

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

RODRIGO PINHEIRO RIBAS

ANÁLISE ESPACIAL DA CONECTIVIDADE ESTRUTURAL NA PAISAGEM: UMA
APLICAÇÃO NO MOSAICO DE ÁREAS PROTEGIDAS DO ESPINHAÇO: ALTO
JEQUITINHONHA – SERRA DO CABRAL

BELO HORIZONTE
2015

RODRIGO PINHEIRO RIBAS

ANÁLISE ESPACIAL DA CONECTIVIDADE ESTRUTURAL NA PAISAGEM: UMA
APLICAÇÃO NO MOSAICO DE ÁREAS PROTEGIDAS DO ESPINHAÇO: ALTO
JEQUITINHONHA – SERRA DO CABRAL

Tese apresentada ao curso de pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Machado Gontijo

Co-orientador: Prof^a. Dr^a. Ana Clara Mourão Moura

BELO HORIZONTE
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

*Dedico a meu amor e esposa Cristiane,
meus anjos Laila e Clarice e não poderia
esquecer do Tuco, meu fiel companheiro.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pela paciência nos momentos em que não pude participar, devido à dedicação a este trabalho e pelo apoio nos meus momentos de cansaço e desestímulo. Ao Bernardo, meu orientador, por me auxiliar num momento de transição e de escolha do tema a ser trabalhado, me apresentando às pessoas certas, nos lugares certos, indicando caminhos de pesquisa e sempre dando espaço à liberdade, imprescindível para a criação de um trabalho autoral. À minha co-orientadora, Ana Clara por me passar conhecimento e ensinar metodologias novas, além de me proporcionar diversas oportunidades acadêmicas. Aos professores, funcionários e colegas do Instituto de Geociências que conheci nessa trajetória. Agradeço a todos os funcionários do Instituto Estadual de Florestas que tive o prazer de conhecer, em especial ao Gabriel Ávila, que me apresentou paisagens extraordinárias da região do Mosaico do Espinhaço. Agradeço a todos os integrantes do conselho consultivo do Mosaico. Agradeço ao Alex do Instituto Biotrópicos, por indicar caminhos de pesquisa necessários no contexto do planejamento e gestão do Mosaico. Aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG.

RESUMO

Em diversas partes do globo terrestre, a pressão sobre o uso dos recursos naturais tem tido excessiva magnitude, vindo a causar a perda da conectividade entre os habitats naturais na paisagem, criando assim áreas fragmentadas com menor regulação ecológica. A preservação de áreas naturais é a forma mais primária para a conservação da diversidade biológica, porém muitas vezes estas áreas protegidas são criadas ou podem vir a se tornar fragmentos isolados em meio a áreas que já sucumbiram à pressão antrópica, sendo necessária a gestão das áreas protegidas de forma integrada. A abordagem metodológica do presente estudo foi realizada no âmbito de uma unidade que direciona ações para uma gestão integrada das áreas protegidas inseridas em seu limite, o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral. O objetivo principal desta tese é apresentar uma proposta metodológica para a análise da conectividade estrutural da paisagem na região de estudo, utilizando como suporte teórico e técnico os conceitos inerentes ao Geoprocessamento e à Ecologia da Paisagem. A justificativa para a realização desta tese é a possibilidade de constatação da ocorrência de processos que possam ser nocivos à manutenção da biodiversidade e a contribuição para o planejamento e gestão de áreas com necessidade de proteção dos recursos naturais. Os resultados obtidos indicam caminhos para a criação de instrumentos legais e modelos de gestão que funcionem de forma integrada. A tese foi desenvolvida de forma sequencial com a elaboração de cinco artigos. Este formato de apresentação se mostrou mais interessante em virtude da dinâmica metodológica do trabalho que se interliga, sendo que, uma etapa concluída anteriormente, oferece subsídio a realização da etapa a ser realizada posteriormente.

Palavras-chave: Conectividade Estrutural, Geoprocessamento, Ecologia da Paisagem, Biodiversidade

ABSTRACT

In different parts of the globe, pressure on the use of natural resources has been in excessive scope and has caused loss of connectivity among natural habitats in the landscape, creating in this way fragmented areas with less environmental regulations. Preservation of natural areas is the most primary form biological diversity conservation. However, oftentimes these protected areas are created or can become isolated fragments in areas that have already succumbed to anthropic pressure, being the integrated management of protected areas necessary. The methodological approach of this study was done within a unit that directs its actions towards an integrated management of protected areas inside its limits. This unit is the Mosaic of Protected of the Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral. The main objective of this thesis is to present a methodological proposal of analyzing structural connectivity in the landscape in the study region. It uses as theoretical and technical support the concepts inherent to Geoprocessing and Landscape Ecology. Justification for carrying out this thesis is the possibility of observing processes that may be harmful to maintenance of biodiversity and as a contribution to the planning and management of areas that need to protect natural resources. The results indicate paths for the creation of legal instruments and management models that work in an integrated form. The thesis was developed sequentially in the preparation of five articles. This presentation format proved to be more interesting due to this work's methodological dynamic that is interconnected, being that when a step is previously concluded, it offers subsidies to carry out the step to be done *a posteriori*.

Keywords: Structural Connectivity, Geoprocessing, Landscape Ecology, Biodiversity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Relação entre número de espécies com tamanho de ilhas e distância destas ao continente	20
Figura 2 - Efeito de borda na fragmentação de habitats	22
Figura 3 - Elementos que representam a estrutura da paisagem.....	28
Figura 4 - Paisagem na qual a matriz é de cultura agrícola (adaptado de Google Earth).....	29
Figura 5 - Conceito de grão e extensão na escala de observação	32
Figura 6 - Escala na análise da paisagem	35
Figura 7 - Modelo de zoneamento de Reservas da Biosfera	46
Figura 8 - Mapa de localização da Serra do Espinhaço Meridional	55
Figura 9 - Características fisiográficas da região da SdEM	58
Figura 10 - Fluxograma com esquema metodológico da Tese	61
Figura 11 - Etapas para a delimitação de bacias hidrográficas.....	83
Figura 12 - Mapeamento inicial proposto e mapeamento final após ajustes.....	84
Figura 13 - Mapa do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço Alto Jequitinhonha – Serra do Cabral	85
Figura 14 - Mapa de localização da área de estudo	94
Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do solo	98
Figura 16- Mapa de localização da área de estudo	109
Figura 17 - Mapeamento das tipologias de uso e ocupação do solo (1984 – 2013).....	112
Figura 18 - Gráfico comparativo da mudança do uso do solo (1984-2013).....	113
Figura 19 - Exemplo de imagem de distância utilizada para Eucalipto (1984-2013)	114
Figura 20 - Cenário de plantações de eucalipto para o ano de 2042	116
Figura 21 - Mapa de localização.....	128
Figura 22 - Critérios normalizados.....	130
Figura 23 - Mapa de adequabilidade para a conectividade	132
Figura 24 - Rank extraído da Análise de Monte Carlo.....	134
Figura 25 - Análise de sensibilidade da adequabilidade à conectividade.....	135
Figura 26 - Locais com padrão capaz de permitir a conectividade	137
Figura 27- Conector 1 - Trampolins Cabral Vivas	144
Figura 28 - Conector 2 – Corredor Curimataí	147
Figura 29 - Conector 3 – Vivas Biribiri.....	155
Figura 30 - Conector 4 - Mosaico Preto Negra	157
Figura 31 - Conector 5 - Raio Itambé Preto	159
Figura 32 - Localização da área de estudo	172
Figura 33 - Quantitativos extraídos do uso e ocupação do solo	177
Figura 34 - Áreas de validação em campo	180
Figura 35 - Rede com caminho de menor custo e centralidade dos fragmentos	181
Fotografia 1 - Reunião do conselho consultivo do Mosaico	79
Fotografia 2 - Apresentação ao conselho da delimitação do Mosaico produzida pelo autor. ..	80
Fotografia 3 - Veredas na Serra do Cabral	149
Fotografia 4 - Palmeira do Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>) na fitofisionomia Vereda.....	149
Fotografia 5 - Ema (<i>Rhea americana</i>) na região da Serra do Cabral.....	150
Fotografia 6 - Gado em meio a fitofisionomia do Cerrado na região da Serra do Cabral.....	150

