.com/2012/07/3111323738_a58fb5970d1.jpg?w=300> Acessado em novembro de 2015.

Foto 2- Exemplo de *Wildlive overpass*. Ponte para caranguejos, na Ilha Christmas, Austrália.



Fonte: autor desconhecido.²

De acordo com Forman (2010), as travessias por meio do dossel (*canopy crossing*) são estruturas designadas para conectar os habitats florestais sobre matrizes e rodovias que apresentam riscos para animais com hábitat limitados à copa das árvores, como os primatas, folívoros, por exemplo (**Foto 3**).

Foto 3- *Cannopy crossing*.



Fonte: Autor desconhecido³

² Disponível no sítio:< <http://hypescience.com/wp-content/uploads/2014/03/513.jpg>> Acessado em novembro de 2015.

As passagens de animais por debaixo da rodovia são mais comuns do que as passagens sobre a rodovia. Estas são indicadas para permitir a passagem de organismos de porte grande. É aconselhável que elas tenham pelo menos dez metros de largura e quatro metros de altura (**Foto 4**). Estas mesmas estruturas podem ser consideradas de multiuso permitindo a passagem de humanos, inclusive. Se forem projetadas para a fauna de menor porte, elas podem apresentar dimensionamento menor (**Foto 5**).

Foto 4-Passagem de animais por debaixo da rodovia para animais de grande porte, Quênia.



Fonte: autor desconhecido.⁴

³ Disponível no sítio:< <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRNoUgokb4cNqc37kxpK3OPxaIUBxTm5QBosoFbor8u65arGv56>> Acessado em novembro de 2015.

⁴ Disponível no sítio:< <https://petcivilufjf.files.wordpress.com/2014/09/passagem-subterr3a2nea-para-elefantes-no-quc3aania.jpg>> Acessado em novembro de 2015.

Foto 5- Passagem por debaixo da rodovia para animais de pequeno porte (répteis e anfíbios), Riacho Grande - SP.



Fonte: autor desconhecido.⁵

Os canais artificiais (rego ou *Modified Culvert*) são designados para a dispersão de animais de pequeno e médio porte, sobretudo para a fauna semiaquática, estes canais são importantes, pois podem conectar as áreas úmidas e sua biota, (**Foto 6**).

Foto 6- Estrutura de canal artificial aberto para conectar a fauna semiaquática nos Estados Unidos.



Fonte: autor desconhecido.⁶

⁵ Disponível no sítio:< <http://www.riachogrande.net/dersa/tunel.jpg>> Acessado em novembro de 2015.

3 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos permitem como resultados o mapeamento da susceptibilidade ambiental das rodovias ao atropelamento e a proposição de locais para a construção de passagens seguras para a fauna.

3.1 Mapeamento da susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre

Etapa 1- Mapeamento de densidade dos fragmentos

Os FVN da BHRA foram mapeados no **capítulo 2**. Para elaborar o mapa de densidade dos FVN da área de estudo, os mesmos em sua totalidade foram convertidos para pontos, por meio da ferramenta *feature to point* no software *ArcGis*. Depois, utilizou-se o modelo espacial de Kernel para estimar a densidade de fragmentos. Definiu-se um raio de 1 km. A classe da densidade está descrita na **Figura 3**.

A estimação de Kernel é um método de análise de padrões espaciais de eventos bastante empregado em diversas áreas de pesquisa, que tem como finalidade obter uma estimativa suavizada da densidade de eventos por unidade de área, uma propriedade de grande relevância para a análise do comportamento de processos estocásticos espaciais (Gatrell et al., 1996) (JESUS ; MIURA, 2009, p.3.944).

Figura 3- Classes de número de fragmentos florestais por km² na BHRA-MG.



Fonte: Reis (2015)

⁶ Disponível em:<https://www.environment.fhwa.dot.gov/wvctraining/mod4/images/mod4_slide_54.jpg>
Acessado em novembro de 2015.

Etapa 2- Grafos matemáticos

Para o mapeamento da susceptibilidade de atropelamento da fauna silvestre nas rodovias da BHRA utilizou-se a teoria dos grafos (discutida no capítulo 3). Forman (2010, p. 28-29) aponta sete modelos para o levantamento da conectividade do habitats, e o grafo matemático é um deles. Segundo este autor, utilizar apenas os dados de atropelamento é uma análise limitada. O mesmo sugere a combinação de dados de atropelamento com os modelos de movimentação da fauna silvestre. Para tal, serão utilizados os grafos desenvolvidos no capítulo 3, para espécies com poder de dispersão $\geq 3,6$ km. Metodologia *ipsis litteris* ao capítulo anterior.

Os fragmentos de 20 hectares foram selecionados para representar os nós do grafo, conforme metodologia proposta por Paese (2002). Como os FVN são polígonos, extraiu-se o oentróide⁷, de cada feição em formato de ponto, por meio da ferramenta *feature to point*, contida no software ArcGis. A triangulação para extração das arestas foi feita manualmente, depois foram selecionadas as áreas $\leq 3,6$ km.

Etapa 3- Mapa das rodovias da BHRA

A malha rodoviária da BHRA foi recortada do *shape* de rodovias do Zoneamento Ecológico e Econômico de Minas Gerais. Disponível no sítio:<<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>.

Etapa 4- Cruzamento das informações: Mapa de susceptibilidade de atropelamento da silvestre nas rodovias da para a BHRA.

Foi realizado o cruzamento dos *layers* de densidade de fragmentos e rodovias, por meio da ferramenta *Intersect* do software *ArcGis*. Após o cruzamento foram geradas as seguintes classes:

1. Susceptibilidade muito alta para os trechos das rodovias que cruzam áreas com muito alta densidade de FVN;
2. Susceptibilidade alta para trechos das rodovias que cruzam áreas de alta densidade de FVN;

⁷ O centróide é o ponto no interior de uma figura geométrica que define o centro geométrico. É preciso calcular a área do polígono, definir a quantidade de vértices e o sinal dos mesmos. E depois encontrar as coordenadas (x,y) do centróide (DAN SCIENTIA, 2009).

3. Susceptibilidade moderada para trechos das rodovias que cruzam áreas de densidade medianas de FVN;
4. Susceptibilidade baixa para trechos das rodovias que cruzam áreas com baixa ou muito baixa densidade de FVN.

Para o mapa de orientação para possíveis locais para implementação de passagens seguras para a fauna silvestre foram cruzados os seguintes *layers*: rodovias e densidade de FVN com os dos grafos. As classes geradas foram:

1. Necessidade alta: trecho da rodovia que passa por uma área com densidade de fragmentos alta e tiver grafos cortando-a.
2. Necessidade moderada: trecho da rodovia que passa por uma área com densidade de média de fragmentos e tiver grafos cortando-a;
3. Baixa necessidade: trecho da rodovia que passa por uma área com baixa ou muito baixa densidade de fragmento e tiver grafos cruzando-a.

Salienta-se que as áreas urbanas não foram consideradas, pois a resolução espacial das imagens, utilizadas para elaborar o mapeamento dos fragmentos florestais de vegetação nativa, (**Capítulo 2**) não permite o mapeamento das manchas nestas áreas.

4 Resultados e Discussões

A susceptibilidade é a probabilidade de ocorrência de algum fenômeno perigoso em um meio, ou seja, em uma escala espacial. Para avaliar o grau de susceptibilidade ambiental do meio é preciso avaliar qual a predisposição deste ambiente para a ocorrência de um evento perigoso. Já a vulnerabilidade é a perda de um conjunto de elementos em decorrência de um determinado processo perigoso, resume-se vulnerável é o ser vivo e suscetível é o meio.

Dessa forma, entende-se que as rodovias podem apresentar graus distintos de susceptibilidade ao perigo de atropelamento para a fauna silvestre. Isso varia conforme a disposição espacial desta na paisagem, ou seja, se a mesma está localizada próxima de habitats. Outro fator que aumenta o grau da susceptibilidade ao atropelamento é o tráfego das vias.

As rodovias brasileiras não possuem monitoramento da intensidade do tráfego de forma sistematizada e continua, portanto, este quesito não foi avaliado nesta pesquisa. Porém é de extrema importância para avaliação da susceptibilidade da rodovia ao atropelamento da fauna silvestre. Neste sentido levou-se em consideração, apenas a densidade de fragmentos florestais de vegetação nativa dispersas pela paisagem da BHRA, o cruzamento das rodovias por estas áreas e pelo modelo de dispersão dos organismos (grafo matemático).

Em um estudo sobre o atropelamento da fauna silvestre na BR- 153/Go-060 e constataram que 141 animais mortos por atropelamento nestas vias. “As aves foram apontadas como a classe mais afetada pelo trânsito de veículos, seguida pelos mamíferos, répteis e anfíbios.” (PRADO; GUIMARÃES, s.d, p.3) Destas três foram *Chrysocyon brachyurus* (Lobo-Guará), *Felis pardalis* (Jaguatirica) e *Myrmecophaga trydactyla* (Tamanduá Bandeira). A pesquisa desses autores constaram que o período de seca foi aquele com maior ocorrência de atropelamentos, uma vez que nesta época algumas espécies precisam locomover-se por extensas áreas em busca de recurso. Outro padrão encontrado foi o alto índice de atropelamento nos trechos próximos às áreas de fragmentos florestais nativos.

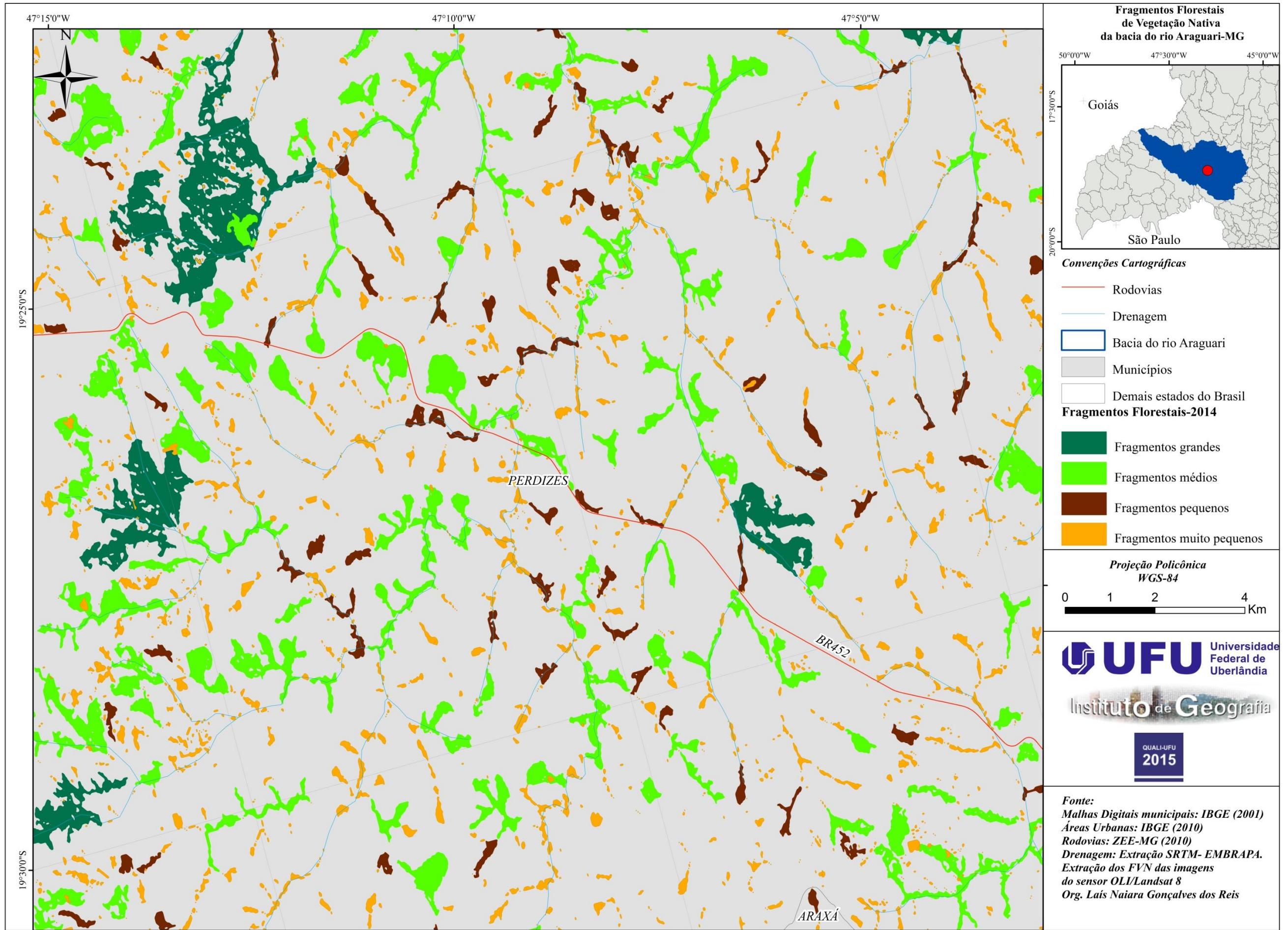
A reportagem exibida pelo Fantástico⁸, na edição do dia **22/03/2015**, estimou que 15 mil quilômetros de rodovias cortam Unidades de Conservação no Brasil.

“Muitas vezes, essas estradas são implantadas em locais aonde você vive de um lado da rodovia e do outro é a área de alimentação, é a área de reprodução ou faz parte da área de vida dele naturalmente. E com isso, ele se obriga a cruzar a rodovia e acaba sendo atropelado”, explica Alex Bager, diretor do Centro de Estudos em Ecologia de Estradas (FANTÁSTICO, 2015).

Na BHRA, observa-se muitos fragmentos de vegetação nativa próximos às rodovias, (**Mapa 1**).

⁸ Programa de televisão da emissora Globo.

Mapa 1- Exemplo da proximidade de fragmentos florestais de vegetação nativa próximos a rodovia, na BHRA-MG.



O Mapa 2 mostra a densidade dos FVN para a BHRA. Percebeu-se que a densidade mais alta se encontra próxima aos vales dos canais de drenagem, em função da própria declividade da bacia hidrográfica. As áreas com declividade elevada se configuram como resistência de ocupação para determinados fins (como por exemplo, a monocultura mecanizada), portanto a fragmentação dessas áreas ocorre, sobretudo, pela conversão das áreas de vegetação nativa para fins de pastagens. O padrão espacial das áreas de pastagem mostrou que existe uma quantidade expressiva de fragmentos florestais muito pequenos e pequenos espalhados por essa matriz. As áreas com baixa declividade foram ocupadas pela atividade da agricultura. Observa-se a evidência deste padrão espacial nas formas de relevo tabular da bacia (chapadas) que apresentam baixa densidade de FVN.

Os estudos de Barbosa et al. (2006) mostraram a conversão dos habitats para a pastagem e para a agricultura no município de Uberlândia:

O aumento das áreas de pastagens de 51.13% (1986) para 57.53% (2004) pode estar relacionada com o fato do relevo da área estudada ser bastante dissecado, o que impossibilita o uso da agricultura mecanizada. A grande parte das áreas de culturas anuais, perenes e irrigadas se localizam na porção sul do município (Brito e Prudente, 2005). A pecuária da região é uma atividade praticada por pequenos, médios e grandes proprietários, atendendo a finalidades de corte e leite. Porém, mesmo com os preços baixos, tanto da carne quanto do leite tem ocorrido a expansão de pastagens (BARBOSA et al. 2006, p.189).

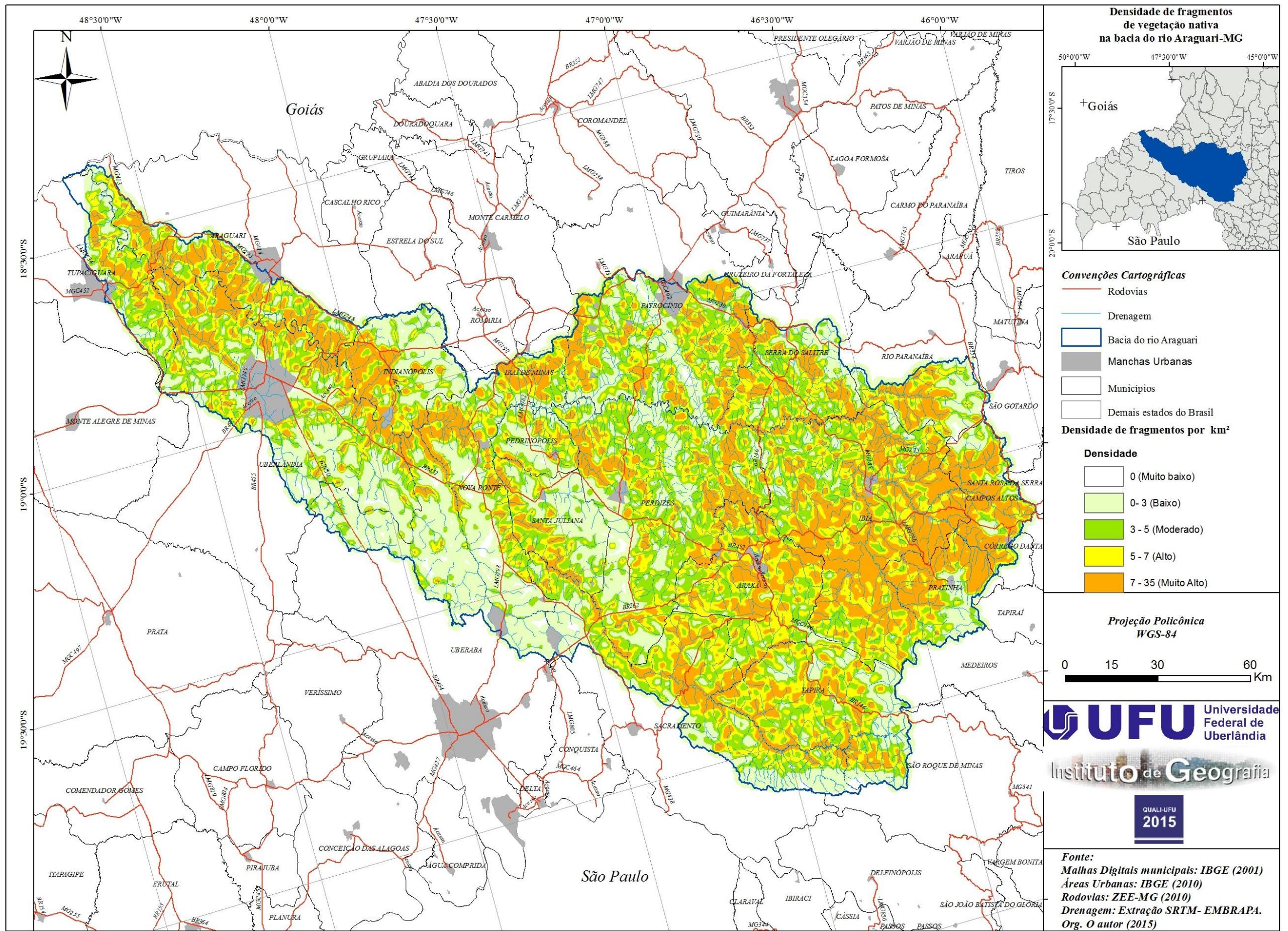
Segundo o Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas (CBEE), os pequenos vertebrados são aqueles que mais morrem nas estradas brasileiras, seguidos pelos vertebrados de médio porte e depois pelos de grande porte. A região sudeste e sul são as que apresentam mais dados de atropelamento da fauna silvestre, em função da extensa malha viária e fluxo do tráfego de veículos. (**Figura 4**)

Figura 4- Estatística do cenário de atropelamento de animais silvestres no Brasil.