Fotografia 7 - Foto tirada da Serra do Cabral. Em 1º plano a cidade de Buenópolis, a Serra localizada na formação calcária e ao fundo a Serra do Espinhaço nas proximidades do PN Sempre-Vivas	151
Fotografia 8 - Vegetação de porte arbóreo na bacia do rio Curimataí	151
Fotografia 9 - Eucalipto em meio a vegetação nativa	152
Fotografia 10 – Eucalipto e vegetação natural em uma das estradas de ligação entre a Serra do Cabral e face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional das Sempre-Vivas.	152
Fotografia 11 - Manchas de vegetação de porte arbóreo na região da Serra do Cabral	153
Fotografia 12 - Plantações de eucalipto se confundindo com a vegetação nativa na região da Serra o Cabral	153
Fotografia 13 - Plantação de eucalipto na bacia do rio Curimataí.....	154
Fotografia 14 – Remanescente de Mata Atlântica nas proximidades do Pico do Itambé	160
Fotografia 15 - Remanescente de Mata Atlântica preservado. Ao fundo o município de Serra Azul de Minas.....	161
Fotografia 16 - Serra da Bicha vista do alto do Pico do Itambé.....	161
Fotografia 17 - Campo rupestre de altitude na subida ao Pico do Itambé.....	162
Fotografia 18 - Serra dos dois irmãos nas proximidades de São José do Rio Preto.....	162
Fotografia 19 - Grande área com remanescente de Cerrado nas proximidades da E.E Mata dos Ausentes. Ao fundo a Serra do Gavião.	163
Fotografia 20 – Canela de Ema (família das Velloziaceas) na região do Parque Estadual Serra Negra	164
Fotografia 21 - Grande remanescente de Mata Atlântica na região do Buracão nas proximidades da Serra Negra	164
Fotografia 22 - Grandes plantações de Eucalipto nas proximidades da Serra Negra no município de Itamarandiba	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantitativos das tipologias de uso do solo mapeadas.....	97
Tabela 2 - Métricas de paisagem obtidas para os anos de 1984 e 2013	99
Tabela 3 - Cálculo de área das tipologias de uso do solo	114
Tabela 4 - Base de dados dos critérios utilizados.....	129
Tabela 5 - Critérios para a definição do intervalo de análise	133
Tabela 6 - Análise de sensibilidade da adequabilidade à conectividade	136
Tabela 7 - Matrix de probabilidade de transição para as classes.....	177
Tabela 8 – Matriz de probabilidade de cada pixel pertencer a outra classe	178
Tabela 9 - Quantitativos de área por classe	179

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Índice de agregação

AM – Área média

AMC – Análise Multicritério

AMS – Associação Mineira de Silvicultura

APAEAV – Área de Proteção Ambiental Estadual das Águas Vertentes

APAMF – Área de Proteção Ambiental Municipal de Felício

APAMRM – Área de Proteção Ambiental Municipal do Rio Manso

APP – Área de Preservação Permanente

CNUC – Cadastro Nacional de Unidades de Conservação

CNUD – Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável

DLR – Agência Espacial Alemã

DOS – Dark Object Subtraction

EEEMA – Estação Ecológica Estadual da Mata dos Ausentes

HA – Hectares

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Conservação

ICMS – Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IMA – Índice de Meio Ambiente

IMS – Índice de Mata Seca

InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar

ISA – Índice de Saneamento Ambiental

IUCN – International Union for Conservation of Nature

LCPA – Least-Cost Path Analysis

LDCM – The LandSat Data Continuity Mission

LIDAR – Light Detection and Ranging

LPI – Índice de Maior Mancha

MAB – Programa Man and Biosphere

MAXVER – Classificador Supervisionado por Máxima Verossimilhança

MCDA – Multicriteria Decision Analysis

MCDM – Multicriteria Decision Making

MDE – Modelo Digital de Elevação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MNEVLSR – Monumento Natural Estadual da Várzea do Lajeado e Serra do Raio

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NP – Número de fragmentos

NURUC – Núcleo Regional de Unidades de Conservação

PD – Densidade de fragmentos

PDF – Probability Density Function

PDI – Processamento Digital de Imagens

PEBI – Parque Estadual do Biribiri

PEPI – Parque Estadual do Pico do Itambé

PERP – Parque Estadual do Rio Preto

PESC – Parque Estadual da Serra do Cabral

PESN – Parque Estadual da Serra Negra

PNAP – Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas

PNSV – Parque Nacional das Sempre-Vivas

PP-G7 – Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil

RBSE – Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço

SA – Sensitivity Analysis

SdEM – Serra do Espinhaço Meridional

SEMAD – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIG – Sistema de Informação Geográfico

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

TM – Thematic Mapper

UC – Unidade de Conservação

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Paisagem percebida: conceitos e perspectivas sob a ótica da Geografia e Ecologia ...	5
1.1.1	Percebendo a paisagem: Da Geografia à Ecologia.....	6
1.1.2	O Determinismo Ambiental	8
1.1.3	A paisagem como criação do homem.....	11
1.1.4	Abordagens holísticas da Paisagem: De Carl Troll ao status atual	14
1.2	Fragmentação e conectividade na paisagem.....	19
1.3	Estrutura, função, mudança e escala na dinâmica da paisagem.....	26
1.4	Aplicações das geotecnologias na gestão dos recursos naturais.....	36
1.5	Estratégias de gestão integradoras	44
1.6	A Serra do Espinhaço em sua porção meridional	53
1.7	Apresentação dos artigos	59
	Referências Bibliográficas.....	62
2	MAPEAMENTO DOS LIMITES OFICIAIS DO MOSAICO DE ÁREAS PROTEGIDAS DO ESPINHAÇO: INTERATIVIDADE ENTRE O GEOPROCESSAMENTO E A GESTÃO INTEGRADA DO TERRITÓRIO	72
2.1	Introdução	76
2.2	Revisão de bibliografia	76
2.2.1	Gestão Integrada da Paisagem.....	76
2.2.2	Informação altimétrica do terreno	78
2.3	Metodologia de mapeamento.....	78
2.3.1	Abrangência.....	78
2.3.2	Mapeamento inicial	79
2.3.3	Delineamento de bacias hidrográficas.....	80
2.3.4	Definição topológica dos divisores.....	81
2.3.5	Mapeamento participativo do limite do mosaico	81
2.4	Resultados e discussões	82
2.4.1	Delimitação das bacias	82
2.4.2	Ajustamento e definição do limite do mosaico	83
2.4.3	Produtos finais gerados.....	85
2.5	Conclusão.....	88
	Referências bibliográficas	88
3	ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO ESTRUTURAL DA PAISAGEM POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E MÉTRICAS DE PAISAGEM.....	90
3.1	Introdução	92
3.2	Materiais e métodos	93

3.2.1	Área de Estudo	93
3.2.2	Base de dados	94
3.2.3	Processamento das imagens de satélite	95
3.2.4	Cálculo de métricas da paisagem	96
3.3	Resultados e discussões	97
3.4	Conclusão.....	100
	Referências Bibliográficas.....	101
4	DETECÇÃO E PREVISÃO DA EXPANSÃO DE EUCALIPTO EM MOSAICO DE ÁREAS PROTEGIDAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	102
4.1	Introdução	105
4.1.1	Regressão Logística.....	106
4.2	Materiais e métodos	108
4.2.1	Área de estudo	108
4.2.2	Imagens de satélite.....	109
4.2.3	Processamento digital de imagens	110
4.2.4	Detecção e previsão da expansão do eucalipto.....	111
4.3	Resultados e discussões	112
4.4	Conclusão.....	117
	Referências bibliográficas	117
5	ANÁLISE ESPACIAL DAS INCERTEZAS ASSOCIADAS À ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS DE FATORES QUE INFLUENCIAM NA CONECTIVIDADE NA PAISAGEM.....	119
5.1	Introdução	121
5.2	Revisão Bibliográfica	123
5.2.1	Conectividade na Paisagem.....	123
5.2.2	Análise de Incertezas	125
5.3	Estudo de caso	127
5.3.1	Área de estudo	127
5.3.2	Criação das camadas de mapeamento	128
5.3.3	Normalização dos dados e definição dos pesos para os critérios	130
5.3.4	Mapeamento da adequabilidade para a conectividade	131
5.3.5	Análise de Incertezas e Análise de Sensibilidade.....	132
5.4	Resultados e Discussões	134
5.5	Conclusão.....	137
	Referências bibliográficas	138
6	APRESENTAÇÃO DAS ÁREAS COM MELHOR ADEQUABILIDADE PARA A CONECTIVIDADE NA PAISAGEM	143

6.1	Conector 1 - Trampolins Cabral Vivas	143
6.2	Conector 2 – Corredor Curimataí	147
6.3	Conector 3 – Vivas Biribiri.....	155
6.4	Conector 4 - Mosaico Preto Negra.....	157
6.5	Conector 5 - Raio Itambé Preto	159
7	ANÁLISE DA CONECTIVIDADE NA PAISAGEM: UMA APLICAÇÃO UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV, AUTÔMATOS CELULARES E A TEORIA DOS GRAFOS	166
7.1	Introdução	168
7.2	A investigação da paisagem e sua dinâmica	169
7.2.1	Cadeia de Markov e Autômato Celular	169
7.2.2	Análise de Rede e Teoria dos Grafos	171
7.3	Materiais e Métodos.....	172
7.3.1	Área de estudo	172
7.3.2	Base de dados	173
7.3.3	Processamento das imagens de satélite	173
7.3.4	Modelagem da dinâmica espacial.....	174
7.3.5	Análise de rede	175
7.4	Resultados e Discussões	176
7.5	Considerações Finais	182
	Referências Bibliográficas.....	183
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	186
	Referências Bibliográficas.....	193
	APÊNDICES	196

1 INTRODUÇÃO

Observar um espaço geográfico através da janela de uma aeronave ou do alto de uma serra nos permite uma visão diferente daquela que temos quando estamos caminhando por um bosque. Ao observar de um patamar elevado, vamos perceber um emaranhado de elementos que se arranjam espacialmente, normalmente orientados de acordo com determinadas funcionalidades locais e muitas vezes refletindo as atividades rotineiras da população em sua área de vivência. O espaço geográfico se faz e evolui a partir de conjuntos de relações, sendo que estas relações se estabelecem dentro de um quadro concreto, o da superfície terrestre (DOLLFUS, 1991). Ao caminhar neste dito espaço geográfico, o observador vai perceber as suas peculiaridades e as diferenciações no relacionamento espacial que o seu olhar for capaz de distinguir. Esta paisagem percebida constitui um momento único no tempo e espaço.

Atualmente observa-se que em diversos contextos paisagísticos a cobertura vegetal nativa vem sendo substituída por outras formas de uso e ocupação da terra, sendo que em alguns locais pode ocorrer maior intensidade de transformação, haja vista o contexto socioambiental preponderante. Esta tendência de fragmentação da paisagem tem grande potencial para colocar em risco a biodiversidade. De acordo com Fahrig (2003) a fragmentação de habitats é usualmente definida como um processo que ocorre ao nível da paisagem, envolvendo a perda total ou de parte de um habitat.

Inicialmente é necessário definirmos: O que é um habitat? Muitas vezes, o termo habitat tem sido utilizado indiscriminadamente como sinônimo de vegetação nativa ou mesmo de outro tipo de cobertura vegetal sem uma correta definição do seu significado. Um habitat é considerado uma área específica, capaz de fornecer as condições ideais para a sobrevivência e desenvolvimento de uma determinada espécie, ou seja, se o habitat é uma entidade específica da espécie, a perda deste habitat é também uma entidade específica de tal espécie. Sob este ponto de vista, podemos abstrair e pensar que a cobertura vegetal nativa de uma região tem grande

potencial para servir de habitat para várias espécies, visto o equilíbrio natural criado com o tempo. Com a retirada desta cobertura, pelo processo de fragmentação, existe grande possibilidade de haver a perda de habitats, porém, é sensato pensar também que determinadas espécies podem perfeitamente adaptar-se a regiões desprovidas desta vegetação, no mesmo sentido, o aumento da cobertura vegetal nativa pode não significar um incremento ao habitat, visto que algumas espécies podem estar fortemente adaptadas às paisagens modificadas pelo uso antrópico. Desta forma é prudente fazer a distinção entre a perda de habitat pela perspectiva das espécies e a perda da cobertura vegetal, de acordo com o ponto de vista humano.