Fonte: CBEE (2015).

Mapa 2- Densidade de fragmentos florestais nativos da BHRA-MG.



Este processo de conversão dos habitats implica no aumento do grau de fragmentação, bem como em alterações na diversidade faunística e florística. As rodovias se constituem como elementos de alta resistência no processo de dispersão dos organismos, por serem condutoras de veículos que são ameaças de morte por atropelamento para a fauna silvestre.

Os estudos de Silva et al. (2011) levantaram 133 animais atropelados na rodovia MG 427, inserida no bioma Cerrado. Como resultado da pesquisa concluíram que os atropelamentos apresentaram padrão de ocorrência nos trechos próximos aos fragmentos florestais de vegetação nativa e o atrativo do fluxo de caminhões de soja e milho que deixam cair grãos pela rodovia. “O intenso tráfego de caminhões que transportam grãos também contribui para os acidentes, pois inúmeros animais param na rodovia para consumir os grãos que caem dos mesmos” (SILVA et al., 2011, p. 3-4).

A BHRA apresenta 1.774,22325 km de malha viária. Conforme **Quadro 1**.

Quadro 1 - Quilometragem das rodovias da BHRA-MG.

Rodovias	Total de km
Acesso	54,97
BR050	102,95
BR146	119,75
BR262	188,39
BR354	35,04
BR365	138,61
BR452	237,65
BR455	10,89
BR497	22,78
LMG731	2,86
LMG734	7,17
LMG748	10,04
LMG749	13,26
LMG782	67,02
LMG795	0,03
LMG796	28,23
LMG798	23,22
LMG812	7,91
MG187	156,91
MG190	90,36
MG223	47,74
MG230	53,73
MG235	59,33
MG413	21,48

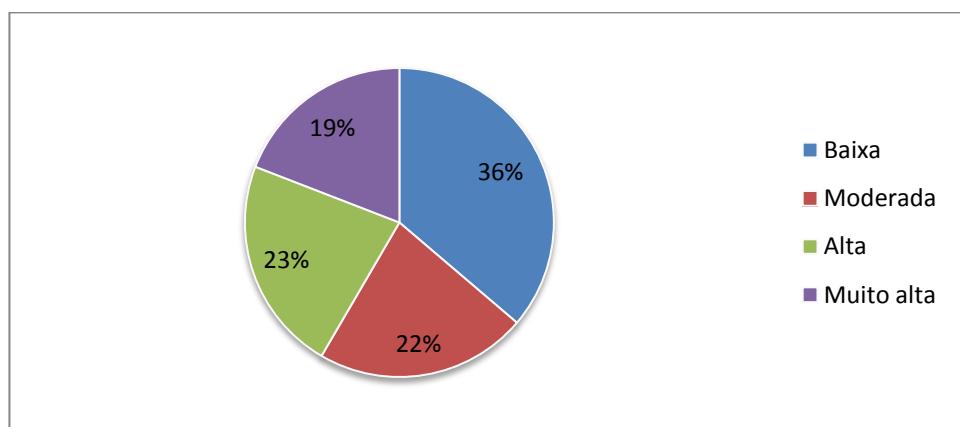
Continua

Conclusão

Rodovias	Total de km
MG428	83,03
MGC146	71,91
MGC452	0,63
MGC462	118,19
Total	1774,22

O Mapa 3 mostra o grau de susceptibilidade por trechos das rodovias ao atropelamento de animais silvestres na BHRA. Conclui-se que 60% das rodovias da área de estudo configuram-se com alguma susceptibilidade ao atropelamento da fauna silvestre. São 322,0978 km com alto grau, 322,6849 km com moderado grau e 410,8747 km com baixo grau de atropelamento da fauna silvestre. O Gráfico 1 sobre a susceptibilidade ambiental das rodovias ao atropelamento mostra que 42% das rodovias que cruzam a BHRA apresentam de alta à muito alta susceptibilidade ao atropelamento da fauna silvestre.

Gráfico 1- Susceptibilidade ambiental das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na BHRA-MG.



O Gráfico 2 mostra a quantidade em quilômetros dos trechos de susceptibilidade ambiental ao atropelamento por rodovias da BHRA. As rodovias Br-146, Br-262, Br-365, Br-452, Br-187, MG-187, MG-223, MG-428 apresentaram a maior parte de rodagem caracterizadas com susceptibilidade alta e muito alta ao atropelamento da fauna silvestre.

Mapa 3- Susceptibilidade das rodovias ao atropelamento da fauna silvestre da BHRA-MG.

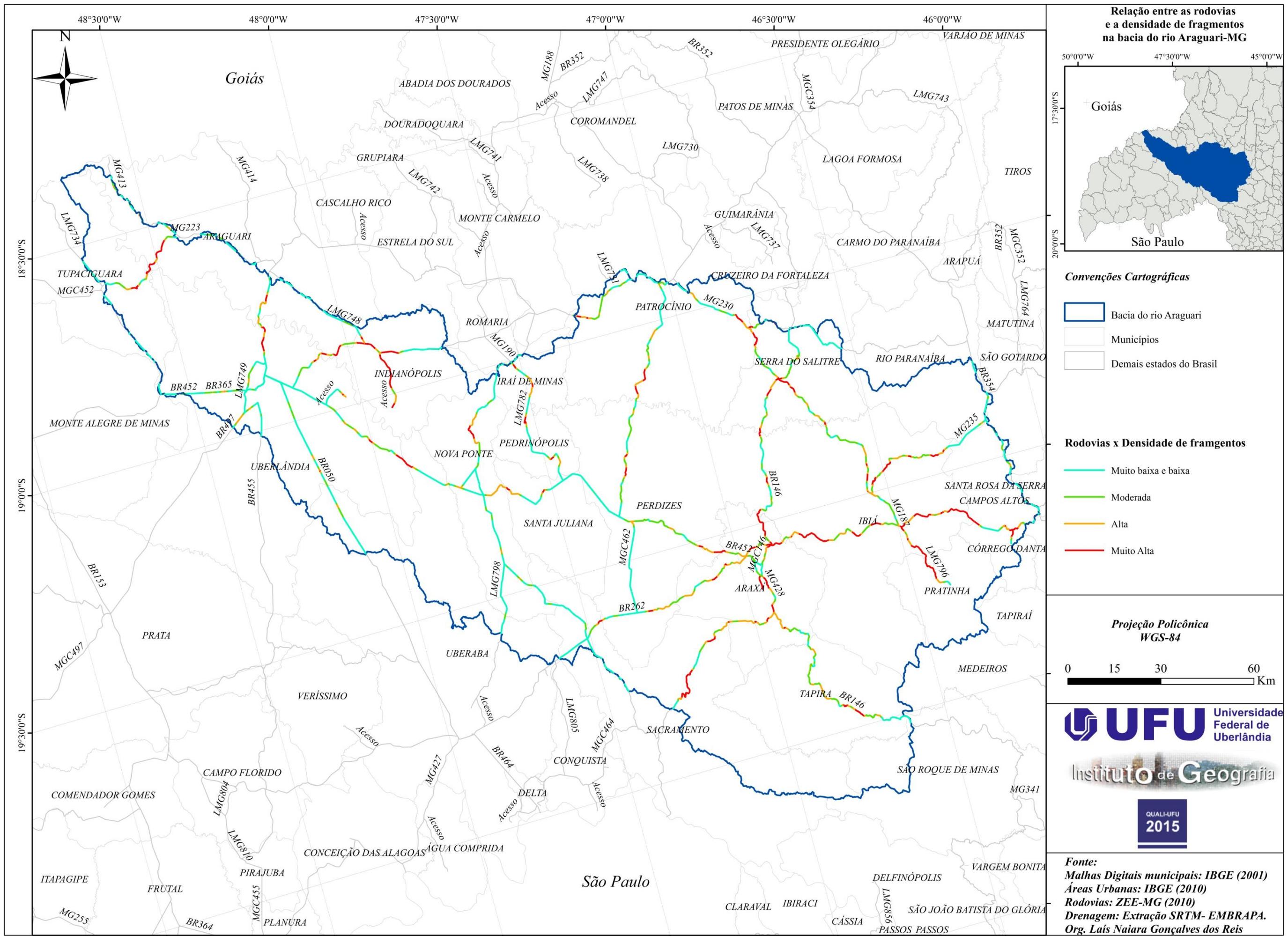
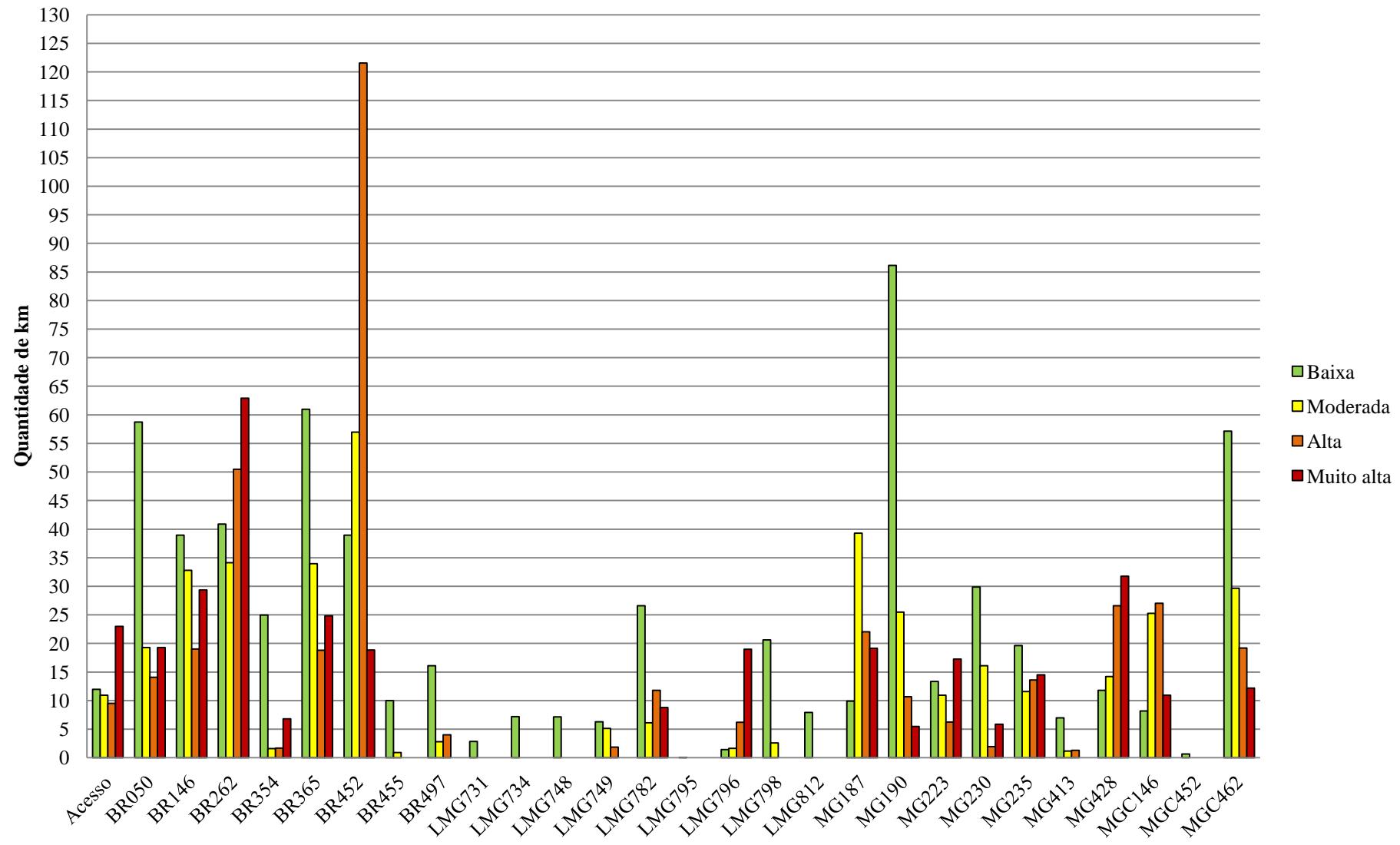


Gráfico 2- Trechos por susceptibilidade ambiental por rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na BHRA-MG.

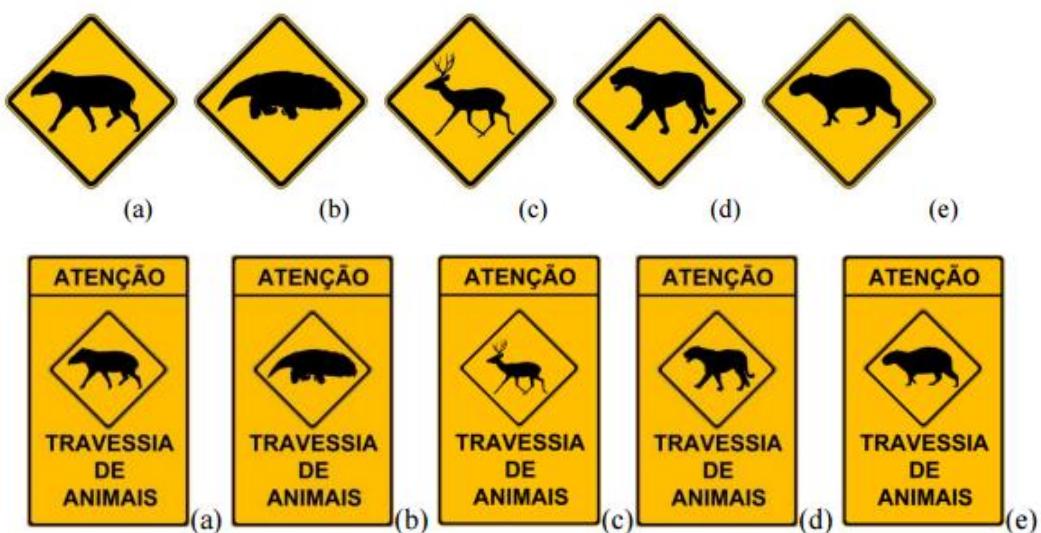
Trechos por susceptibilidade ambiental por rodovias ao atropelamento da fauna silvestre na bacia do rio Araguari-MG



Os autores Sobansk, Ratton e Ratton (2013) propuseram a sinalização para a rodovia da BR-262, no Estado do Mato Grosso do Sul, para que os usuários desta diminuam a velocidade e fiquem atentos para a passagem de animais silvestres na pista, (**Figura 5**). Para a BHRA, nos trechos das rodovias com susceptibilidade alta e muito alta, indica-se a instalação destas placas para alertar aos motoristas sobre o risco de acidente em função de um possível atropelamento de animal.

Ressalta-se que para a utilização da sinalização proposta, a mesma terá de ser primeiramente aprovada pelo Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, uma vez que o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, estabelece em seu Artigo 72 que: “Todo cidadão ou entidade civil tem o direito de solicitar, por escrito, aos órgãos ou entidades do Sistema Nacional de Trânsito, sinalização, fiscalização e implantação de equipamentos de segurança, bem como sugerir alterações em normas, legislação e outros assuntos pertinentes a este Código”. (SOBANSK, RATTON e RATTON, 2013, sp.)

Figura 5 - Placas de sinalização de possibilidade de travessia de animais silvestre pela rodovia.



- a- Anta b- Tamanduaí-bandeira c- veado campeste d- onça pintada e-capivara
Fonte: SOBANSK, RATTON e RATTON (2013).

Para que essas placas atinjam os efeitos esperados é preciso trabalhar com a Educação ambiental, pois estas podem ser ignoradas pelos usuários das rodovias no Brasil. Em conjunto as placas recomendam-se a instalação de redutores de velocidade e inclusive o uso de radares, forçando a diminuição da velocidade dos veículos, sobretudo para os trechos de alta a muito alta susceptibilidade ao atropelamento da fauna silvestre na BHRA.

Sabendo da ameaça que é o atropelamento dos animais nas rodovias, o **Mapa 4** indica a potencialidade de locais para a construção de passagens seguras (*wildlife passages*), evidenciando a relação entre os grafos (probabilidade de dispersão da fauna) e proximidade dos fragmentos com a rodovia. Foram sugeridos 19 locais com necessidade alta, 7 locais com necessidades moderadas e 6 locais com necessidades baixa. Para decidir quais os tipos de estruturas para a passagem de animais pela rodovia deve ser feito um estudo biológico para cada espécie. O **quadro 2** mostra a localização dos possíveis locais para a instalação das passagens seguras para a fauna silvestre. Os pontos com baixa necessidade são de 1 ao 6. Os de necessidade moderada são de 7 ao 13 e os demais para alta necessidade de implementação de passagens seguras.

Quadro 2- Localização dos pontos que indicam a necessidade de implementação de passagens seguras na BHRA-MG.