O planejamento de instrumentos capazes de conectar manchas isoladas de reservas naturais tem sido priorizado como medida protetiva, buscando conter os impactos na biodiversidade decorrentes da fragmentação de habitats. A Ecologia da Paisagem oferece um amplo embasamento para a investigação da função ecológica dos fragmentos de habitats em ambientes sob influência antrópica e para a exploração dos benefícios da conectividade na dinâmica das populações locais e regionais (FORMAN & GODRON, 1986).

Nesta tese é avaliada a noção de conectividade estrutural na paisagem, ou seja, o foco será no estudo do arranjo espacial dos fragmentos de habitat, desenvolvendo desta forma as análises, com direcionamento ao conceito de análise da estrutura da paisagem. De acordo com Lang & Blaschke (2009) a análise da estrutura da paisagem trata do estudo do mosaico da paisagem que aparece como padrão e ordenamento espacial específico das unidades de paisagem numa determinada seção de pesquisa.

A Ecologia da Paisagem se baseia na premissa de que os ambientes naturais e os ambientes transformados pela ação da humana são mosaicos e que para atingir formas eficazes de conservação das espécies e comunidades deve-se compreender a capacidade destas em viver e se movimentar através de tais mosaicos. Neste sentido, a Ecologia da Paisagem procura entender como estes mosaicos são estruturados, como eles funcionam e como se transformam ao longo do tempo.

Entende-se que a Ecologia da Paisagem é uma linha de pesquisa tipicamente investigada por pesquisadores com formação em Biologia e áreas correlatas, como a

Ecologia, que trabalham melhor o relacionamento funcional ou vertical das espécies da biota nos ecossistemas, porém acreditamos que o olhar do Geógrafo tem muito a acrescentar nesta linha de pesquisa. Segundo Metzger (2001) a Ecologia da Paisagem integra perfeitamente a abordagem geográfica, vista pelos olhos do homem, com a abordagem ecológica, pelos olhos das espécies em foco.

Outro ponto interessante que acreditamos favorecer a atuação do Geógrafo na investigação científica em Ecologia da Paisagem é a melhor aptidão destes pesquisadores em um tipo de análise horizontal dos aspectos abióticos que sustentam a paisagem como um todo, inserindo também as evidências e marcas que a humanidade produz na paisagem, conduzindo assim a investigação em Ecologia da Paisagem de forma transdisciplinar.

Um exemplo bastante coerente para essa transdisciplinaridade pode ser dado pela utilização de geotecnologias nas investigações, visto que este é um ferramental nativo da Geografia, porém se encontra disseminado em diversos outros campos de conhecimento. A análise de processos climáticos e morfoestruturais e sua ação incidindo sobre o relevo, a organização do espaço e de suas complexas relações são contendas que a Geografia explica com maior eficácia e desta forma, o profissional com formação nesta ciência, pode cooperar significativamente na consolidação de conceitos e paradigmas em Ecologia da Paisagem. Neste sentido, percebemos que uma maior amplitude de abordagens conceituais, enraizadas por diferentes bases epistemológicas pode ser fundamental para a conservação da natureza de forma racional.

A espacialidade é característica inerente aos sistemas ambientais e neste sentido, métodos de análise espacial podem proporcionar grande eficácia na busca de entendimento e soluções (McHARG, 1969). No mundo real, este que nos envolve com um turbilhão de informações, existe sempre uma interdependência dos elementos entre si, e na realidade, este universo de elementos é visto como uma teia dinâmica de eventos inter-relacionados, sendo que nenhuma das partes dessa teia é fundamental, mas resultam das propriedades das outras partes e a consistência das inter-relações determina a estrutura de toda a teia (CAPRA, 1996). Analisar objetivamente e disponibilizar métodos de quantificação do inter-relacionamento nesta

rede conectada são grandes desafios para a reprodução e entendimento dos processos de interação que ocorrem no sistema. Para auxiliar na investigação e fornecer suporte para a compreensão integrada dos sistemas ambientais os instrumentos e constantes avanços das geotecnologias proporcionam uma imensidão de técnicas e procedimentos que podem ser aplicados em diferentes realidades ambientais. O Geoprocessamento constitui esse grande conjunto de métodos e técnicas destinados à coleta, tratamento, avaliação e representação da informação espacialmente inserida.

Neste contexto de análise espacial com foco na investigação de sistemas ambientais, o objetivo principal desta tese é apresentar uma proposta metodológica para a análise da conectividade estrutural da paisagem na região de estudo. O roteiro metodológico mescla os conceitos inerentes ao Geoprocessamento e à Ecologia da Paisagem e será apresentado de forma sequencial na redação dos cinco artigos produzidos como parte da tese.

Os artigos em questão elencam objetivos complementares da tese, sendo estes, criar, por meio de um mapeamento participativo, o recorte espacial da área de estudo; investigar a evolução estrutural da paisagem com o apoio de técnicas direcionadas para a análise e processamento de imagens de satélite multitemporais, com a aplicação de conceitos da Ecologia da Paisagem, através do cálculo de métricas de paisagem e também utilizando-se de métodos de modelagem estatística; identificar áreas com maior adequabilidade para permitir a conectividade estrutural paisagem, por meio de uma metodologia de avaliação de multicritérios e análise de incertezas e, por fim, apresentar uma proposta de investigação em escala de detalhe de uma das áreas identificadas com maior adequabilidade, traçando um cenário de tendência de evolução da paisagem e uma análise visando a identificação dos fragmentos com melhor potencial para permitir a conectividade na paisagem, podendo desta forma subsidiar ações de gestão e planejamento ambiental, observando aspectos que considerem a conectividade estrutural na paisagem.

Acredita-se que, com base na metodologia apresentada, é possível a formulação de uma reposta abrangente para a seguinte inquietude: A junção de bases conceituais da Geografia com paradigmas da Ecologia da Paisagem, desenvolvidos com o

suporte das geotecnologias atuais, pode dar subsídio à investigação da conectividade estrutural da paisagem.

A capacidade da metodologia apresentada em transitar da macroescala à microescala e de extrair informações espaciais com relativa acurácia, tendo em vista o rigor adotado nos procedimentos, faz deste estudo um importante diferencial no subsídio ao planejamento ambiental. Neste sentido, uma importante justificativa para esta tese é a possibilidade de constatação da ocorrência de processos que possam ser nocivos à manutenção da biodiversidade e a contribuição para o planejamento e gestão de áreas com necessidade de proteção dos recursos naturais. Os resultados obtidos indicam caminhos para a criação de instrumentos legais e modelos de gestão que funcionem de forma integrada, buscando o melhor entendimento entre os anseios da população local, governo, terceiro setor e setor privado, buscando assim melhores maneiras para a conservação da biodiversidade.