Id	X	Y
1	-47,24242219220	-19,26380957050
2	-48,44055667480	-18,88964964280
3	-46,83510184720	-19,32252033390
4	-46,85823599600	-19,89667594640
5	-47,42189353250	-19,61190425950
6	-47,22048739910	-18,94985218460
7	-47,17005532600	-19,45889675820
8	-47,10855796920	-19,07239157490
9	-47,19330132480	-19,61420922860
10	-47,52711674250	-19,15241893790
11	-46,46800760150	-19,44031113590
12	-47,02801160700	-19,70005032620
13	-48,23987258530	-18,75522498580
14	-46,43726534660	-19,68199243230
15	-46,48560411410	-19,60125575380
16	-46,93195248590	-19,69911457800
17	-46,92860400040	-19,64561058560
18	-46,72877550700	-19,57968774730
19	-46,90249837660	-19,48353211680
20	-47,17128693830	-19,13945383780
21	-47,63167087710	-19,27479622620
22	-47,89867524720	-19,17019657790
23	-47,89747106180	-18,97736086520
24	-48,49409372030	-18,56760270090
25	-48,57619326040	-18,62208919260
26	-46,54781785610	-19,46349167520
27	-46,78217965210	-19,11425798060
28	-47,84494843810	-18,91634554450

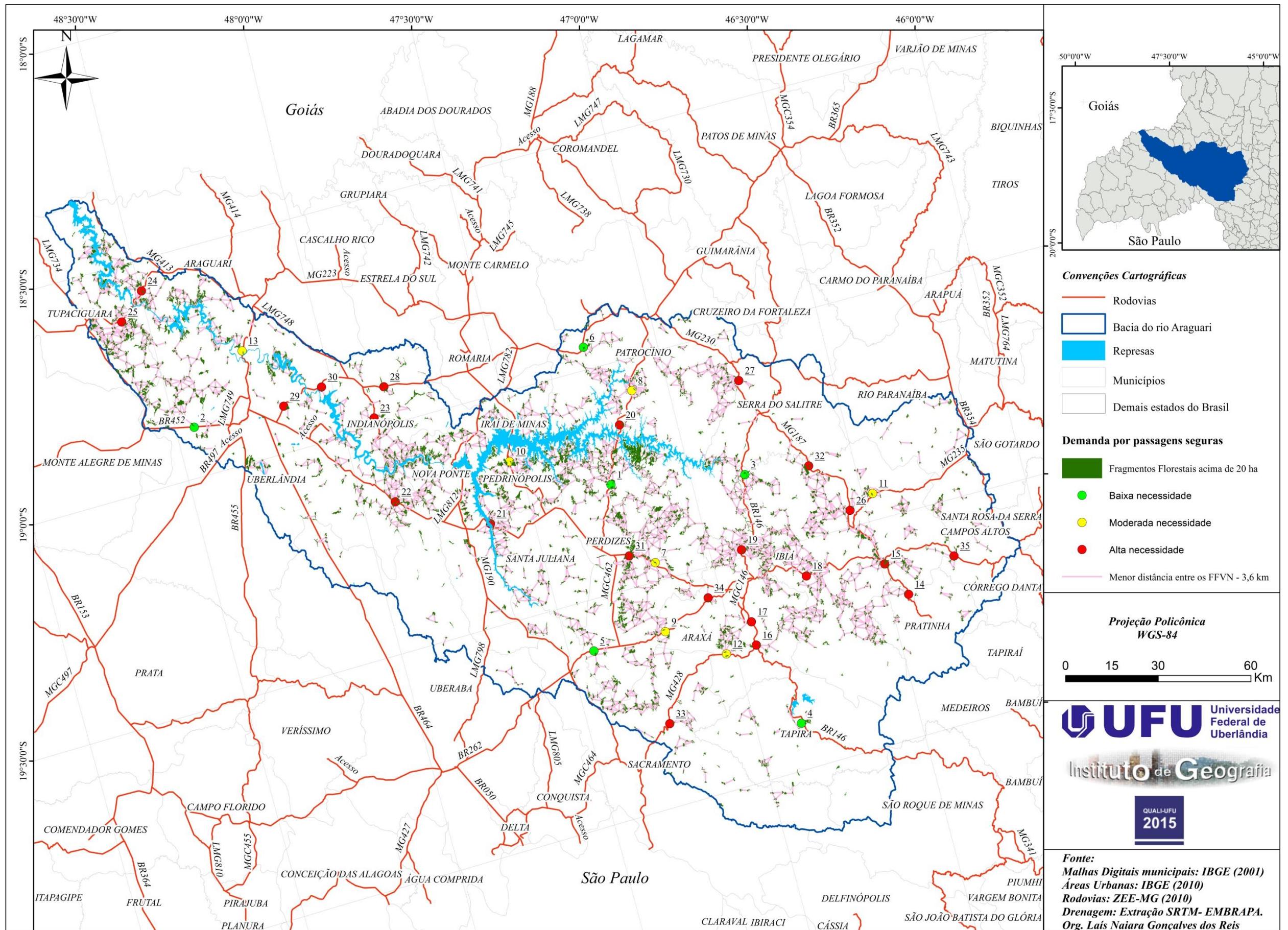
Continua

Conclusão

29	-48,15790101470	-18,89819409990
30	-48,03085937790	-18,87972942130
31	-47,24226611690	-19,42838666490
32	-46,63775338670	-19,34185514480

Fonte: Reis (2015)

Mapa 4- Orientação para possíveis locais para implementação de passagens seguras para a fauna silvestre na BHRA-MG.



4 Considerações Finais

Diante do desafio de incrementar a conectividade em função do problema da fragmentação dos habitats, as rodovias contribuem para este processo além do atropelamento de animais silvestres. A Ecologia de estradas é um tema importante, e contempla os métodos de investigação em Ecologia de Paisagens. Esse ramo de investigação ainda é pouco expressivo nas regiões neotropicais, além de não possuir um padrão metodológico de investigação. Portanto, este trabalho contribui metodologicamente para avaliar a susceptibilidade ambiental das rodovias ao atropelamento de organismos silvestres, por meio da análise de padrão espacial dos fragmentos e a proximidades destes das vias.

Como forma de mitigar esse problema, sugere-se a estrutura de passagens que apresentam a finalidade de conectar os fragmentos e melhorar a segurança do processo de dispersão da fauna silvestre. Para implementação dessas estruturas é preciso realizar um estudo ambiental do meio que é suscetível à ocorrência desses fenômenos, assim como é preciso conhecer o comportamento e a vulnerabilidade por grupo de espécies. A implantação sem conhecimento técnico poderá não alcançar o objetivo de incrementar a conectividade dos habitats fragmentados pelas rodovias e os casos de atropelamento podem não diminuir.

Para incrementar as análises da BHRA em Minas Gerais é preciso realizar o levantamento dos veículos que utilizam as rodovias, para estabelecer o padrão de fluxo do tráfego para cada uma das vias de circulação da área de estudo, sendo que quanto maior for o número de veículos nas rodovias, maior será a probabilidade de atropelamento do animal durante seu processo de dispersão.

Para propor o tipo de estrutura de passagem segura para os pontos indicados neste trabalho, é preciso uma investigação de comportamento e de população das espécies que se pretendem conservar. Dessa forma, a ecologia de estradas constitui-se como ciência interdisciplinar, destacando a importância da relação entre Geografia e a Biologia, como apropriadas para o estudo ambiental da conectividade de uma determinada paisagem.

Referências

- BARBOSA, J. M; BUENO, R. M. ; ROCHA, H. H. S. REZENDE, D. M.; COSTA, M. V. C. V. Mudanças na paisagem e uso do solo na área rural de Sobradinho, Uberlândia-MG.** Disponível em:<
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Mudancas_Paisagem_UberlandiaID-uatUg4dMmf.pdf> Acesso em: nov. 2015.
- BECKMANN; Jon P. et al. Safe passages: highways, wildlife, and habit connectivity.** USA. 2010. p. 396
- CASELLA, Janaina. Ecologia de estradas: Influência da Br-262 no desflorestamento e na perda da fauna silvestre por atropelamento no Sudoeste do Brasil, MS.** Tese de doutorado (2010). Disponível em:< <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp148625.pdf>> Acesso em Nov. 2015
- DNIT. Faixa de Domínio da rodovia.** Disponível em:<<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio>> Acesso em nov. de 2015.
- FANTÁSTICO. Quinze animais silvestres morrem atropelados em estradas por segundo**.
<http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2015/03/um-animal-silvestre-morre-atropelado-em-estradas-cada-15-segundos.html>. Edição do dia 22/03/2015.
- FORMAN, Richard, T. T. Land Mosaicas:** The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. 9^a ed. 2006. p. 1-604.
- LAUXEN, Mozart da Silva. A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão.** Disponível em:<
http://www.lauxen.net/conecte/referencias/Lauxen_2012a.pdf> Acesso em nov. de 2015.
- JESUS, Silvio Cristina; MIURA, Adalberto Koiti. Análise espacial de fragmentos de Cerrado como subsídio para a seleção de áreas prioritárias para conservação.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 3943- 3950. Disponível em:<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.46/doc/3943-3950.pdf>> Acesso em: nov. 2015.
- OLIVEIRA, Adriana Nepomuceno. Padrões espacial e temporal do atropelamento de mamíferos em uma rodovia no Cerrado brasileiro.** Dissertação de mestrado (2011). Disponível em:<http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4163> Acesso em: nov. 2015.
- PRADO, Tiago Rodrigues; GUIMARÃES. Monitoramento de animais silvestres atropelados em um trecho de mata fragmentado pela Br- 153/Go-060 .** Disponível em:<
<http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/resumos/270a.pdf>> Acessado em novembro de 2015.

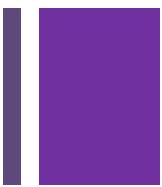
PRADO, Tiago Rodrigues; FERREIRA, Ana Maria Achtschin; GUIMARÃES, Zara Faria Sobrinha. **Efeito da implantação de rodovias no cerrado brasileiro sobre a fauna de vertebrados. (2006)** Disponível em:<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/215>> Acessado em novembro de 2015.

SILVA, Robison Moisés.; BORBA, Cristiano Humberto Osrine; LEÃO, Viviam Prado de Camargo; MINEO, Marina Faric. O Impacto das rodovias sobre a Fauna de vertebrados silvestres no Cerrado mineiro In:. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, vol.7, N.12; 2011 pp. 1-9.

SCOSS, Leandro Moraes. **Impacto de estradas sobre mamíferos terrestres: o caso do Parque Estadual do rio Doce, Minas Gerais.** 2002. Tese de doutorado. Viçosa: Universidade federal de Viçosa. Disponível em:<<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/scoss,lm.pdf>> Acessado em novembro de 2015.

SILVA, Júlio César Lázaro Da. "A estratégia brasileira de privilegiar as rodovias em detrimento das ferrovias"; Brasil Escola. Disponível em <<http://www.brasilescola.com/geografia/por-que-brasil-adotou-utilizacao-das-rodovias-ao-inves-.htm>>. Acesso em: nov. 2015.

SOBANSKI, Marcela Barcelos; RATTON, Philipe; Ratton, Eduardo. **Segurança rodoviária e conservação da vida selvagem.** Disponível em:<<http://www.itti.org.br/portal/images/Artigos/Marcela/securana%20rodoviria%20e%20conservao%20da%20vida%20selvagem%20.pdf>> Acesso em: nov. 2015.



Gestão e manejo da conectividade

Proposição de rede de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari em Minas Gerais.

RESUMO

Gestão e manejo da conectividade: Proposição de *network* de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, Minas Gerais

Como auxílio para incrementar a eficiência da gestão e manejo dos habitats destacam-se os corredores ecológicos. Estas estruturas conectoras de habitats são importantes para a dispersão de indivíduos o que possibilita a troca de fluxo gênico na paisagem de habitats fragmentados. A maior parte das metodologias de corredores ecológicos já existentes são oportunistas na escolha das áreas prioritárias para a conservação. Este capítulo tem como objetivo contribuir com outro modelo para a proposição destes corredores ecológicos, tendo como ponto de partida a necessidade dos organismos silvestres e não a viabilidade do uso da terra frente aos interesses econômicos. Os estudos prévios para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari indicaram a representatividade potencial de áreas para a ocorrência de indivíduos que apresentem poder de dispersão de até 3,6 km e apontaram algumas regiões que se configuraram como lacunas para a conservação deste gênero e outros com habitats e modo de vidas semelhantes. Dessa forma, o resultado do emprego da metodologia sugerida nesta pesquisa foi a proposição de *network* (rede) de corredores ecológicos com a finalidade de suprir estes espaços vazios apontados para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

Palavras-chave: Conectividade. Fragmentação. Corredor ecológico. Biodiversidade.

ABSTRACT

Management and handling of Connectivity: proposal Network of Ecological Corridors for Araguari river basin, Minas Gerais, Brazil

As an aid to increase management efficiency and management of habitats stand out ecological corridors. These habitats connector structures are important for the dispersion of individuals which enables the exchange of gene flow in landscape fragmented habitats. The methodologies of ecological corridors already exist are opportunistic in the choice of priority areas for conservation. This chapter aims to contribute another model for the proposition of these ecological corridors, taking as its starting point the need of the wildlife agencies, not the feasibility of land use across economic interests. Prior studies for the river basin of the Araguari river basin indicated the potential representative areas for the occurrence of Callicebus gender and pointed out some areas that are configured as gaps for the conservation of this genre and others with similar habitats and lives so. Thus, the result of the use of the methodology suggested in this work was the proposal of a network (net) of ecological corridors in order to fill these gaps pointed to the Araguari river basin.

Keywords: Connectivity. Fragmentation. Ecological corridor. Biodiversity.

1 Introdução

No Brasil, a figura dos corredores ecológicos está regulamentada por meio da Política Nacional de meio Ambiente; e do Decreto n. 3.179/99 (Regulamento); e da Lei n. 9.985/00 (SNUC); e do Decreto n.º 4.340, de 22/8/02. Este aparato Legal entende que as áreas de corredores ecológicos interligam as unidades de conservação e possuem o mesmo tratamento da zona de amortecimento destas. A criação de corredores ecológicos é importante, pois ajuda no processo de conservação da biodiversidade.

A biodiversidade possui valor econômico que é explorado por meio de serviços provedores (recursos naturais), serviços culturais (atividades educacionais e turismo) e serviços reguladores (ciclagem de nutrientes, matéria orgânica e captura de dióxido de carbono, etc.). Existe uma relação direta entre estes custos econômicos e os serviços ecossistêmicos perdidos, uma vez que a degradação dos habitats de vegetação nativa se dá por meio de impactos físicos e químicos ocasionados pelas atividades humanas, por meio de práticas não sustentáveis. Após séculos de apropriação da natureza, esta relação se configurou como forte ameaça à conservação da biodiversidade (TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2010).

Como auxílio para incrementar a eficiência da gestão e manejo dos habitats é importante estabelecer valor econômico para esta biodiversidade, bem como para as estruturas de conservação e preservação ambiental. Esta realidade é um esforço contemporâneo de pesquisadores e gestores públicos para a adoção da gestão ambiental sob uma perspectiva da valoração econômica dos recursos ambientais, uma vez que, este viés apresenta contrapontos ao discurso utilitarista da natureza, que tem como base para o crescimento econômico de um determinado território. Já que “[...] o papel do valor assume dimensão estratégica [...] como subsídio na intermediação das transações entre o homem e o meio ambiente” (MOTA, 2005, p.106).

Neste sentido, observa-se, desde o século XX, uma revolução internacional para alterar o uso da terra, criando áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, conhecidas como Unidades de Conservação (UC), tendo como um dos princípios fundamentais a restauração da conectividade dos habitats de Fragmentos de Vegetação Nativa (FVN). Este processo é feito por meio de estruturas conectoras entre as manchas de vegetação

nativa que busca contornar o problema da fragmentação florestal, (discutido nos **capítulos 2 e 3**), com objetivo de aumentar a dispersão de determinadas espécies da fauna e da flora. Dentre estas estruturas destacam-se os corredores ecológicos.

O Brasil apresenta alguns projetos sobre a implementação de corredores prioritários para a conservação de parques e reservas (**Figura 1**). Estas estruturas conectoras de habitats são importantes para a dispersão de indivíduos o que possibilita a troca de fluxo gênico na paisagem de habitats fragmentados. Para Rambaldi e Oliveira (2003), os corredores ecológicos minimizam os riscos de extinção de determinadas espécies. Desta forma, como esses ajudam na manutenção da biodiversidade é importante atribuir valor econômico para que os mesmos permaneçam preservados no território garantindo a qualidade dos serviços ecossistêmicos (provedores, culturais e reguladores) descritos por Townsend, Begon e Harper (2010). “Quanto vale economicamente as áreas de corredores ecológicos? Qual é o valor de espécies que transitam em áreas de corredores ecológicos?” (MOTA, 2005, p.106).

Figura 1 - Proposta para criação de corredores ecológicos no Brasil. Projeto Parques e Reservas (BRASIL-MMA, 1998).



Fonte: Ayres et al. (2005).

Apesar de a literatura internacional referir-se aos corredores ecológicos como: *biodiversity corridor*, *biological corridor*, *corridor networks*, *dispersal corridor*, *ecological corridor*, *habitat corridor*, *movement corridor* e *wildlife corridor*. Optou-se por destingui-los quanto a sua forma, basicamente, existem dois tipos (lineares e não lineares).

Os Corredores Ecológicos ou de Biodiversidade são porções de ecossistemas naturais ou seminaturais que ligam fragmentos de ecossistemas possibilitando o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquelas individuais (MUCHAILH, 2010, p. 36) .

O valor dos corredores ecológicos pode ser avaliado pelas funções que estes apresentam na paisagem, tais quais: minimizam o efeito da predação e do parasitismo; estabilizam os níveis de competição entre os indivíduos de um mesmo nicho; podem controlar as taxas de imigração dos organismos dos habitats, permitem a dispersão de polinizadores, e entre outros (WORBOYS; FRANCIS; LOCKWOOD, 2010).

A valoração econômica dos corredores ecológicos ainda é distante, uma vez que os esforços dos pesquisadores estão em busca de consolidação metodológica para a construção dos mesmos. Existem alguns trabalhos de metodologia para estabelecer os corredores ecológicos - Szmuchrowski e Martins (2001), Veronese (2009), Fonseca e Alves (2014) - que levaram em consideração a paisagem, onde aplicaram a Análise Hierárquica de pesos e de Superfícies de custo. Estes modelos consistem em atribuir pesos aos diferentes tipos de uso da terra e tipos de classes de declividade do terreno.

A crítica para estas metodologias é que os pesos menores (menor resistência para a instalação dos corredores ecológicos) são atribuídos para as áreas que já são de preservação permanente. Como essas já são garantidas por Lei não seria mais adequado para a biodiversidade garantir a conectividade entre outros fragmentos de vegetação nativa que estão distantes das matas ciliares? Em relação aos demais usos da terra, as áreas de agricultura recebem peso alto (elevada resistência para a instalação de corredores ecológicos). As áreas agricultáveis se constituem como forte barreira para a dispersão da fauna (**capítulo 3**), essas necessitam de incremento da conectividade para se tornarem permeáveis para a fauna e flora, melhorando os índices de percolação e permeabilidade da matriz.

Percebe-se que as metodologias para a construção de corredores ecológicos no Brasil, priorizam a economia, ao invés de considerar como essencial a necessidade da biodiversidade, independentemente, do uso da terra estabelecido. Por reconhecer o valor

econômico destas áreas, e a função de melhoria da qualidade dos habitats e, portanto, conservação da biodiversidade, este capítulo tem como objetivo contribuir com outro modelo para a proposição destes corredores ecológicos, tendo como ponto de partida a necessidade dos organismos da fauna silvestre, não a viabilidade do uso da terra frente aos interesses econômicos.

O bioma Cerrado encontra-se modificado, pela ação antrópica, em mais de 70% de toda a sua área de ocorrência. E a porção restante destes ecossistemas encontra-se fragmentados, sendo que em sua maioria configura-se em fragmentos que não apresentam condições mínimas viáveis para a manutenção de populações de plantas e animais silvestres (FELFILI; FAGG; PINTO, 2005).

Como amostra significativa do bioma Cerrado destaca-se a BHRA pela sua importância no cenário de uso múltiplos da terra, bem como por ser modelo de organização e gestão, por meio do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (CBH Araguari) que está preocupado com a gestão integrada e sustentável dos recursos naturais deste território. Salienta-se a importância do CBH Araguari para a implementação e gestão de práticas preocupadas com a biodiversidade da BHRA. Dessa forma, sugere-se a adoção de uma abordagem eco/biorregional que utiliza a gestão da conservação da natureza, o uso dos recursos naturais de forma sustentável, garantindo a repartição equitativa das responsabilidades e deveres aos usuários de uma bacia hidrográfica, ou qualquer outra delimitação espacial.

As principais características da gestão biorregional são: aplicação em regiões extensas e bioticamente viáveis; iniciativas de manejo; estruturas compostas de corredores ecológicos e zonas-núcleos; a sustentabilidade econômica; o envolvimento integral de grupos de atores sociais; haver integração interinstitucional; flexível, com manejo adaptativo; usar informações consistentes e compreensivas; habilidade cooperativa e buscar cooperação internacional; ter capacidade técnica e financeira (ARRUDA, 2005, p. 25.).

Neste sentido, os estudos prévios sobre a representatividade potencial de áreas para a ocorrência de indivíduos com habitat florestal e que possuam poder de dispersão de até 3,6 km (**capítulo 3**) indicaram algumas regiões que se configuraram como lacunas para a conservação desta fauna, em específico, e outros, com habitats e modo de vidas semelhantes, na BHRA. Deste modo, a proposição de um *network* (rede) de corredores ecológicos com a finalidade de suprir estes espaços vazios apontados pelo modelo do grafo matemático.

Estudos demonstram que espécies se movem com mais frequência entre os sistemas ligados por corredores que entre fragmentos desconectados (HADDAD, 1999).

Como a conservação da diversidade biológica envolve não somente a preservação das espécies, mas também da diversidade genética contida em diferentes populações, é essencial proteger múltiplas populações da mesma espécie, que nos “hotspots” estão cada vez mais isoladas e suscetíveis a eventos estocásticos de natureza genética ou demográfica, portanto, com maiores probabilidades de se extinguirem localmente (MUCHAILH, 2010, p. 36).

Diante disso, esta pesquisa apresenta a proposição de corredores ecológicos que possibilitarão áreas com alta densidade de fragmentos florestais que estão segmentadas pelas áreas produtivas (agricultura e pastagens). Acredita-se que mesmo com a existência de extensas áreas produtivas é possível garantir a qualidade dos habitats nativos por meio do incremento de áreas prioritárias para a conectividade dos mesmos.

2 Procedimentos metodológicos

Para a proposição de incremento da conectividade pela paisagem é preciso considerar os hábitos de uma espécie. Neste sentido, para demonstrar a metodologia foi utilizado os dados secundários de dispersão de espécies de até 3,6 km, conforme **capítulo 3**. A autora Paese (2002) em sua pesquisa trabalhou com o macaco Sauá.

2.1 Mapeamento dos fragmentos de vegetação nativa (2014)

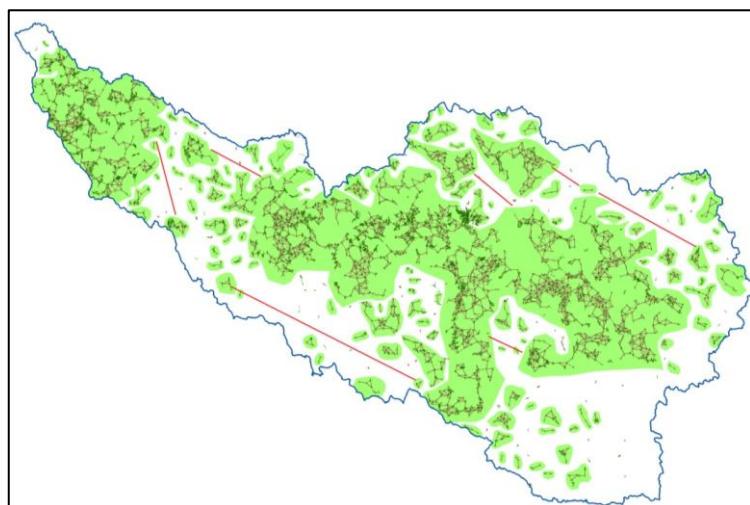
A metodologia de mapeamento dos FVN está descrita no **capítulo 2**.

2.2 Escolha das áreas prioritárias para a proposição do *network* de corredores

Para a escolha das áreas prioritárias para a conservação e a proposição dos corredores ecológicos, levaram-se em consideração os dados de percolação obtidos no mapeamento do **capítulo 3**. A partir destes dados, elegeu-se as áreas ausentes de sub-grafos para a proposição dos corredores não-lineares. A **Figura 2** mostra os espaços vazios, como opções para a proposição de corredores ecológicos. Uma vez identificadas as lacunas de FVN que formaram os sub-grafos, escolheu-se o primeiro nó de FVN do corredor ecológico, que se

encontra na divisa de um sub-grafo, com tamanho médio (entre dez e 100 hectares) ou grande (acima de 100 hectares) que deverá se ligar com outro fragmento médio ou grande. Para compor os nós de ligação entre o primeiro e o último FVN. Definiu-se a rota de cada corredor ecológica como sendo aquela que compreenda um maior número de FVN e que distem no máximo até 3,6 km. Na ausência de FVN já existente foram propostas as áreas para a recuperação e criação dos nós de ligação do corredor ecológico. A digitalização dos corredores ecológicos foi feita no software *ArcGis 10* disponível no laboratório SIGEO, do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, do Campus de Monte Carmelo em Minas Gerais.

Figura 2 – Exemplos de espaços sem sub-grafos do modelo de dispersão para a espécie X, com poder de dispersão de até 3,6 km, com habitat florestal.



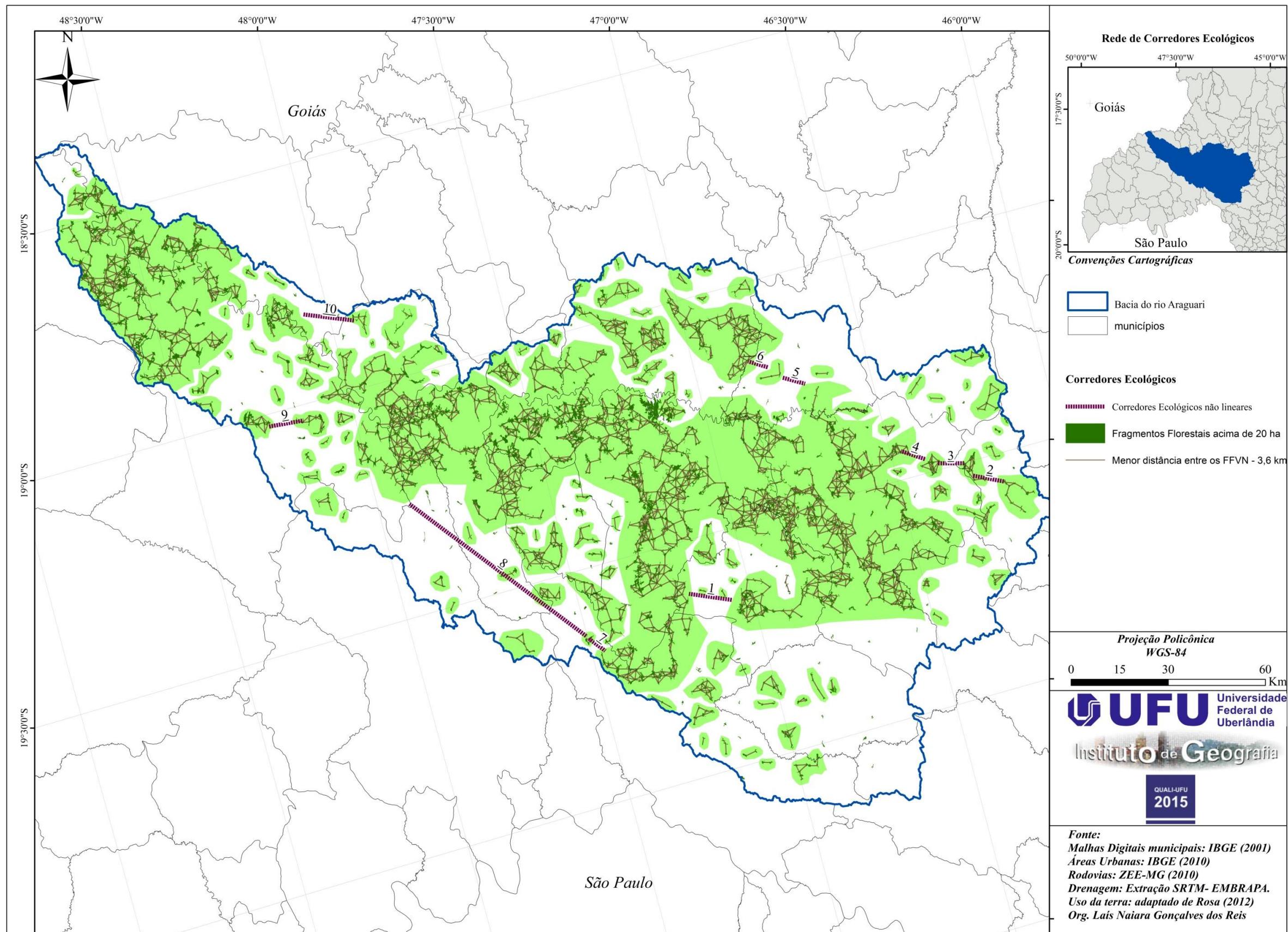
Fonte: Reis (2015).

3 Resultados e Discussão

A tipologia de corredor escolhida foi a de *stepping stones* (corredor não linear para promoção do efeito trampolim) para garantir a permanência e conectividade destes fragmentos sem alterações significativas nas áreas produtivas da BHRA. O *network* de corredores ecológicos¹ para a BHRA está composto por 10 trechos, sendo que, em menor escala, pode se considerar que os trechos 2, 3, 4, 5 e 6 formam um só corredor, assim como os trechos 7 e 8 também dão origem a apenas um corredor. Os corredores 1, 9 e 10 são independentes (**Mapa 1**).

¹ Os mapas de localização para cada FVN para cada trecho de corredor ecológico, bem como o banco de dados da métrica para cada um deles encontra-se nos Apêndices (A ao T)

Mapa 1 – Proposição de *network* de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



Como proposta para o corredor ecológico 1 destaca-se que o mesmo possui ~ 25 km de extensão, sendo composto por 28 unidades de FVN em que todos distam em até no máximo 3, 6 km. Este corredor está localizado no município de Sacramento em Minas Gerais. Os FVN (11 e 8) estão perforados, neste caso, é preciso restaurar estas áreas com indivíduos de vegetação nativa. Notou- se que, das 28 unidades de FVN, apenas o fragmento 1 é considerado grande, isto é, acima de 100 hectares, sendo este também aquele que apresenta o formato mais irregular, se distanciando da forma ideal que é um círculo. Este trajeto preserva 10 fragmentos médios, acima de 10 hectares e menor do que 100 hectares. A garantia deste corredor ecológico por meio de uma Lei específica asseguraria uma área de 600 hectares de vegetação nativa preservada, nas unidades de FVN, além de promover o aumento da percolação dos habitats da BHRA (**capítulo 3**).

O corredor ecológico 2 possui 9 km de extensão e apresenta 26 nós de ligação (FVN). Juntos, estes fragmentos somam cerca de 140 hectares de vegetação nativa. Destacam-se duas unidades médias e o restante está classificado nas categorias muito pequenas (até 5 hectares) e pequenas (entre 5 e 10 hectares). Nota-se que os fragmentos muito pequenos e pequenos são aqueles que apresentam melhor MSI, próximos do valor de 1. A criação deste trecho de corredor ecológico garantiria a preservação de aproximadamente 139 hectares de vegetação nativa, além de garantir a permanência destes fragmentos como abrigo para a fauna silvestre quando estiverem em dispersão.

O corredor ecológico 3 possui 10 km de extensão e 15 nós de ligação (FVN). Este trecho está localizado na divisa entre o município de Ibiá-MG e Campos Altos-MG. A somatória da área dos fragmentos interligados deste corredor equivale a cerca de 210 hectares de vegetação nativa. Observa-se que os FVN médios são aqueles que apresentam formatos mais irregulares, ou seja, distantes da figura geométrica do círculo. E também, nota-se que eles estão perforados. Recomenda-se a restauração de vegetação nativa nestas áreas com a função de diminuir as externalidades (luminosidade e vento) nestes habitats.

O corredor ecológico 4 possui 21 km de extensão e 19 nós de ligação (FVN). Este está localizado na divisa entre o município de Ibiá-MG, é cortado pela rodovia MG-235. É preciso utilizar dos elementos de transposição seguras por vias de

acesso (passagens seguras para a fauna Sivestre), conforme foram descritos no **capítulo 4**. Todos os fragmentos médios apresentam formas irregulares. Sugere-se a restauração destes fragmentos formando zonas tampões para regularizar as formas de acordo com um círculo, com a finalidade de diminuir a atuação do efeito de borda nestes habitats. Este trecho é muito importante, pois a preservação dos FVN do corredor ecológico 4 garante a estabilidade de 550 hectares de vegetação nativa, dispersas como abrigo temporário para a fauna.

A proposição do corredor ecológico 5 apresenta 18 km de extensão, possui 14 nós de ligação (FVN). Juntos, os FVN totalizam cerca de 150 hectares. Este trecho, também, é continuação do corredor que passa pelo município de Ibiá, formado pelos trechos 2, 3, 4, 5 e 6. De maneira geral, estes fragmentos apresentam formato regulares. Para os FVN médios recomenda-se a restauração com indivíduos da flora silvestre das áreas perforadas.

O corredor ecológico 6 apresenta 15,5 km de extensão e 20 nós de ligação (FVN) que juntos somam cerca de 180 hectares de vegetação nativa. Este trecho localiza-se no município de Serra do Salitre-MG. No geral, os FVN apresentam formato regular, portanto perímetro de borda menor do que se os mesmos fossem irregulares.

A proposta para o corredor ecológico 7 apresenta 7 km de extensão, com 12 nós de ligação (FVN). Este trecho está localizado no município de Sacramento-MG. Este trecho apresenta cinco fragmentos médios, sendo o fragmento 11 aquele mais irregular e que necessita de restauração florestal nas áreas perforadas.

O corredor ecológico 8 é muito importante, pois está localizado em uma área extremamente produtiva (agricultura) com pouca quantidade de FVN grandes. Este apresenta 96 km de extensão e 22 nós de ligação que totalizam 474 hectares de vegetação nativa . É necessário criar mais nós de FVN para aumentar a quantidade de habitats temporários neste trecho. Este trecho destaca-se pela quantidade de FVN médios (15 unidades). Sendo poucas manchas de FVN dispersas pela chapada, em função do uso intensivo para a agricultura. Dessa forma, é preciso incrementar a conectividade neste trecho com técnicas de nucleação.

A adoção de uma estratégia de nucleação, em que os núcleos passem a abrigar populações de árvores com tamanho mínimo viável, além de toda a flora de menor porte que exige menor área para realizar seus eventos reprodutivos, poderia acelerar o processo de restauração dos ambientes

silvestres, em corredores ecológicos, que hoje estejam muito fragmentados e que precisem ser rapidamente restaurados (FELFILI; FAGG; PINTO , 2005, p.192).

A proposição do corredor ecológico 9 apresenta 10, 5 km de extensão com 7 nós de ligação (FVN), que juntos somam cerca de 245 hectares de vegetação nativa. Este trecho está localizado no município de Uberlândia-MG e está segmentado pela rodovia Br-050. É necessária a instalação de infraestrutura para a passagem segura de animais silvestres por esta via. Cinco unidades de FVN são médias e apenas 2 pequenas. O fragmento 6 é aquele que mais se distancia do formato de um círculo, este é o que apresenta perímetro de borda maior, sendo aquele mais sujeito ao efeito de borda. Para remediar este efeito recomenda-se a criação de zonas de tampão para amortecer as externalidades provenientes da matriz.

E para finalizar, o corredor ecológico 10 apresenta uma extensão de 19 km e 20 nós de FVN que juntos somam cerca de 150 hectares de vegetação nativa. O trecho integra os municípios de Araguari e Indianópolis. Este corredor é segmentado pela rodovia Br-365, dessa forma, é preciso a instalação de alguma passagem segura por esta via. Contabilizou-se apenas 3 fragmentos médios. O restante caracteriza-se como pequenos ou muito pequenos FVN. O fragmento 20 é o que possui área mais irregular.

Observa-se a importância da permanência dos fragmentos pequenos e muito pequenos que servem de trampolim para a fauna durante o processo de dispersão. Deste modo, reforça-se a ideia proposta por FORMAN (2006) que disse que a presença de vários fragmentos pequenos nas proximidades de fragmentos maiores apresenta o papel ecológico de abrigo temporário para a fauna.

Para os corredores ecológicos lineares, o Artigo 3º da Resolução CONAMA 09 de 1996 estabeleceu a largura para os corredores que deverá ser de 10% (dez por cento) do seu comprimento total, sendo que a largura mínima será de 100 metros. Fixar estas medidas em áreas produtivas não é uma tarefa fácil, pois confronta diretamente com os interesses privados. Porém, não significa que não possam existir corredores ecológicos nestas áreas. Por isto, esta pesquisa preferiu a tipologia não linear. O Mapa 2 mostra a relação da proposição do *network* de corredores ecológicos para a BHRA e a matriz por onde passariam.