1.1 Paisagem percebida: conceitos e perspectivas sob a ótica da Geografia e Ecologia

Não existe aqui a pretensão de se fazer uma análise da história do pensamento geográfico e ecológico, mas sem dela se privar, busca-se apreender as concepções e perspectivas destas ciências sobre o conceito de paisagem. Neste sentido é necessário destacar o momento pelo qual transitavam os pensamentos e reflexões conceituais e metodológicas que fizeram parte do desenvolvimento das mesmas. É interessante a visão de Capel (1981) ao afirmar que, a progressão da ciência ocorre mediante uma evolução truncada e não linear, sendo que em cada uma destas fases evolutivas, existem traços que representam uma ruptura a respeito do saber anterior.

Por um lado a Geografia, ciência que exigiu esforços para a definição de seus métodos e objetos de estudo, sendo acompanhada por uma instável dificuldade de definição da disciplina perante outras ciências, principalmente observando-se num contexto de análise de temas que relacionam a Geografia, ora com as ciências naturais, ora com as ciências humanas. Enquanto a Geografia se defronta com essa questão de uma dualidade metodológica, visto que investiga o social e natural no âmbito da ciência, existem vertentes (Margalef, 1974) que consideram que a Ecologia, ainda busca um

reconhecimento, não sendo então, uma ciência em si, mas uma ciência de síntese, que toma emprestados conceitos da Biologia, Matemática, Genética, Física, Sociologia, entre outras.

A Geografia e a Ecologia têm em comum a capacidade de transitar por várias áreas de conhecimento e levantar questões de forma integrada entre os saberes. A paisagem sempre foi considerada como uma unidade fundamental da análise geográfica, enfaticamente buscando a percepção da organização e relacionamento espacial, relacionando, por exemplo, a geomorfologia, clima e aspectos sociais. Nas abordagens da Ecologia, a paisagem também é vista como uma categoria de estudo, porém costuma ser avaliada de forma vertical, com foco nas relações funcionais das espécies que se abrigam na paisagem, ou melhor, nos habitats.

1.1.1 Percebendo a paisagem: Da Geografia à Ecologia

As reflexões, formulações, e pensamentos fundamentais que impulsionaram o pensamento geográfico e ecológico em sua essência e, por conseguinte formaram os pilares destas ciências datam dos tempos da Grécia antiga, com a busca do entendimento sobre a natureza (*physis*) do mundo e da origem e princípio da universalidade da existência, que era inerente aos filósofos pré-socráticos, sendo estes até então denominados de naturalistas¹. Na busca pela origem de todas as coisas, de uma substância da qual tudo tem derivação, muitas perspectivas sobre fenômenos e dinâmicas de processos naturais (agora no sentido atual da palavra), começaram a ser explicadas pelos filósofos das escolas pré-socráticas, com destaque à Escola Jônica². Obras de outros autores da Antiguidade discutem temas que atualmente são considerados no escopo da Geografia e Ecologia, porém nesta época eram pressupostos dispersos em meio a um grande conjunto de ideias sobre as concepções de natureza da época.

¹ A natureza (*physis*) não era entendida com o mesmo significado de atualmente, mas sim no sentido de situação primordial, sustentáculo de todas as coisas, sendo assim, eram os filósofos pré-socráticos conhecidos como naturalistas por buscar a compreensão de uma origem fundamental.

² A Escola Jônica recebe este nome por se desenvolver na colônia grega Jônia, na Ásia Menor, local onde hoje é a Turquia. Nesta escola nasceram as primeiras tentativas, plenamente racionais, de descrição e explicação da natureza do mundo.

Até o final do século XVIII, não é possível falar de conhecimento geográfico, como algo padronizado, com um mínimo que seja de unidade temática e de continuidade nas formulações. Designam-se como Geografia: relatos de viagem, escritos em tom literário; compêndios de curiosidades, sobre lugares exóticos; áridos relatórios estatísticos de órgão de administração; obras sintéticas, agrupando os conhecimentos existentes a respeito dos fenômenos naturais; catálogos sistemáticos, sobre os continentes e os países do globo, etc. Na verdade trata-se de todo um período de dispersão do conhecimento geográfico, onde é impossível falar dessa disciplina como um todo sistematizado e particularizado. (Moraes,1999).

Do fim do século XVIII em diante, tem início uma sistematização destes conhecimentos geográficos e ecológicos do passado, perdurando até hoje, visto o caráter evolutivo e atrelado à realidade que é inerente ao pensamento sobre estas ciências. Esta ordenação dos pensamentos tem grande embasamento nas formulações e discussões filosóficas dos grandes pensadores da época, tais quais, Kant, Hegel, Herder, Rousseau entre outros.

Durante o século XIX, o *século das revoluções*³ é que, de fato, começa a surgir as Ciências Geografia e Ecologia, especificamente no país, que hoje conhecemos como Alemanha, mas que na época ainda não havia se constituído como Estado Nacional, sendo até então formada por centenas de insignificantes principados, cidades livres e estados eclesiásticos e aristocráticos (KITCHEN, 2012). Neste contexto de grande diversidade entre os membros da confederação, Moraes (1999) destaca que é conferida relevância a discussão geográfica e ao levante de temas como domínio e organização do espaço, variação regional entre tantos que estarão em pauta na sociedade vigente da época.

Humboldt⁴ e Ritter ⁵ foram dois grandes estudiosos alemães contemporâneos que desenvolveram e possibilitaram a sistematização da Geografia, criando uma linha contínua de pensamento geográfico e plantando as raízes da Geografia Tradicional⁶. As investigações destes autores deram início à fragmentação do saber universal em

³ Por ser fértil em insurreições, revoluções e guerras civis contra a ordem estabelecida, buscando a liberdade e a democracia, o século XIX tem esta característica peculiar.

⁴ Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt, nascido em Berlim, 1769 à 1859), foi um geógrafo, naturalista e explorador alemão.

⁵ Carl Ritter, geógrafo e naturalista alemão, 1779 à 1859, considerado o precursor da geografia humana.

⁶ Corrente do pensamento geográfico que se apoia no Positivismo.

várias disciplinas, proporcionando a inserção da Geografia nas academias com a criação de cátedras que viriam a influenciar na formação de diversos geógrafos das gerações seguintes. Humboldt explorou mais o conceito de paisagem, utilizando na época o termo, em alemão, *Landschaft* para designar este conceito. Grande expedicionário que era, realizava diversas viagens de reconhecimento da superfície terrestre e atento a cada momento observado na natureza, buscava a reprodução destas cenas. A conceituação da paisagem nas obras de Humboldt tem estreita relação com a descrição e relatos de suas viagens. Em suas principais obras Quadros da Natureza e Kosmos, são diversas as descrições e transcrições de paisagens.