Alguns estudos sugerem formas de manejo das áreas de vegetação nativa para a conservação da biodiversidade, tais quais: recuperação das áreas de APP, criar

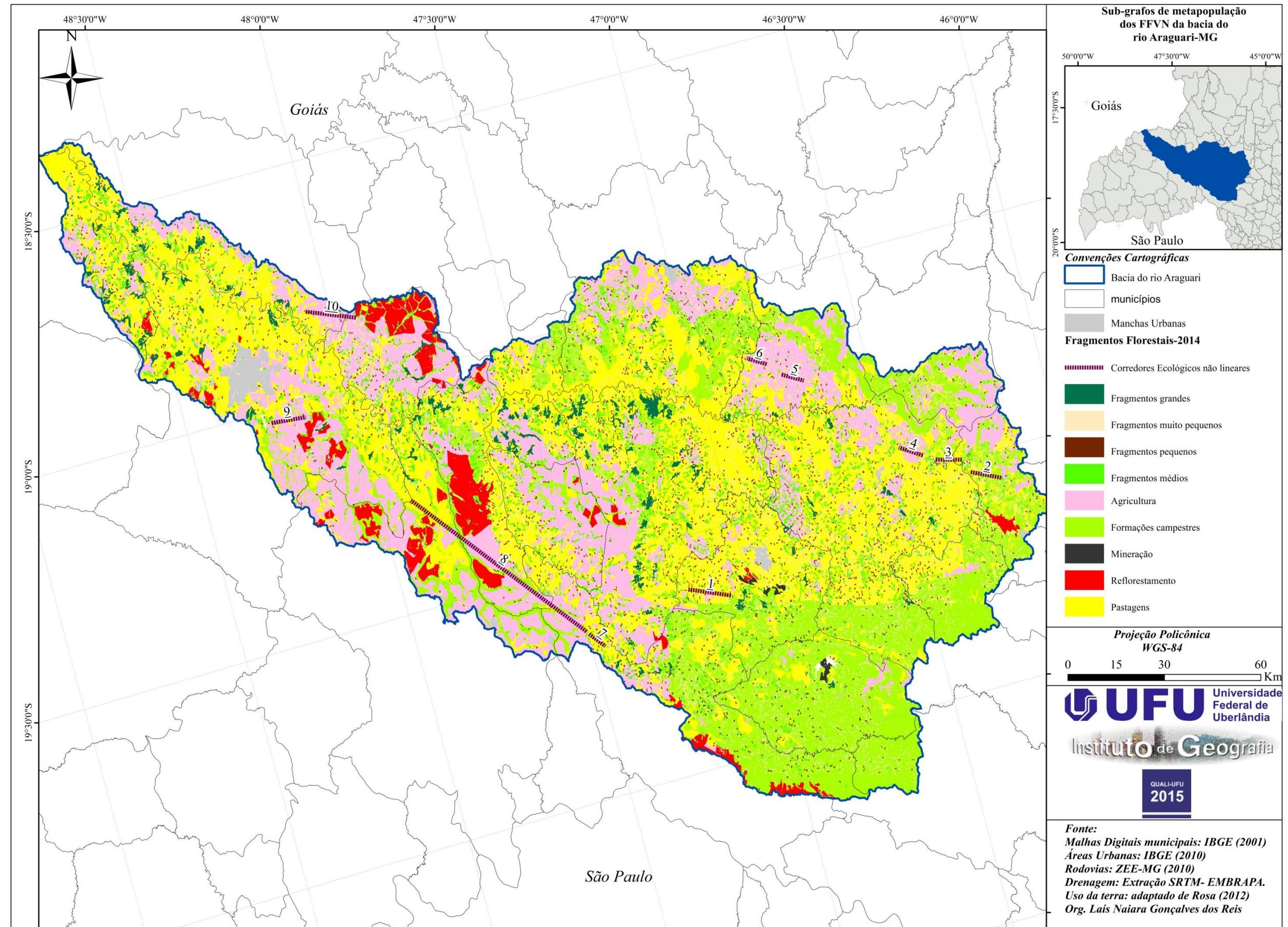
espaços nas áreas produtivas de habitats nativos, adoção e criação de corredores ecológicos, recuperação das áreas degradadas de vegetação nativa como APPs e RLs (**Quadro 1**). Destaca-se a sugestão de Forman (1996): “[...] manter mais que um fragmento grande e muitos pequenos distribuídos na matriz; manter corredores que promovam conexão entre os fragmentos [...]”.

Quadro 1 - Recomendações técnicas de estratégias para a conservação da biodiversidade.

AUTOR	RECOMENDAÇÕES
Forman (1995)	Manter grandes fragmentos de vegetação natural; Alta variação no tamanho dos fragmentos; Manter mais que um fragmento grande e muitos pequenos distribuídos na matriz; Manter corredores que promovam conexão entre os fragmentos; Manter a variabilidade genética.
Stritholt e Boerner (1995)	Manutenção de um sistema de áreas protegidas que contenha um mínimo de 25% de cada tipo das formações originais da vegetação, representando a diversidade regional.
Laurance et al. (1997)	a) Fragmentos com alto valor que contenham menos de 1% de seu habitat protegidos em reservas; mais que uma espécie endêmica; maiores que 300 ha; forma circular; diversidade de habitat maior que 2; distância entre outro fragmento menor que 100m; b) Fragmentos com valor mediano que contenham de 1 a 10% de seu habitat protegidos em reservas; pelo menos uma espécie endêmica; tamanho de 3 a 300 ha; forma intermediária; distância entre outro fragmento entre 100 e 1000m. c) Fragmentos com valor baixo que contenham mais de 10% de seu habitat protegidos em reservas; sem espécies endêmicas; menores que 3 ha; forma irregular; distância entre outro fragmento entre maior que 1000m
Kremen, Raymond e Lance (1998)	A área deve conter vários exemplos representativos dos tipos de habitats existentes; Proteger corredores que unam habitats naturais; Os corredores devem ser amplos suficientes para promover a movimentação de animais, o que inclui a definição de áreas e o estímulo para recuperação da vegetação nativa; Proteger mosaicos de habitats e zonas de transição; Dar ênfase à proteção de habitats ameaçados ou em perigo, bem como espécies localmente endêmicas.
McIntyre e Hobbs (1999)	O manejo para a conservação de paisagens alteradas deve cessar os processos de destruição e modificação; Priorizar a conservação do habitat menos modificado existente; Melhorias nos fragmentos remanescentes degradados; Redução de práticas agropecuárias impactantes; Restauração da conectividade; Restauração de fragmentos alterados visando ao retorno da condição original através de manejo de áreas críticas.
Metzger (2010)	Para formação de corredores ciliares, necessidade de expansão dos valores de APP's para limiares mínimos de pelo menos 100m (50m de cada lado do rio), independentemente do bioma, do grupo taxonômico, do solo ou do tipo de topografia. O limiar de 30% poderia ser considerado, como um limite mínimo de cobertura nativa que uma paisagem intensamente utilizada pelo homem deveria ter (sul do Brasil), permitindo conciliar uso econômico e conservação biológica. São as RL que permitem que a cobertura de vegetação nativa da paisagem fique acima dos limiares ecológicos, protegendo assim parte da biota nativa, e favorecendo os fluxos biológicos entre Unidades de Conservação.

Fonte: Adaptado de MUCHAILH (2010).

Mapa 2 – Relação entre as matrizes e a proposição do *network* de corredores ecológicos para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari-MG.



Os corredores ecológicos (1, 2, 3 e 7) possuem matriz de pastagem e os demais de agricultura intensiva. Felfili, Fagg e Pinto (2005) sugeriram o método de *stepping stones* para a conservação da biodiversidade em áreas produtivas.

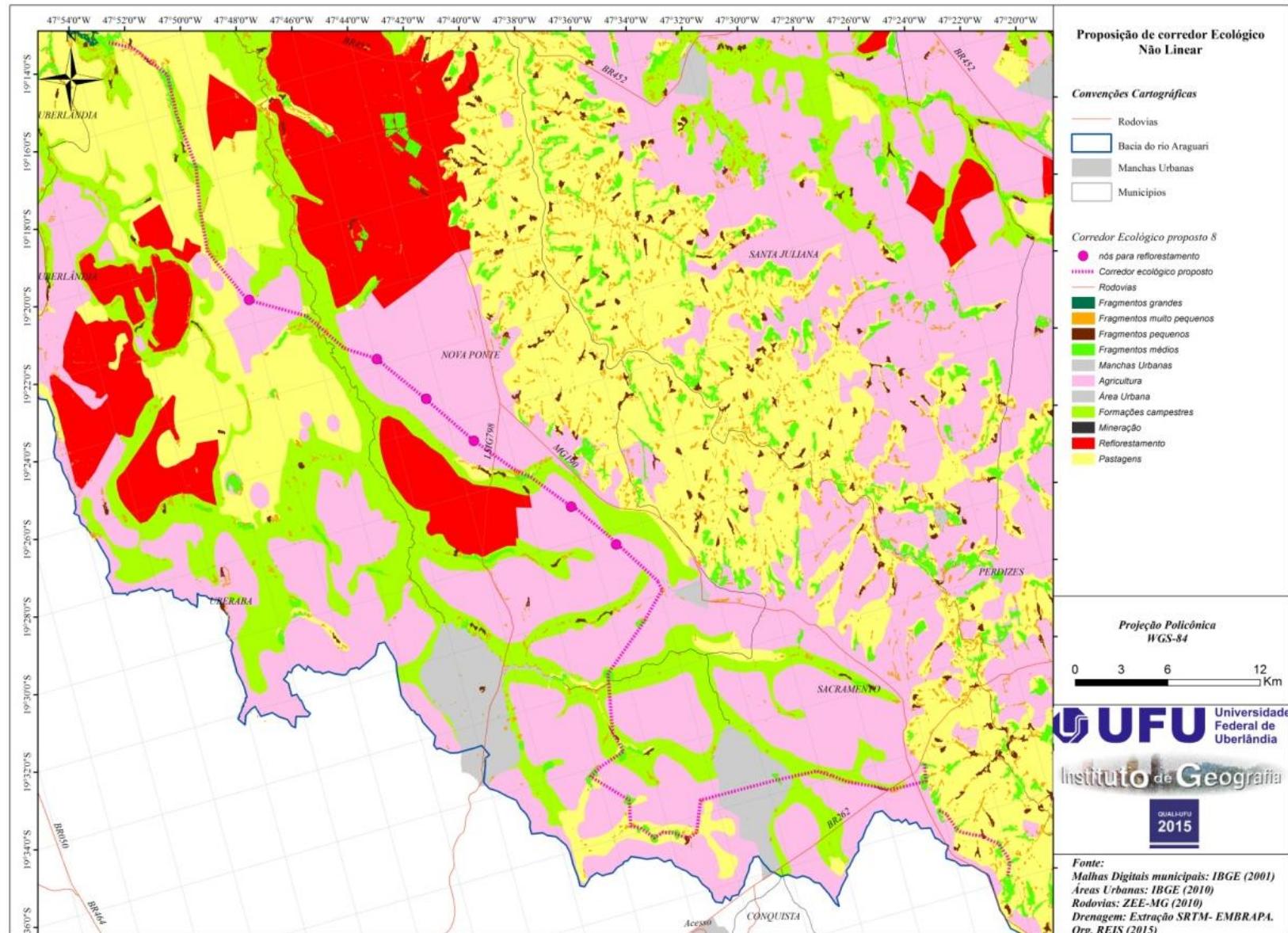
Para exemplificar soluções para conservação biodiversidade em áreas produtivas, a proposta do corredor ecológico 8 se dá em uma área em que a agricultura é predominante, e não há a existência de muitas manchas de vegetação nativa espalhadas pela região. Dessa forma, para implementação deste, é necessário criar habitats de vegetação nativa para incrementar a quantidade de *stepping stones* para a fauna silvestre (**Mapa 3**). “[...] as áreas recuperadas com espécies nativas do bioma funcionarão como *stepping stones* ou trampolins de biodiversidade, dando suporte a fauna e todos os mosaicos vegetacionais circunvizinhos e facilitando o fluxo gênico entre eles” (FELFILI; FAGG; PINTO , 2005, p.193). Para o estabelecimento dos nós de ligação para este corredor, indica-se o plantio das espécies nativa do Cerrado, conforme **Quadro 2**.

Quadro 2 - Proposta de espécies de uso múltiplo, nativas do bioma Cerrado, a serem utilizadas para a recuperação e/ou criação dos nós que foram propostos para os corredores ecológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

Nome científico	Nome popular	Fitofisionomia
<i>Hancornia speciosa</i>	Mangaba	Cerrado
<i>Eugenia dysentrica</i>	Cagaita	Cerrado
<i>Dimorphandra mollis</i>	Faveira ou Favela	Cerrado
<i>Solanum lycocarpum</i>	Lobeira	Cerrado
<i>Dipterix alata</i>	Baru	Transição Cerrado-Floresta Estacional
<i>Copaifera lanigera</i>	Copaíba	Mata de galeria, Cerradão e Cerrado.
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá-da-mata	Mata de galeria
<i>Ormosia stipularis</i>	Tento ou Olho-de-cabra	Mata de galeria
<i>Triplaris gardneriana</i>	Novateiro ou Pau-formiga	Floresta Estacional
<i>Inga cyindrica</i>	Ingá	Floresta Estacional, Mata de Galeria
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Aroeira	Floresta estacional
<i>Tibouchina candolleana</i>	Quaresmeira	Mata de Galeria
<i>Acacia polyphylla</i>	Angico-monjolo	Floresta Estacional
<i>Andeanthera</i>	Angico-vermelho	Floresta

Fonte: FELFILI; FAGG; PINTO (2005).

Mapa 3 - Proposição de locais para o estabelecimento de áreas de vegetação nativa para incrementar os nós de ligação (FVN) do corredor ecológico 8.



O desafio para os planejadores em relação a restauração da conectividade dos habitats perpassa pelo questionamento de como deve ser um corredor ecológico e quais espécies pretende-se atingir (FORMAN, 2006, p .243). Neste sentido, a biologia da conservação permite a abordagem da ecologia por um viés da restauração de um ecossistema, em que “o processo de alterar intencionalmente um local para restabelecer um ecossistema que ocupava aquele local originalmente” (PRIMACK; RODRIGUES, 2001, p. 251)

Neste contexto, os dados sobre as espécies são de extrema importância para o planejamento da conservação (*Connnectivity Conservation Management*), porém não se devem negligenciar outros aspectos da biodiversidade, bem como as características ambientais de seus habitats. “Primeiro porque a rede de áreas para conservação necessita proteger outros aspectos da biodiversidade, tais como ecossistema, habitat e processos ecológicos” (HIGGINS et al., 2004 apud HERMANN, 2008, p.172).

4 Considerações Finais

A gestão e manejo da conectividade dos habitats devem buscar por formas de assegurar a proteção da biodiversidade em todos os níveis hierárquicos. Para tal, é preciso avançar sobre as metodologias de corredores ecológicos já existentes, uma vez que a escolha para as áreas de proteção é oportunista e leva em consideração a parcela do solo que não é de grande valia para as demais atividades agrossilvopastoris, negligenciando, assim, a necessidade da biodiversidade.

A metodologia apresentada nesta pesquisa trata da seleção de áreas prioritárias para a conservação, pautadas na lacuna do modelo de dispersão do gênero *Callicebus*, mas ela não responde a questão de como conservar estes habitats. Para tanto, é preciso a implementação do *network* de corredores ecológicos propostos por meio de uma legislação específica, para que os mesmos estejam garantidos por Lei e possam ser alvo de programas de conservação da biodiversidade para a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

Verificou-se que as estratégias voltadas para a conservação da biodiversidade na BHRA, por meio do poder público, são praticamente inexistentes. Deste modo o processo de fragmentação dos habitats é um problema ambiental grave e precisa de políticas públicas e projetos que promovam o estudo técnico para uso da terra e cobertura vegetal natural da área de estudo. Para tal, acredita-se que o zoneamento ambiental seja uma ferramenta muito importante para solucionar tais questões e capaz de planejar programas e ações para garantir a estabilidade entre os serviços ecossistêmicos.

A proposição de um *network* de corredores ecológicos para a BHRA é um instrumento voltado para a conservação da biodiversidade regional, evidenciando as áreas concretas para que o Estado possa atuar no que tange à sua esfera administrativa convertendo estas áreas para Unidade de Conservação. Como as áreas de conservação requerem manejo especial ao seu entorno, pode-se atribuir ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Araguari a cooperação em gerenciar e aplicar um plano de manejo adequado para a região intermediando a relação entre as atividades econômicas da mesma e a biodiversidade da região.

Referências

ALVES, Débora Luiza de Almeida; FONSECA, Bráulio Magalhães. **Análise espacial para delimitação de áreas potenciais para corredor ecológico na bacia do Rio Santa Bárbara – MG.** Disponível em:<
http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/748/CT06-125_1404349704.pdf> Acesso em: dez. 2015.

ALVES, Hilda Susele Rodrigues. **Indentificação de bioindicadores e planejamento de mini-corredores ecológicos na área de proteção ambiental Costa de Itacaré / Serra Grande, Bahia.** (Dissertação de mestrado). Disponível em:
http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/mestrado/mdrma/teses/dissertacao_hilda_susele.pdf Acesso em: jan. 2015.

ARRUDA, Moacir Bueno. Corredores ecológicos no Brasil: o enfoque ecossistêmico na implementação da Conservação da Biodiversidade. In: ARRUDA, Moacir Bueno (org.) **Gestão Integrada de Ecossistemas aplicada a Corredores Ecológicos.** Brasília: IBAMA, 2006. 472p.

BERGHR, Idalúcia Schimith. **Estratégia para edificação de micro-corredores ecológicos entre fragmentos de Mata Atlântica no sul do Espírito Santo.** (Dissertação de mestrado, 2008) Disponível em:< <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp084276.pdf>> Acesso em: dez. 2015.

FELFILI, Jeanine Maria; FAGG Christopher William; PINTO, José Roberto Rodrigues. Modelo nativas do bioma stepping Stones na formação de corredores ecológicos, pela recuperação de áreas degradadas do Cerrado. In: ARRUDA, Moacir Bueno (org.) **Gestão Integrada de Ecossistemas aplicada a Corredores Ecológicos.** Brasília: IBAMA, 2006. 472p.

FORMAN, Richard, T. T. Land Mosaics: The ecology of landsacpes and regions. Cambriddge University Press. 9^a ed.,2006, p. 1-604.

HERRMAN, Gisele. **Manejo de paisagem em grande escala: estudo de caso no Corredor Ecológico da Mantiqueira, MG.** (Tese de doutorado, 2008). Disponível em:< http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/2008_12%20Manejo%20de%20paisagem%20em%20grande.pdf> Acesso em: dez. 2015

MOTA, José Aroudo. Valoração econômica da biodiversidade aplicada a corredores ecológicos. In: ARRUDA, Moacir Bueno (org). **Gestão Integrada de Ecossistemas Aplicada a Corredores Ecológicos.** Brasília, Ibama, 2006.

MUCHAILH, Mariese Gargnin. **Metodologia de planejamento da paisagem para sustentabilidade ambiental:** região Centro-Sul do Paraná. (Tese de doutorado, 2010). Disponível em:< http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2010/t297_0339-D.pdf

PRIMACK, Richard; RODRIGUES, Efraim. **Biologia da Conservação.** Londrina, 2001. p. 328.