De acordo com Pedras (2000) a paisagem de Humboldt é o exercício constante de uma mente curiosa que tenta, enfaticamente, reconhecer e apreender o novo. A concepção de paisagem de Humboldt é essencialmente radical e produtiva. Radical por rejeitar qualquer simplificação no conhecimento do mundo e lançar as bases de uma apreensão da totalidade desse mundo e produtiva no sentido da quantidade e qualidade de elementos que ele utiliza para demonstrar e fundamentar suas concepções (LOURENÇO, 2002). Ainda de acordo com Lourenço (2002) a percepção de Humboldt caracteriza-se pela hegemonia da análise, pela interpretação conceitual científica, pela presença da nomenclatura classificatória e sistemática, pela decomposição em elementos, pela subordinação do belo ao pragmático e da arte à ciência, porém, essa forma convive com aqueles momentos em que há a suspensão da atividade da análise para o encontro estético com o mundo e neste momento a representação da paisagem é caracterizada pelo sentimento produzido pelo olhar, produzindo outras formas de representação, inclusive o contato sensível com a paisagem. Sua observação era abrangente e se pautava na percepção e associação dos diversos elementos que compunham a cena, relacionando assim os cenários ora observados. Tinha olhar atento à diferenciação espacial e neste sentido considerava a paisagem como o resultado da interação entre vários fenômenos.

1.1.2 O Determinismo Ambiental

Em suas expedições pelo planeta, Humboldt, assim como outros naturalistas viajantes da época produziam extensos inventários com os espécimes recolhidos nos diversos cantos da Terra, assim como documentavam suas experiências de campo e

laboratoriais. Estes dados foram primordiais e forneceram embasamento para os primeiros ensaios da mais importante teoria da biologia, a Teoria da Evolução. Inicialmente proposta por Lamarck⁷ apoiando-se, principalmente, no fato de que se o ambiente terrestre passa por modificações constantes, essas mudanças no meio físico forçam transformações nos seres vivos para adaptação ao meio e estas transformações são herdadas pelas gerações seguintes. Porém é Darwin⁸, cinquenta anos após os lampejos sobre a evolução de Lamarck, que apresenta a Teoria da Evolução com comprovações científicas irrefutáveis. Lamarck e Darwin definiram as duas grandes linhas da ecologia e que são partes de sua definição clássica: (1) o estudo das relações recíprocas entre os organismos e (2) destes com o ambiente. Com isso surge uma área de conhecimento integradora, reunindo conceitos de vários campos do saber. Foi Haeckel⁹, grande divulgador das ideias de *Darwin*, que iniciou a elevação da Ecologia ao patamar de ciência, sugerindo o termo *Oecologia* para o “estudo do relacionamento dos animais e plantas com o ambiente, criando assim um novo campo de pesquisa” (NUCCI, 2007).

A Geografia que emergia em fins do século XIX era caracterizada por forte influência do paradigma conhecido como Determinismo Ambiental¹⁰. Fundamentando este paradigma estavam às teorias naturalistas de *Lamarck* sobre a hereditariedade dos caracteres adquiridos e as de *Darwin* sobre a sobrevivência e a adaptação dos indivíduos mais bem adaptados ao meio natural, sendo estas teorias adotadas pelas ciências sociais, que viam nelas a possibilidade de explicar a sociedade por meio de mecanismos que ocorrem na natureza (CORREA, 2000).

*Ratzel*¹¹ foi o fundador e organizador das discussões sobre o Determinismo Ambiental na Geografia. O seu primeiro livro “*O ser e o tornar-se do mundo orgânico: Uma história popular da criação*” é editado contemporaneamente a grande repercussão das ideias darwinistas e concomitante à publicação de “*Morfologia Geral dos Organismos*”

⁷ Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, nascido em Paris, 1744 à 1829, foi um naturalista que desenvolveu a teoria dos caracteres adquiridos.

⁸ Charles Robert Darwin, nascido na Inglaterra, 1809 à 1882 foi um naturalista que se dedicou principalmente ao estudo da evolução por meio da seleção natural.

⁹ Ernst Heinrich Philipp August Haeckel, nascido na Alemanha, 1834 à 1919, foi um biólogo, naturalista, professor e artista que foi um grande divulgador do trabalho de Charles Darwin.

¹⁰ Paradigma que se fundamenta na afirmação de que as condições do meio natural influenciam e determinam o comportamento humano

¹¹ Friedrich Ratzel, nascido na Alemanha, 1844 à 1904 foi um geógrafo. Criador da ideia de espaço vital.

um dos mais expressivos livros de Haeckel, sendo inclusive pouco repercutido, visto que todas as atenções se voltavam ao evolucionismo (CAZAROTTO, 2006). Ratzel foi aluno de Haeckel, convivendo assim com as ideias naturalistas dos pensadores desta corrente, que estava em evidência na época. Mesmo sobre toda esta influência e convivência com as ideias naturalistas, a visão de geógrafo de Ratzel o direcionou a renunciar as teorias de evolução biológica de Darwin, introduzindo a ideia de Evolução Espacial, que acabou por embasar a sua Teoria Difusionista, baseado na ideia de que existiram lugares onde as civilizações se originaram e a partir desses centros houve a dispersão, não precisamente de forma linear, sendo a evolução, consequência da migração para novos habitats, observando que as pessoas e suas ideias mudavam quando se dispersavam (CARVALHO, 1998).

Ratzel elabora também o conceito de *espaço vital*, sendo que este seria a “representação de equilíbrio entre a população de uma dada sociedade e os recursos disponíveis para suprir seus anseios, indicando assim seu potencial de progressão, com vista a expansão territorial” (MORAES, 1999). Ratzel tinha a preocupação em analisar o inter-relacionamento entre os organismos que interagem em determinado espaço, trazendo para a Geografia a concepção de Estado como organismo complexo. É nessa atmosfera que Ratzel...

[...] desenvolve sua Antropogeografia. Friedrich Ratzel postulava a ideia de uma ciência com referência de totalidade, a Biogeografia. Esta visava entender as conexões dos sistemas do Complexo Terra. A Biogeografia pretendia um entendimento sistêmico da Terra. Como ramo da Biogeografia, Ratzel criou a Antropogeografia, cuja preocupação relacionava-se aos componentes físico-geográficos e histórico-antropológicos da difusão do homem sobre a Terra. O autor recusava a autonomia da Antropogeografia como disciplina para evitar uma visão fragmentada do conhecimento. Sua concepção de natureza apresenta uma ligação entre o espaço natural e o homem. Como se o homem fosse a natureza tomando consciência de si mesma. Esse fato de trazer o homem para o patamar das discussões ecológicas não significa que o tenha priorizado, como de certa forma fizeram alguns precursores da Ecologia Humana. Ratzel dizia que a geografia é por essência ecológica, porém a sua ecologia diferenciava-se da de Haeckel por agregar as dinâmicas humanas à dimensão ecológica. (CAZAROTTO, 2006).

Para Haeckel, a Ecologia era entendida como uma ciência que investigava a função dos órgãos nos seres vivos, ou seja, restringia suas análises na fisiologia dos seres em determinado ambiente. Ele entendia que a Ecologia se distinguia da Biogeografia, pois esta deveria investigar a distribuição dos seres no espaço.