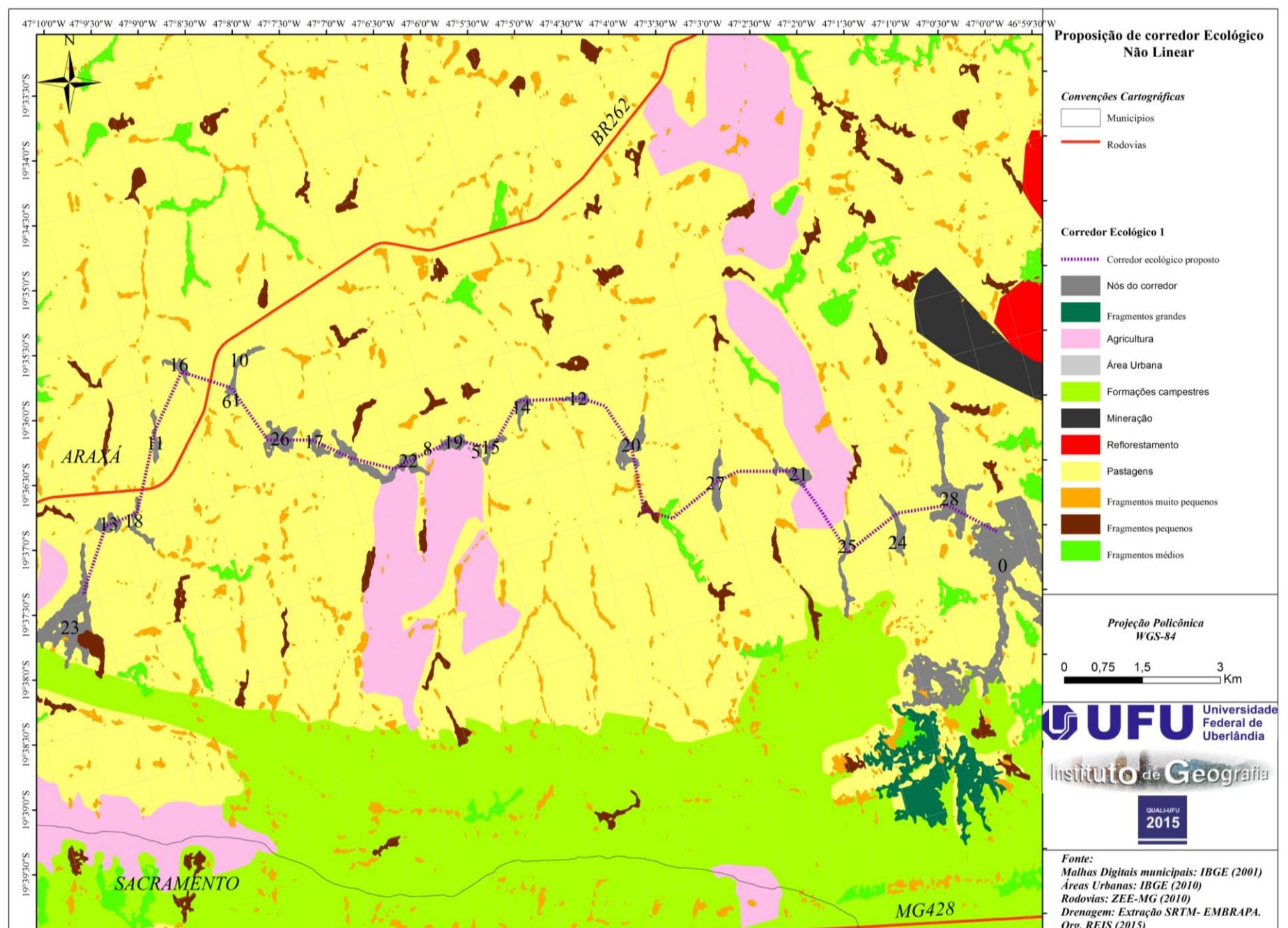
RAMBALDI, Denise Marçal; OLIVEIRA, Daniela América Suárez. **Fragmentação de Ecossistemas:** Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF, 2003. 510 p.

SZMUCHROWSKI, Mariusz Antoni; MARTINS, Iracy Coelho de Menezes. **Geoprocessamento para a Indicação de corredores ecológicos Interligando os fragmentos de florestais e áreas de proteção ambiental no Município de Palmas – TO.** Disponível em:< <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001/oral/115.pdf>> Acesso em: dez. 2015.

TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos de Ecologia.** 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. P. 576.

VERONESE, Juliana Vasconcelos. **Análise de fragmentos florestais e proposição de corredores ecológicos com base no Código Florestal – Lei 4.771/65:** Aplicação na Serra do Brigadeiro – MG (2009) trabalho de conclusão de curso Engenharia Florestal. Disponível em:< <http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-Juliana-Veronese.pdf>> Acesso em: dez. 2015.

WORBOYS, G. L; FRANCIS, W. L; LOCKWOOD, M. **Connectivity Conservation Management:** a Global Guide . UK: Coupromwell G , 2010, pp. 1-382.



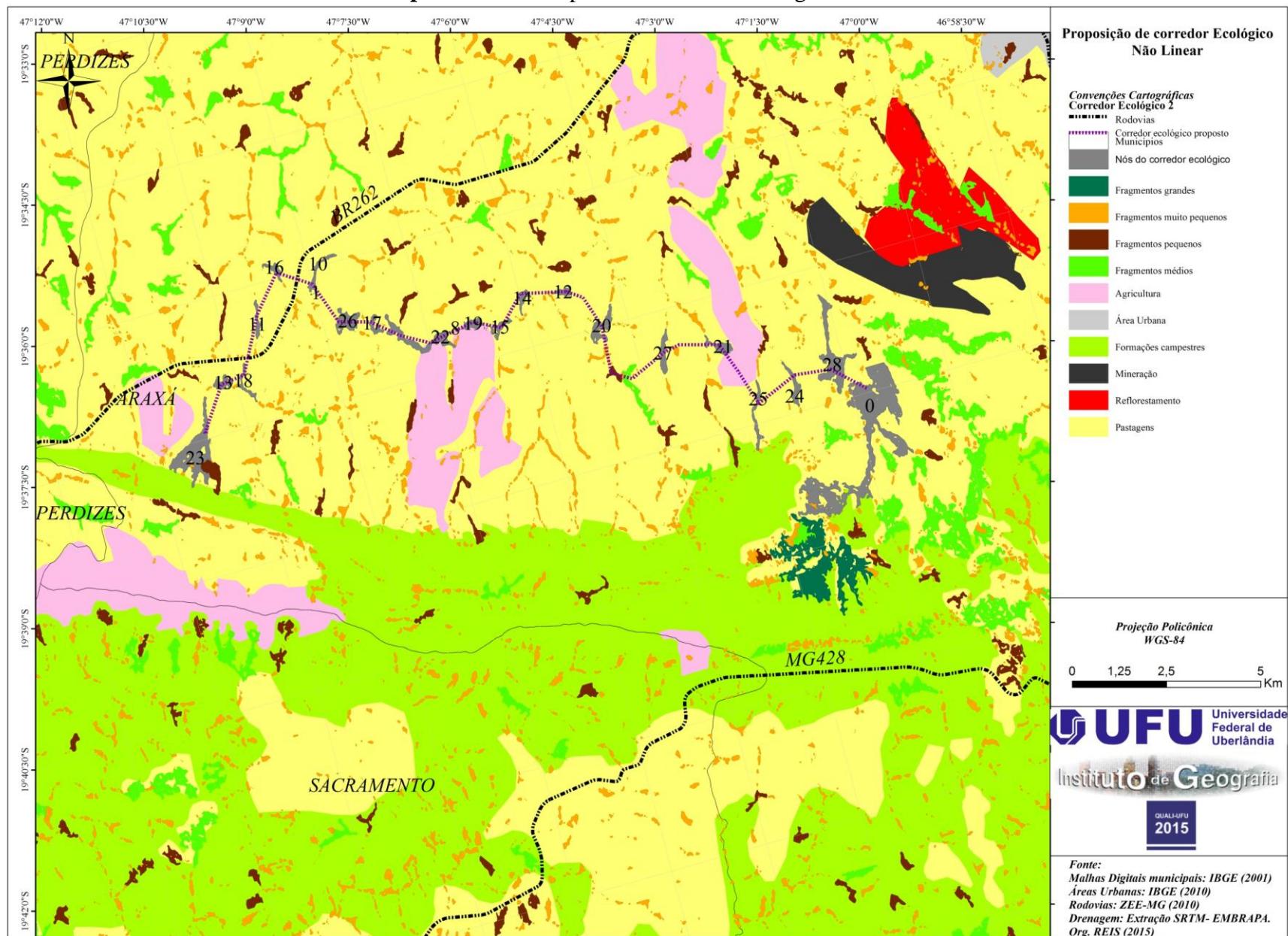
Apêndice B – Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 1.

ID	CA	TE	ED	MSI
0	277,6234	32753,98	0,01	5,55
1	0,7361	444,36	0,06	1,46
2	0,1173	146,61	0,12	1,21
3	0,0220	60,81	0,28	1,16
4	0,0220	60,81	0,28	1,16
5	1,2136	507,97	0,04	1,30
6	0,1174	128,87	0,11	1,06
7	0,0220	60,83	0,28	1,16
8	0,4681	254,39	0,05	1,05
9	0,2371	189,78	0,08	1,10
10	11,9484	3072,47	0,03	2,51
11	8,0730	2451,28	0,03	2,43
12	6,9457	1418,57	0,02	1,52
13	11,2214	2209,31	0,02	1,86
14	8,5571	1853,92	0,02	1,79
15	7,0884	1771,90	0,02	1,88
16	8,2968	1933,72	0,02	1,89
17	8,5385	1948,96	0,02	1,88
18	8,4519	2828,43	0,03	2,74
19	10,6555	1695,90	0,02	1,47
20	22,2891	3973,54	0,02	2,37
21	14,9995	2526,25	0,02	1,84
22	37,4279	6342,67	0,02	2,92
23	80,5233	9770,02	0,01	3,07
24	14,2155	3099,51	0,02	2,32
25	14,8412	4269,63	0,03	3,13
26	23,8619	3365,37	0,01	1,94
27	15,0006	2702,63	0,02	1,97
28	61,7195	8909,59	0,01	3,20

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice C – Proposta de corredor ecológico 2.



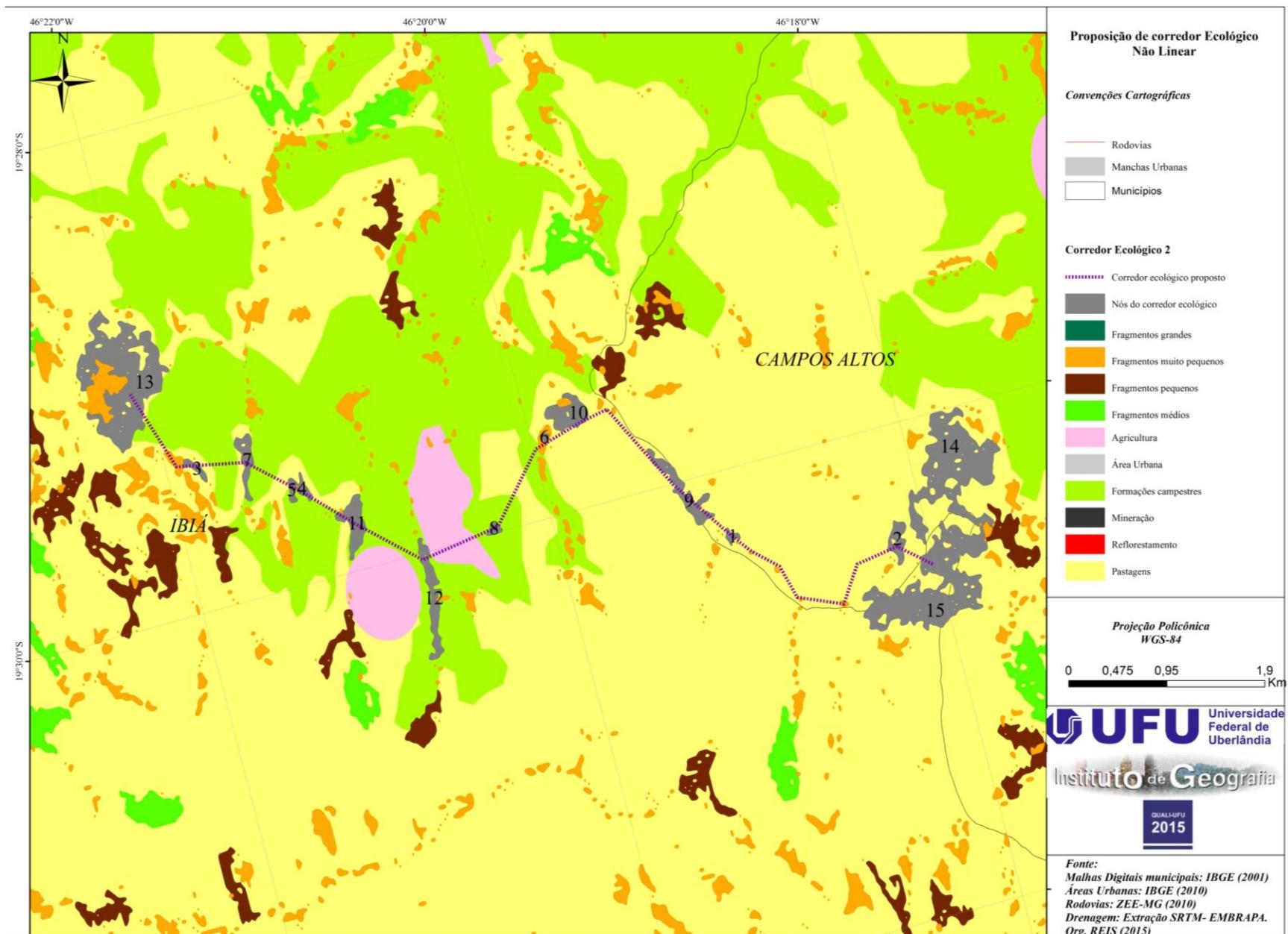
Apêndice D - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 2.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	0,7202	481,76	0,07	1,60
2	0,3565	247,64	0,07	1,17
3	0,8427	416,14	0,05	1,28
4	0,3564	230,36	0,06	1,09
5	1,0826	603,36	0,06	1,64
6	0,4873	285,34	0,06	1,15
7	0,3551	240,55	0,07	1,14
8	2,1721	678,47	0,03	1,30
9	2,8519	1017,18	0,04	1,70
10	3,7148	1340,64	0,04	1,96
11	0,9062	477,24	0,05	1,41
12	2,3781	928,13	0,04	1,70
13	1,1446	458,51	0,04	1,21
14	0,9738	535,34	0,05	1,53
15	0,7056	352,90	0,05	1,19
16	3,7600	979,64	0,03	1,43
17	2,4132	598,59	0,02	1,09
18	0,5965	291,90	0,05	1,07
19	0,4643	252,43	0,05	1,04
20	0,5965	306,25	0,05	1,12
21	0,1164	128,44	0,11	1,06
22	4,0929	1476,57	0,04	2,06
23	0,4885	280,38	0,06	1,13
24	0,8388	445,81	0,05	1,37
25	55,1121	9303,77	0,02	3,54
26	52,0822	10111,04	0,02	3,95

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice E – Proposta de corredor ecológico 3



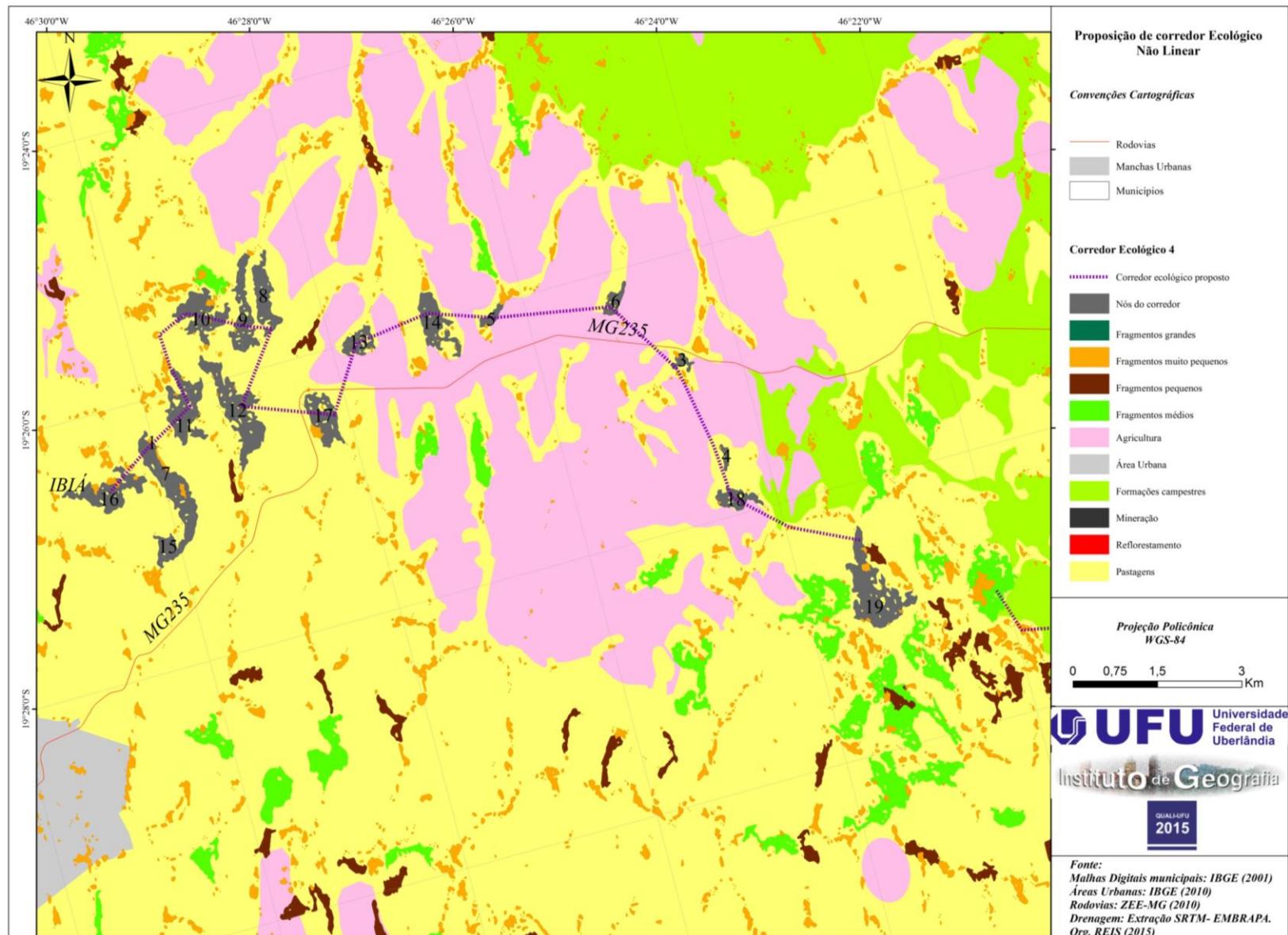
Apêndice F - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 3.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	1,11	561,18	0,05	1,50
2	4,50	322,72	0,03	1,76
3	1,88	761,23	0,04	1,57
4	1,77	722,72	0,04	1,53
5	1,50	620,77	0,04	1,43
6	0,48	288,40	0,06	1,17
7	5,45	1710,66	0,03	2,07
8	1,21	459,12	0,04	1,18
9	9,32	2727,26	0,03	2,52
10	8,91	1674,37	0,02	1,58
11	8,28	1705,64	0,02	1,67
12	9,76	2952,45	0,03	2,67
13	54,43	8938,92	0,02	3,42
14	47,31	8271,83	0,02	3,39
15	55,18	8982,23	0,02	3,41

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice G – Proposta de corredor ecológico 4.