A capacidade de observar o todo com uma visão integradora entre as características naturais e culturais nos permite inferir que a concepção de paisagem para Ratzel aglutina sistematicamente a ação humana. Neste sentido Ratzel

[...] utilizou o conceito da paisagem em uma forma antropogênica, demonstrando que ela é o resultado do distanciamento do espírito humano do seu meio natural. Desta forma, descreve uma dialética entre os elementos fixos da paisagem natural, como o solo, os rios, etc., com os elementos móveis, em geral humanos. Na sua abordagem, este distanciamento é importante porque inicia um processo de libertação cultural do meio natural, pela transferência de artefatos entre os povos, ou seja, pela migração destes, contrariando bastante a visão comumente propagada que *Ratzel* pode ser apontado como *geo-determinista*. Pois *Ratzel* não destaca a paisagem como uma forma local e delimitada, que exerce uma influência direta na sua cultura, mas utiliza o termo em forma genérica misturando-o com o termo *terra*. (SCHIER, 2003).

A obra de Ratzel tem alto valor para o entendimento da evolução do pensamento geográfico, porém a sua característica determinista de considerar a natureza como determinante do comportamento humano logo encontra resistência, surgindo então a visão possibilista.

1.1.3 A paisagem como criação do homem

De acordo com Correa (2000) a corrente Possibilista considera a natureza como fornecedora de possibilidades para que o homem a modifique, sendo assim, o próprio homem é o principal agente geográfico nessa transformação. Pensa-se então na paisagem como uma criação do homem, construída ao longo do tempo, sendo que, gradualmente, a paisagem natural vai modificando-se para uma paisagem cultural ou

geográfica. La Blache¹², o principal formulador deste paradigma Possibilista¹³ e da escola ou Geografia Francesa¹⁴, teceu severas críticas ao exacerbado caráter naturalista da obra de Ratzel, criticando a minimização do elemento humano, defendendo que a ação humana não seria uma mera resposta às imposições do meio.

Desta forma aumenta o

[...] peso da carga humana no estudo geográfico, porém sem romper totalmente com a visão naturalista, mantendo a máxima de que o interesse primordial na análise seria o resultado da ação humana na paisagem e não esta ação propriamente dita. (MORAES, 1999).

Outro fato relevante na obra de La Blache trata-se da instituição na Geografia da Região. A região era entendida como uma parcela da superfície terrestre dotada de uma unidade natural, levando muito em conta o seu sentido geológico, sendo que, a partir de La Blache, o conceito de região incorpora progressivamente a influência humana nesta unidade espacial. Moraes (1999). Temos agora uma paisagem regional que engloba em sua análise o contexto histórico do homem com a natureza e que vai propiciar o surgimento de um novo paradigma no pensamento geográfico, opondo-se ao Determinismo e ao Possibilismo, sendo este a Geografia Regional.

Richthofen¹⁵ retoma e estabelece na Geografia a Corologia¹⁶, termo este resgatado da descrição de áreas, já amplamente utilizada no século XVII por Varenius¹⁷. A partir destes pressupostos Hettner¹⁸ vai propor a Geografia como a ciência que estuda a diferenciação de áreas da superfície terrestre, buscando o caráter singular de diferentes porções do espaço terrestre, que sucederiam do próprio inter-relacionamento entre os elementos ali presentes. Neste momento as ideias de Hettner não tiveram muito repercussão, devido a grande aceitação do Possibilismo nesta época, o qual se encontrava em fase áurea ou mesmo em função do isolamento

¹² Paul Vidal de La Blache, geógrafo francês, 1845 à 1918).

¹³ Nome dado por Lucien Lebvre para diferenciar a Geografia Francesa do Determinismo Ambiental da escola alemã.

¹⁴ A escola francesa evidenciou o relacionamento humano com o meio natural.

¹⁵ Ferdinand Freiherr von Richthofen, geógrafo alemão nascido em Berlim, 1833 à 1905.

¹⁶ Define-se como a integração de fenômenos heterogêneos sobre uma determinada área, sendo indispensável na Geografia dada a natureza heterogênea dos fenômenos ocorrentes na superfície terrestre.

¹⁷ Bernhard Varen, também conhecido por Bernhardus Varenius, 1622 à 1650 foi um geógrafo pioneiro no estudo da corologia.

¹⁸ Alfred Hettner, geógrafo alemão, 1859 à 1941.

cultural da Alemanha nesta época, resultante do belicismo de sua política exterior (MORAES, 1999). Neste ponto é importante fazer um parêntese e assinalar o debate que ocorria na Alemanha em torno dos os conceitos de Região e Paisagem, sob este aspecto:

O debate mais importante da Geografia Alemã das duas primeiras décadas do século XX foi travado no interior da ciência geográfica, entre a *Länderkunde* (Geografia Regional), representada por Alfred Hettner, e a *Landschaftskunde* (Geografia da Paisagem), defendida por Siegfried Passarge e Otto Schlüter. Buscando renovar as "bases tradicionais" da Geografia e superar a "crise", que atingia também este campo da ciência, esses geógrafos acabaram criando uma cisão entre os adeptos da Geografia da Paisagem e os adeptos da Geografia Regional. (SILVA, 2007).

Passarge¹⁹ apontava para uma visão global da paisagem. Foi o primeiro autor a dedicar um livro diretamente ao conceito de paisagem (*Grundlagen der Landschaftskunde*, 1919-1920) (PASSOS, 2003). De acordo com Troll (1950) foi Passarge que, na literatura alemã, pioneiramente utilizou a denominação de Geografia da Paisagem, disseminando em várias e conhecidas obras o conceito de Ciência da Paisagem, este já cunhado e utilizado por Opper²⁰ entre 1884 e 1885. Passarge pensava na paisagem como um campo visual, no qual ocorriam relacionamentos entre todos os seus elementos componentes. Sua noção possuía um tom de observação estética, indicando que os fenômenos da superfície terrestre e seus inter-relacionamentos pudessem ser percebidos pelos sentidos do observador. Passarge pensava em paisagens naturalmente delimitadas, formando unidades integradas. Schlüter²¹ foi outro geógrafo com grande influência na “definição do conceito de paisagem e suas investigações eram mais fundamentadas para o entendimento da transformação da paisagem natural em paisagem cultural” (CORREA, 1995). Hettner concebia as paisagens como sendo um grupo de unidades espaciais de caráter específico e não a considerava como uma categoria de análise propriamente dita, sendo que para ele, a superfície terrestre se caracterizava como um complexo (litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera) de considerável extensão vertical e

¹⁹ Siegfried Passarge, geógrafo alemão, 1866 à 1958.

²⁰ Alwin Opper, geógrafo alemão.

²¹ Otto Schlüter, geógrafo alemão, 1872 à 1952.

constituída de partes sólidas, fluídas e gasosas e de vida abrigada. Percebe-se que Hettner não se apoiava no estudo da relação entre homem e meio, apesar de entender que a geografia apresentava uma vertente física e outra humana. A sua análise da diferenciação do espaço se pautava na descrição e comparação entre as unidades espaciais. Foi a partir destes pressupostos que Hettner elaborou a sua teoria acerca das regiões, onde definia as características peculiares de uma dada porção de espaço terrestre, objetivando conhecer a particularidade das diversas regiões por meio da sua compreensão e situando-a no conjunto do espaço físico e humano (SILVA, 2007).