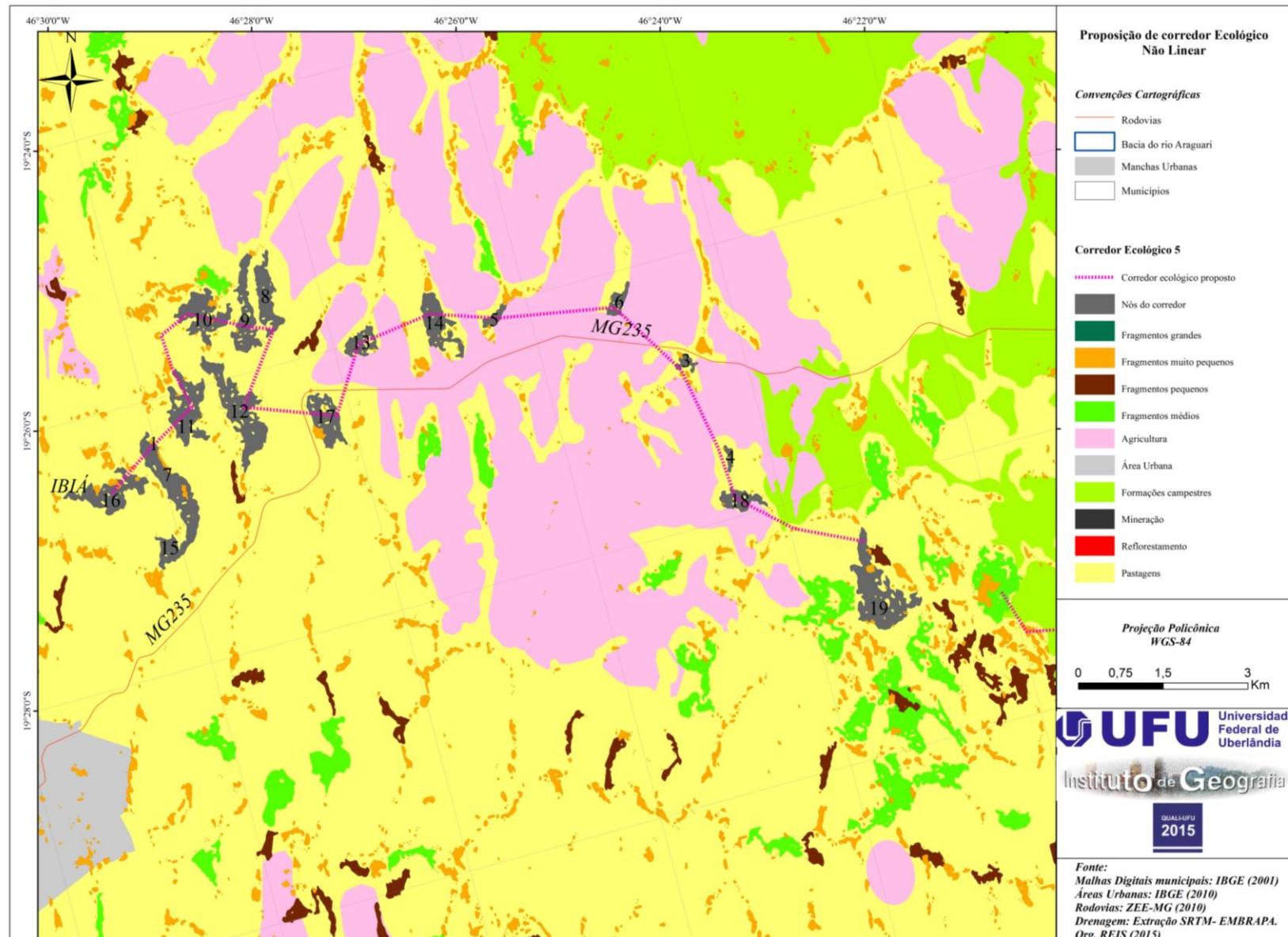
Apêndice H - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 4.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	0,7417	400,382	0,054	1,311
2	0,0693	108,899	0,157	1,166
3	5,5052	1580,309	0,029	1,900
4	3,6840	1202,101	0,033	1,767
5	6,8039	1475,327	0,022	1,596
6	10,4225	2598,083	0,025	2,270
7	8,3955	2660,196	0,032	2,590
8	32,8594	5398,969	0,016	2,657
9	37,6755	7266,170	0,019	3,339
10	42,7708	7076,363	0,017	3,052
11	48,7348	8253,462	0,017	3,335
12	67,9237	10188,300	0,015	3,487
13	16,7730	3923,009	0,023	2,702
14	35,8747	5698,379	0,016	2,684
15	63,1431	11510,221	0,018	4,086
16	41,0109	7369,073	0,018	3,246
17	33,0854	5534,340	0,017	2,714
18	17,8819	3408,313	0,019	2,274
19	77,4129	10871,439	0,014	3,486

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice I – Proposta de corredor ecológico 5.



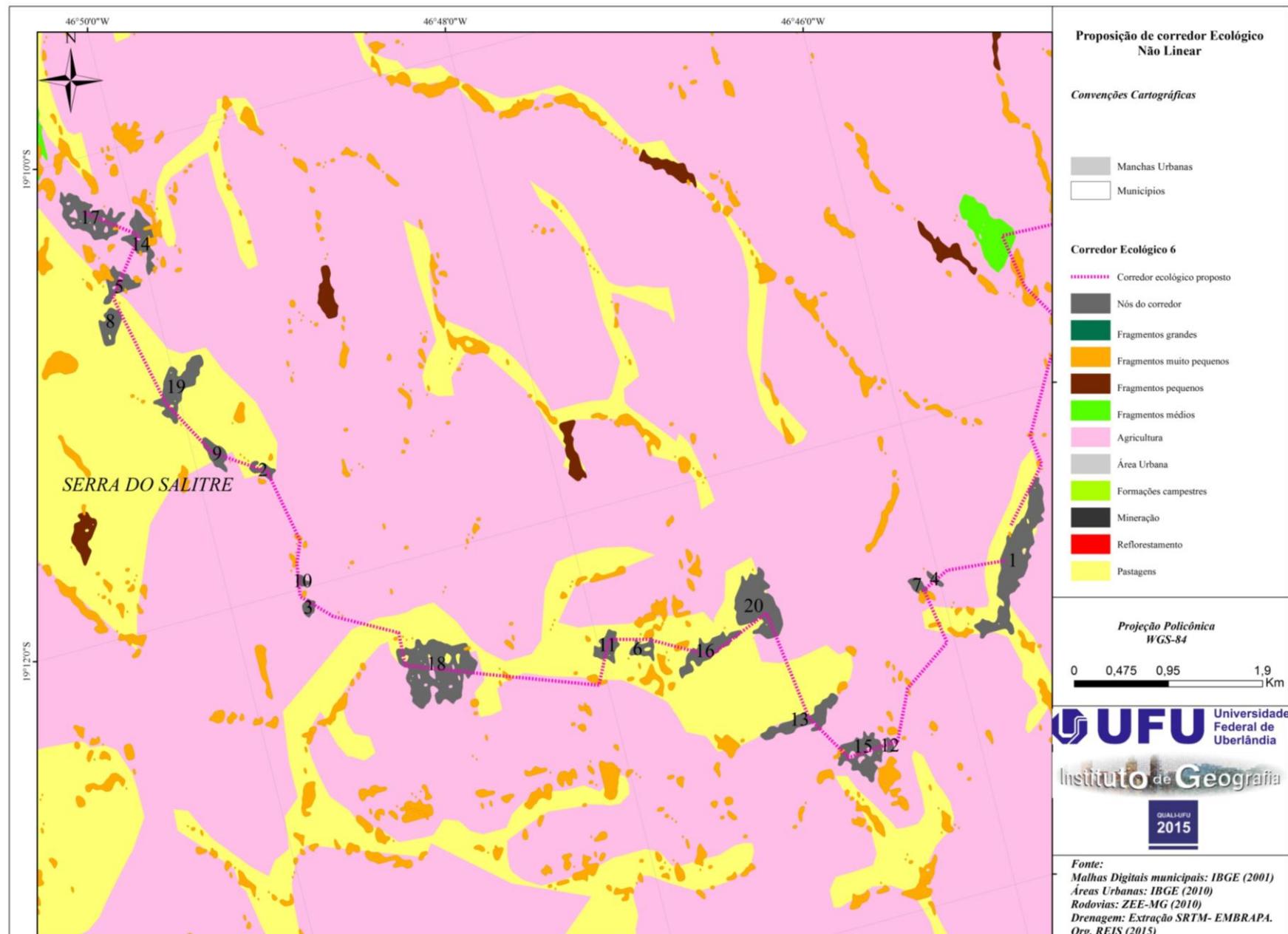
Apêndice J - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 5.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	0,02200	60,76	0,28	1,16
2	0,84398	345,63	0,04	1,06
3	1,71270	599,99	0,04	1,29
4	0,71376	372,05	0,05	1,24
5	0,35925	231,24	0,06	1,09
6	0,35801	267,09	0,07	1,26
7	0,61456	331,01	0,05	1,19
8	11,42823	1717,70	0,02	1,43
9	10,45252	1955,08	0,02	1,71
10	35,42506	3494,36	0,01	1,66
11	24,53479	4189,26	0,02	2,39
12	30,33820	4884,50	0,02	2,50
13	20,96542	2356,85	0,01	1,45
14	15,71544	2203,11	0,01	1,57

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice K – Proposta de corredor ecológico 6.



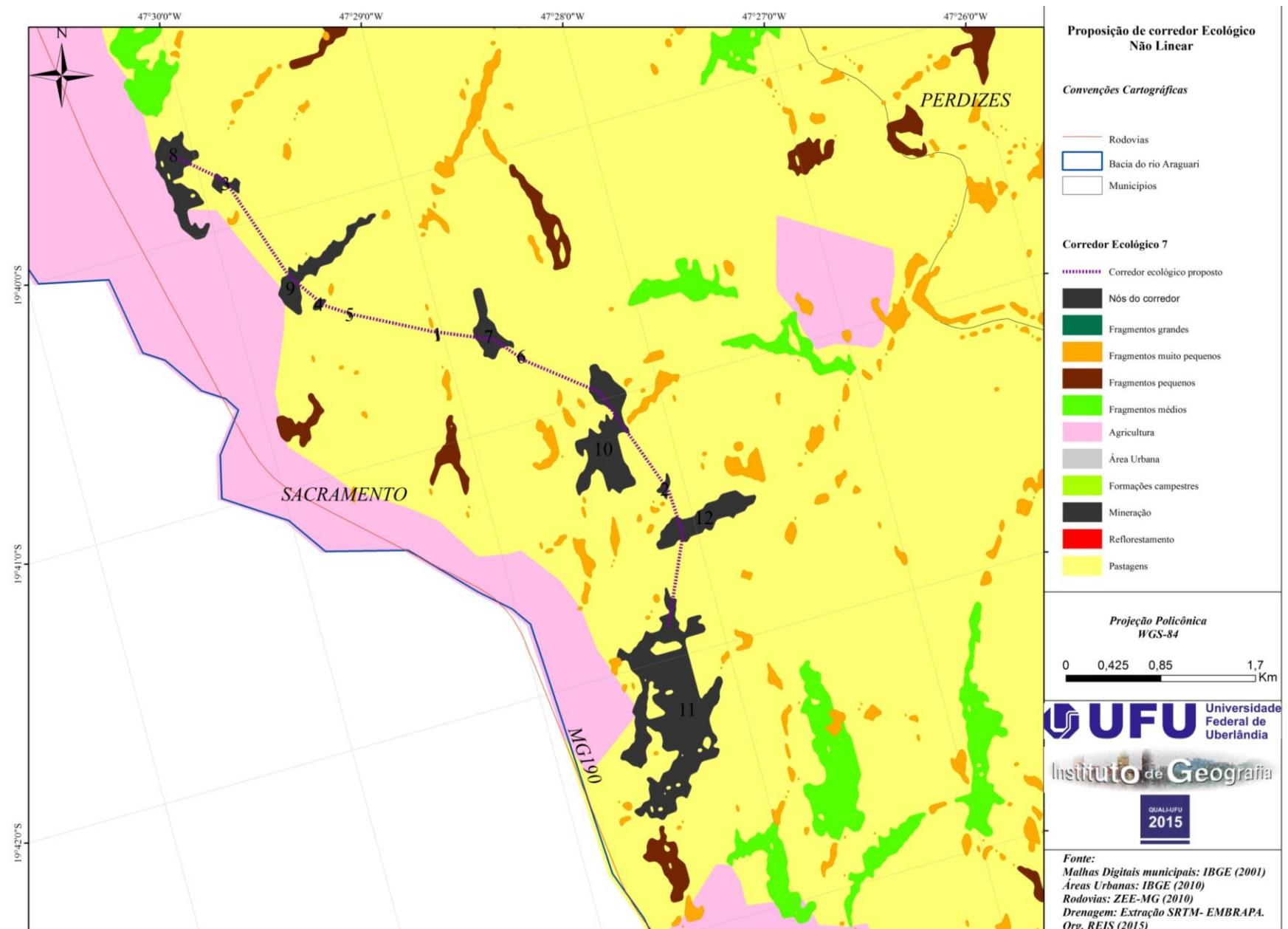
Apêndice L - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 6.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	30,3382	4884,4959	0,0161	2,5016
2	2,3394	865,2714	0,0370	1,5959
3	1,7103	507,1491	0,0297	1,0939
4	0,9707	490,8437	0,0506	1,4054
5	5,3333	1737,8114	0,0326	2,1227
6	2,8990	1135,6188	0,0392	1,8815
7	1,7911	592,3897	0,0331	1,2486
8	5,6099	1204,5331	0,0215	1,4346
9	4,3719	979,6988	0,0224	1,3218
10	0,9702	401,2316	0,0414	1,1491
11	5,0265	1145,9857	0,0228	1,4419
12	0,8448	389,5655	0,0461	1,1956
13	9,9822	2381,7335	0,0239	2,1266
14	8,1303	2227,5312	0,0274	2,2038
15	11,6179	2779,3296	0,0239	2,3002
16	8,9184	2088,3641	0,0234	1,9727
17	14,8480	3480,1884	0,0234	2,5478
18	33,3594	5705,8215	0,0171	2,7868
19	13,2757	2428,3967	0,0183	1,8801
20	20,7329	2528,7253	0,0122	1,5666

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice M – Proposta de corredor ecológico 7.



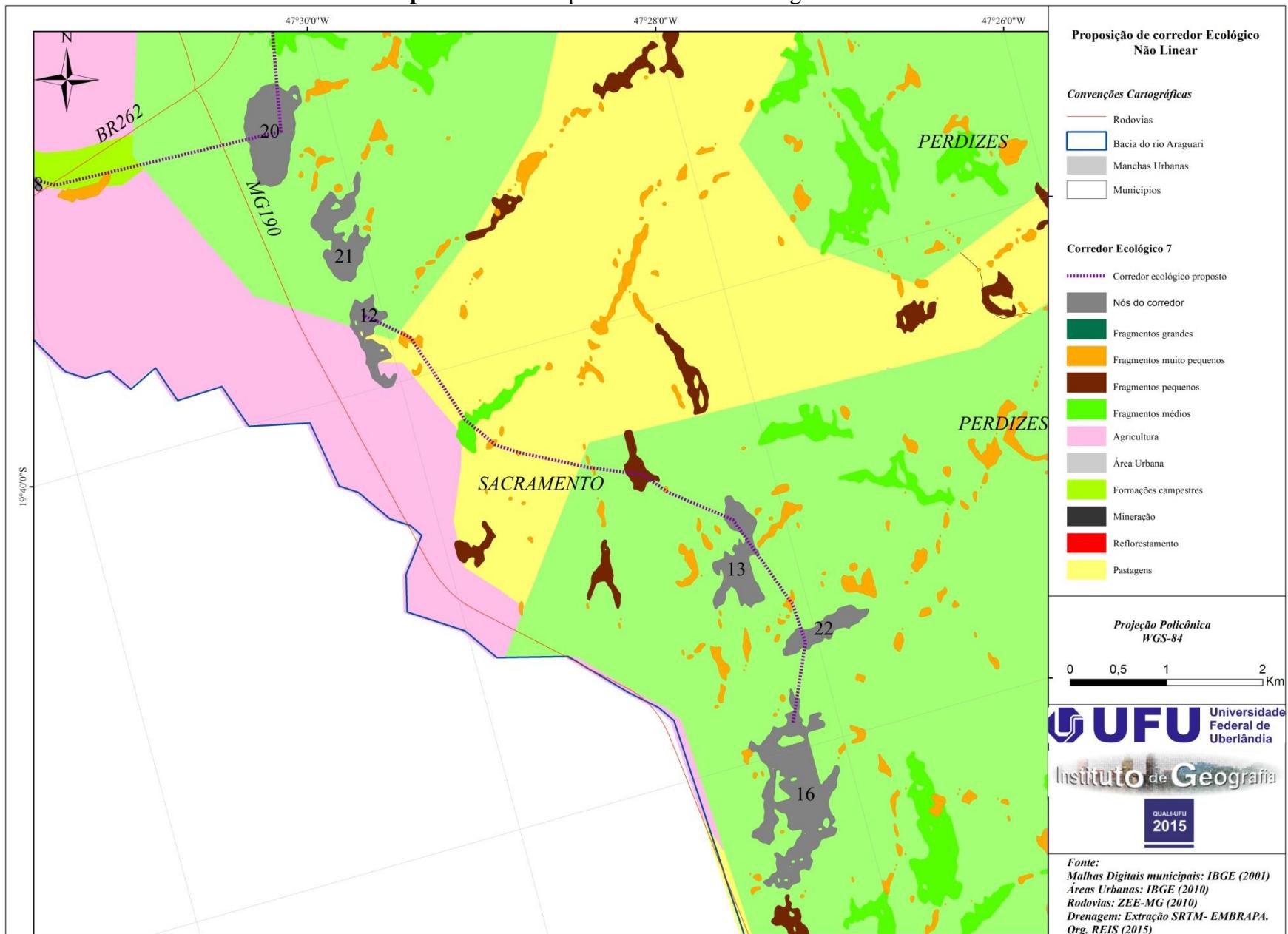
Apêndice N - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 7.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	0,23784	229,68	0,097	1,33
2	1,23302	578,77	0,047	1,47
3	2,47593	854,77	0,035	1,53
4	0,72711	346,62	0,048	1,15
5	0,11770	147,02	0,125	1,21
6	0,23782	190,41	0,080	1,10
7	9,28655	1725,68	0,019	1,60
8	19,27735	3555,22	0,018	2,28
9	14,11698	3029,52	0,021	2,27
10	31,01305	4243,98	0,014	2,15
11	84,86674	11147,16	0,013	3,41
12	16,77007	2346,97	0,014	1,62

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice O – Proposta de corredor ecológico 8.



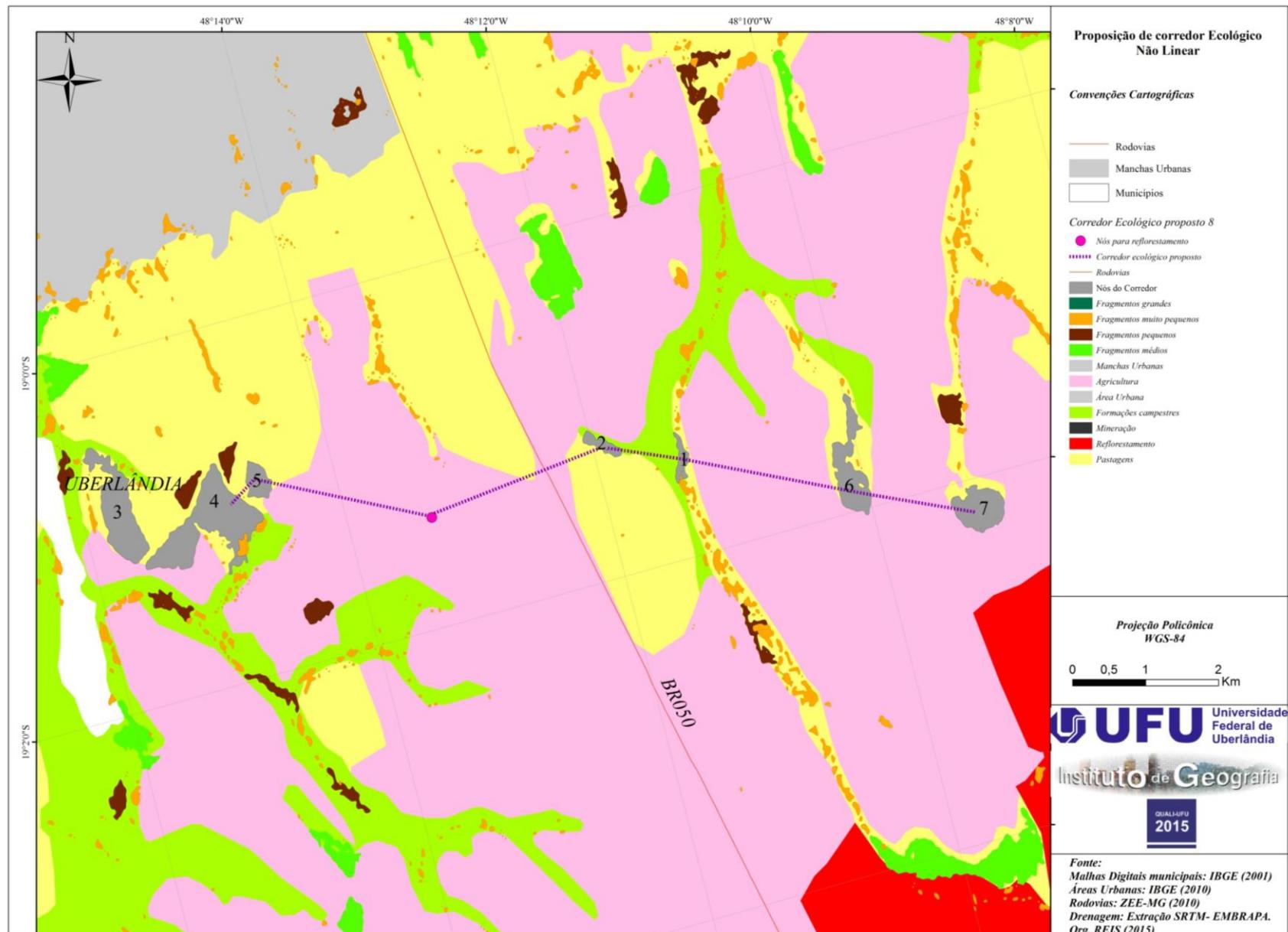
Apêndice P - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 8.

ID	CA	TE	ED	MSI
0	13,01	1785,50	0,01	1,40
1	4,29	1368,82	0,03	1,86
2	0,12	129,05	0,11	1,06
3	6,22	1447,13	0,02	1,64
4	5,41	1381,21	0,03	1,68
5	8,23	2441,57	0,03	2,40
8	7,72	2195,12	0,03	2,23
9	34,03	2803,74	0,01	1,36
10	20,25	3044,69	0,02	1,91
11	21,00	2937,27	0,01	1,81
12	19,28	3555,22	0,02	2,28
13	31,01	4243,98	0,01	2,15
14	18,11	3545,39	0,02	2,35
15	17,58	2486,85	0,01	1,67
16	84,87	11147,16	0,01	3,41
17	37,95	3315,02	0,01	1,52
18	29,49	3053,79	0,01	1,59
19	23,58	2213,94	0,01	1,29
20	44,86	3073,29	0,01	1,29
21	30,39	4326,07	0,01	2,21
22	16,77	2346,97	0,01	1,62

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio.

Fonte: Reis (2015).

Apêndice Q – Proposta de corredor ecológico 9.



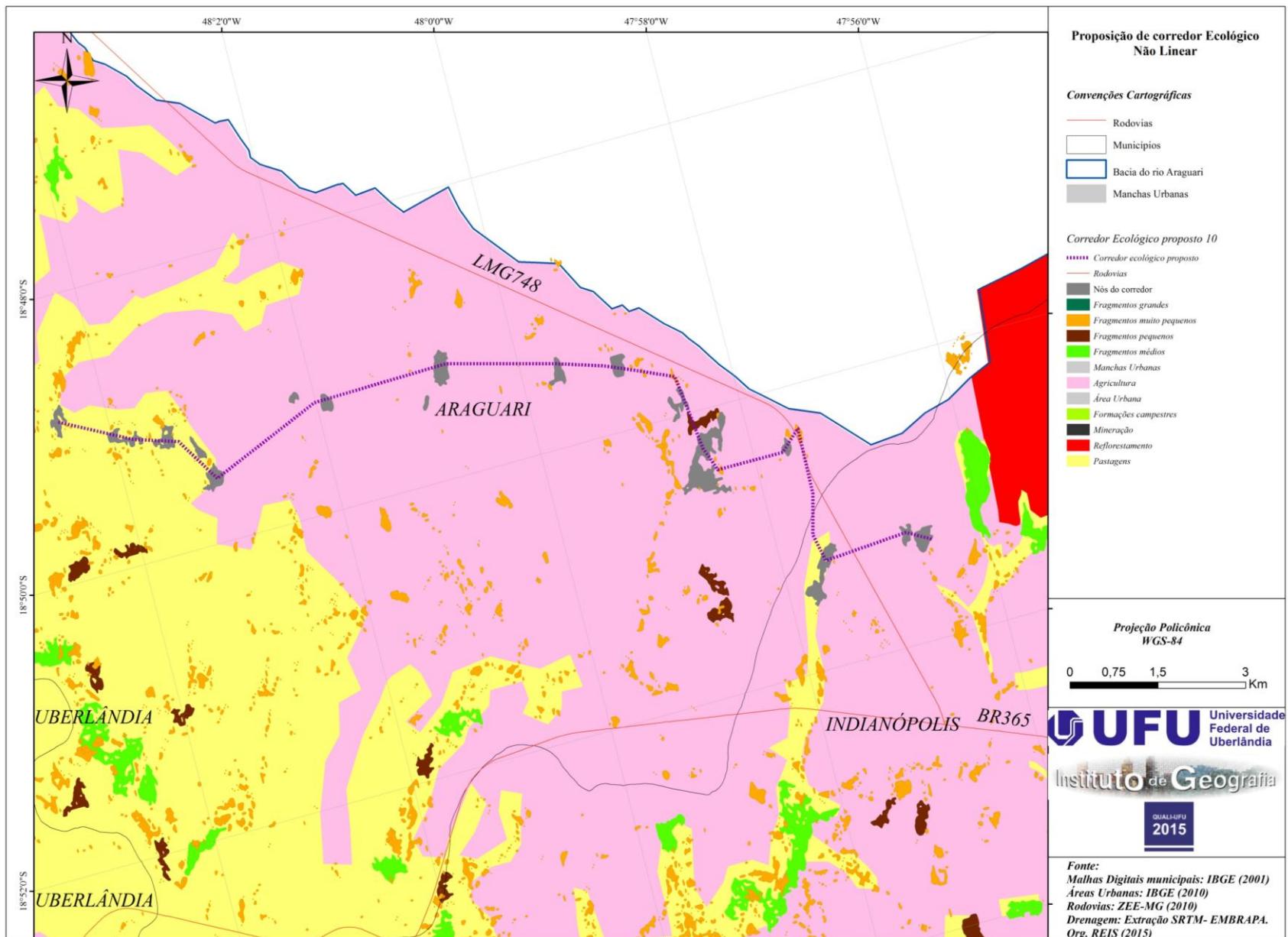
Apêndice R - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 9.

ID	CA	TE	ED	MSI
1	7,1561	1876,9061	0,0262	1,9792
2	7,6756	1461,6360	0,0190	1,4883
3	55,8822	4813,8235	0,0086	1,8166
4	89,4539	7398,2665	0,0083	2,2066
5	13,1742	1541,4903	0,0117	1,1980
6	38,5744	4876,8806	0,0126	2,2151
7	32,3302	2512,9963	0,0078	1,2468

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

Apêndice S – Proposta de corredor ecológico 10.



Apêndice T - Métrica dos fragmentos do corredor ecológico 10.

ID	CA	TE	ED	MSI
0	27,19	6147,68	0,02	1,95
1	0,02	61,38	0,27	1,16
2	5,03	943,25	0,02	1,19
3	3,57	1113,75	0,03	1,66
5	3,16	904,47	0,03	1,44
6	4,39	1319,94	0,03	1,78
8	2,10	624,60	0,03	1,22
11	7,20	2310,87	0,03	2,43
12	9,39	1378,10	0,01	1,27
13	6,69	1864,23	0,03	2,03
14	8,95	1557,53	0,02	1,47
15	8,06	2090,85	0,03	2,08
16	6,62	1472,53	0,02	1,61
17	12,36	1760,39	0,01	1,41
18	7,54	1134,78	0,02	1,17
20	40,93	6767,77	0,02	2,98

Legenda: ID = Identificação do FVN, CA = Área de Todas as Manchas da Classe (hectares), TE= Total de Bordas (metros), ED= perímetro de bordas sobre a área do fragmento (metros/hectares), MSI=Índice de Forma Médio,

Fonte: Reis (2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS - GERAL

A metodologia de investigação da paisagem fragmentada proposta pela Ecologia de Paisagens permite investigar os padrões ecossistêmicos por uma escala horizontal, visto que o problema da fragmentação se constitui como ameaça eminente para biodiversidade da fauna e flora. A associação da Biogeografia insular aos fragmentos de vegetação nativa (FVN) permite a obtenção de dados sobre a qualidade dos habitats e o risco de perda de biodiversidade de um determinado ambiente. Neste sentido, aconselha-se que o emprego desta metodologia seja uma etapa fundamental para o planejamento de uma unidade territorial que objetive o uso dos recursos e potencialidades do seu território de forma sustentável. Deve ser feito o uso de imagens de satélite de sensores com alta resolução espacial para que as áreas de preservação permanentes possam ser avaliadas, também.

Estes estudos técnicos referentes à fragmentação dos habitats são viabilizados por meio das técnicas de geoprocessamento e interpretação de imagens que permitem a obtenção de informação tanto dos habitats de fragmentos de vegetação nativa, quanto da matriz que os cercam. A partir disso, é o possível elaborar planos e orientar as tomadas de decisões dos gestores para que os mesmos tenham condições de escolher com eficiência as áreas prioritárias para conservação da vegetação nativa, de modo que permita a dispersão dos organismos evitando, assim, os efeitos estocásticos das metapopulações da fauna silvestre.

Verificou-se que a fundamentação teórica sobre esta metodologia de investigação da paisagem fragmentada e a relação com modelos de dispersão da fauna silvestre é, em sua maioria, pouco representativa. No Brasil, os estudos em Ecologia de paisagens estão fundamentados pelas escolas estadunidenses e europeias. Este é um ramo da ciência que não nasceu especificamente na Geografia, porém essa ciência possui métodos e técnicas que contribuem com as análises dos padrões ecossistêmicos sob a perspectiva de uma escala horizontal. Os geógrafos possuem o domínio das técnicas de representação cartográfica dos fenômenos, podendo assim atuar neste cenário e por meio da modelagem ambiental, apresentar modelos que permitam correlacionar a variação do funcionamento ecossistêmico dos habitats ao longo do espaço segundo as combinações arbitrárias da paisagem. Como a ecologia de paisagens,

ainda, é um ramo pouco explorado no Brasil, surge a necessidade de estabelecer uma linha de pesquisa para testar esses modelos para a realidade do Cerrado, com experimentos em campo e monitoramento da fauna e flora.

Como resultado da metodologia proposta para avaliação da qualidade dos habitats, por meio das métricas dos fragmentos de vegetação nativa, constatou-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - MG apresenta menos de 20 % de sua área com vegetação florestal, sendo que estes estão fragmentados em manchas, em sua maioria, muito pequenas, tendo apenas 128 unidades acima de 100 hectares de vegetação nativa preservada. Com isso, não se pretende afirmar que a bacia tenha somente este valor de vegetação nativa, já que as demais fitofisionomias do bioma Cerrado (campos) não foram consideradas.

Como parâmetro de qualidade ambiental dos habitats de FVN assume o círculo como sendo a figura ideal por ter o menor perímetro, evitando assim extensas áreas de borda, diminuindo a influencia do efeito de borda para o interior de cada habitat. Neste sentido, verificou-se que os fragmentos menores são aqueles mais regulares e que os fragmentos médios e grandes da BHRA apresentam formatos irregulares e estão perforadas. Desse modo, os FVN (médios e grandes) necessitam de intervenção, no sentido de restauração, para melhorar a qualidade destes habitats para aproveitar o que elas apresentam de mais importante: o tamanho da área de vegetação nativa reunidas em um mesmo fragmento, objetivando aumentar a área core destes fragmentos, já que foi constado que apenas 6% da vegetação nativa mapeada em 2014 estão livres do efeito de borda.

O desafio contemporâneo é a conservação da biodiversidade por meio da gestão da conectividade dos habitats, para tal, a busca por padrões espaciais para que os problemas de ordem ambiental sejam abordados em suas diversas escalas de interação, ressaltando a complexidade da heterogeneidade da paisagem, o que mostra que é preciso conservar os habitats em todos os níveis hierárquicos da paisagem.

O emprego desta metodologia de investigação da Ecologia de paisagens para a análise da heterogeneidade da BHRA é algo novo. Quando os FVN foram aplicados em um modelo de dispersão para organismos que tenham o limiar crítico de dispersão de até 3,6 km, percebeu-se lacunas na dispersão para estes organismos em função da ausência de fragmentos de vegetação nativa com tamanho consideráveis, isto

é, acima de 20 hectares. Neste sentido, afirmou-se, categoricamente, a necessidade de conexão dos fragmentos florestais na área de estudo.

Além da investigação dos FVN da BHRA, a matriz foi contabilizada e baseada nas teorias de permeabilidade da matriz, atribuiu-se peso arbitrariamente para avaliar o quanto resistente aquela se configura para o processo de dispersão dos organismos. Salienta-se que para avaliar o processo de dispersão da fauna silvestre e até mesmo para o planejamento dos habitats e conectividade dos mesmos é preciso definir quais animais silvestres pretende-se atingir, visto que a complexidade de hábitos dos organismos pode variar de gênero para gênero, de família para família, e ainda, de espécie para espécie.

Outra grave ameaça para a perda da biodiversidade é o atropelamento da fauna silvestre nas rodovias brasileiras. Esta pesquisa buscou apresentar um modelo para identificar a susceptibilidade ambiental das rodovias para o acontecimento destes episódios, baseados na interação da quantidade de habitats de FVN e a proximidade dos mesmos para com as rodovias da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari- MG. Para implementação de estruturas para a travessia da fauna pelas rodovias é preciso realizar um estudo ambiental do meio que é suscetível à ocorrência desses fenômenos, assim como é preciso conhecer o comportamento e a vulnerabilidade por grupo de espécies.

Como forma de elemento estrutural previsto no processo de gestão e manejo da conectividade dos habitats existe a figura dos corredores ecológicos com a finalidade de conectar os habitats de FVN. Neste sentido, verificou-se que a maior parte das metodologias de corredores ecológicos, já existentes, são oportunistas, pois levam em consideração à parcela do solo que não é de grande valia para as demais atividades agrossilvopastoris, negligenciando, assim, à necessidade da biodiversidade.

Com o intuito de contornar esta deficiência metodológica, esta pesquisa aliou os resultados obtidos com o modelo de dispersão proposto por Paese (2002), que evidenciou as possíveis lacunas de dispersão dos indivíduos para a BHRA e foi exatamente nestes espaços onde foi feito a proposta a criação de corredores ecológicos para demonstrar a importância destas, enquanto áreas prioritárias para conservação. Garantindo que as atividades do uso da terra, nestes locais, tenham a responsabilidade de manejo diferenciado para a conservação da biodiversidade. Esta garantia só é possível por meio da definição das unidades de conservação, legalmente instituídas.

As dificuldades encontradas para a realização da pesquisa se deram, principalmente, pela escassez de dados secundários da biologia dos animais silvestres do Cerrado. Seria interessante a disponibilidade de estudos detalhados dos animais considerados como espécie-chave deste bioma, bem como a interação destes nos diversos tipos de uso da terra da matriz, uma vez que estas informações podem ser especializadas e associadas com outras características da paisagem, possibilitando, assim, o aprofundamento por respostas e padrões espaciais, que é o objetivo da Ecologia de paisagens.

Conclui-se que a gestão e manejo da conectividade dos habitats com a função de conservação da biodiversidade, ainda é, um desafio para o Brasil, onde o processo de fragmentação da vegetação nativa aumenta consideravelmente, e que os recursos naturais são a base para o crescimento econômico do território nacional. Ficou em aberto a discussão sobre o questionamento de como conservar estes habitats, qual o tamanho ideal e distância mínima que os mesmos devem apresentar na paisagem. Visto que a escolha das áreas prioritárias para conservação dos mesmos não responde a questão de como conservá-los.