Inserido no contexto deste momento pelo qual a Geografia passava na Alemanha no início do século XX, transparece um consenso em relação à noção de paisagem dos autores citados, no sentido de que a paisagem significa um conglomerado de componentes interligados perceptíveis à luz da observação e do método. Estes autores contribuíram para o fortalecimento da Geografia enquanto ciência e do conceito de paisagem e região como categorias de análise, vindo a influenciar uma vasta gama de geógrafos e pensadores das gerações seguintes.

A proposta de Hettner volta a ser amplamente discutida a partir da década de 40 pelo geógrafo norte-americano Hartshorne²². As ideias de Schlüter sobre a transformação da paisagem natural em paisagem cultural serviram de embasamento para as pesquisas do também norte-americano Sauer²³ que enaltece a Geografia Cultural, firmando-a como uma disciplina geográfica. Paralelamente, por volta do início da década de 40, Troll²⁴ desenvolve na Alemanha um estudo da paisagem que relaciona e agrega na discussão os aspectos ecológicos e é a partir deste direcionamento que este texto seguirá o seu rumo.

1.1.4 Abordagens holísticas da Paisagem: De Carl Troll ao status atual

Trueba (2012) faz um relato da vida e obra de Carl Troll, assim como a tradução do texto “A Ecologia da Paisagem como observação da Natureza geográfico-sinóptica” original em alemão (*Landschaftsökologie als Geographische-Synoptische*

²² Richard Hartshorne, geógrafo americano, nascido na Pensilvânia, 1899 à 1992.

²³ Carl Ortwin Sauer, geógrafo Americano, 1889 à 1975, professor na Universidade de Berkeley, Califórnia.

²⁴ Carl Troll, geógrafo alemão, 1899 à 1975.

Naturbetrachtung) para a língua espanhola (*La Ecología del paisaje como observación de la Naturaleza geográfico-sinóptica*). Um breve apontamento biográfico de Troll é relatado e afirmando que a compreensão da trajetória de vida e pesquisa do fundador do termo *Ecologia da Paisagem* é essencial para entendimento dos pilares desta disciplina, esta biografia foi traduzida para a língua portuguesa pelo autor desta tese:

“Nasceu na véspera de Natal, no ano de 1899, na cidade alemã de Gabersee, e desde então sua família lhe proporcionou contato frequente com a natureza, levando-o a realizar em 1919 os estudos de ciências naturais, com especialização em Botânica e Geografia da Universidade Munique. Em 1921, graduou-se com uma dissertação sobre fisiologia vegetal (Troll, 1922) e posteriormente elegeu a Geografia como sendo a sua principal área de trabalho. Em 1922, uma posição como assistente no Instituto de Geografia da Munique, viabiliza o seu contato com o prestigiado explorador polar e oceanógrafo Erich von Drygalski, nesta mesma época Troll obtêm suas certificações para a docência nas áreas de Química, Física, Biologia, Geologia, Mineralogia e Geografia. O talento do então jovem Troll seria rapidamente recompensado e em 1925 ele alcança a qualificação em Geografia pela Universidade de Munique, com o trabalho intitulado: “Características oceânicas das plantas da Europa Central” – (*Ozeanische Züge im Pflanzenkleid Mitteleuropas*) (Lautensach, 1959).

Seguindo a mais pura trajetória da escola geográfica alemã, Troll combina seu trabalho na docência com a experiência da pesquisa de campo, possibilitando a sua participação em inúmeras viagens e expedições geográficas por todo o planeta. Entre suas diversas viagens, podemos destacar a sua viagem à Escandinávia (1924-1925) que consolida sua formação e impulsiona suas pesquisas em questões relacionadas as regiões polares; a sua grande viagem para os Andes tropicais (1926-1929) na qual investiga e mapeia os territórios, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Panamá e norte do Chile, e a sua viagem à África (1933-1934) na parte oriental do continente, onde realizou um estudo comparativo das paisagens africanas desde as terras da Eritréia e Quênia até a Cidade do Cabo. Em 1937, retorna novamente para a África para complementação de seu estudo neste continente, desta vez na Etiópia. Neste mesmo ano realiza também uma viagem ao Himalaia, para participar como pesquisador numa expedição alpina alemã ao Nanga Parbat (Lautensach de 1959 ; Lauer, 1976; Kinzi, 1976). Em 1938, Troll aderiu permanentemente à cátedra e tornar-se diretor do Instituto de Geografia da Universidade de Bonn. Como apontado por W. Lauer (1976), com essa consolidação em Bonn, Troll começará uma nova etapa, mas nunca deixaria de conceber as viagens e investigações de campo com parte do saber do geógrafo. O clima de estagnação durante a Segunda Guerra Mundial e nos primeiros anos do pós-guerra, acabando causando uma imposição para as viagens investigativas de Troll, fazendo com que as retome cerca de 1 década depois, para então nunca mais abandonar estas

expedições por toda sua vida: Lapônia (1950), EUA (1952), México e Itália (1953), Espanha (1954), Brasil (1956), Tailândia e Taiwan (1957), Inglaterra (1958), América do Sul (1959), Polônia (1961), Malásia, Líbano e Grécia (1962), Israel e Romênia (1964) e no Canadá (1972).

A partir de 1938 Troll desenvolve a sua principal e mais marcante etapa de ensino e pesquisa, incluindo algumas de suas contribuições mais marcantes. Em 1939 ele escreve sua obra sobre a interpretação de fotografias aéreas e a sua utilidade para a pesquisa geográfica, obra que embasa a formulação do conceito da Ecologia da Paisagem – (*Landschaftökologie*) (Troll, 1939). Em 1941, com a sua publicação “Estudo comparativo da geografia das altas montanhas do mundo” – (*Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde*), proporciona um grande avanço nos estudos geográficos comparativos de alta montanha (Troll, 1941). Dois anos depois, ele publica seu influente trabalho sobre os cinturões climáticos terrestres (*Themische Klimatypen der Erde*) (Troll, 1943) e em 1944 a sua prestigiada e difundida monografia sobre a Geomorfologia Periglacial (Troll, 1944), traduzido para o Inglês em 1958 pelo centro de pesquisas em neve, gelo e permafrost da Marinha dos EUA. Todas estas publicações são contribuições de grande difusão no meio científico, sendo que algumas, ainda hoje se apresentam em pleno vigor.

Nesta fase, que coincidia com os tempos difíceis do totalitarismo político e da segunda guerra mundial, W. Lauer (1976) destaca o esforço Troll para manter a liberdade de ensino e pesquisa. A criação da revista *Erdkunde*, que logo se tornou referência em Geografia na Alemanha que passava pelo pós-guerra, seria um dos caminhos por meio dos quais Troll levaria a Geografia alemã de volta ao contato exterior, o que fica evidente desde a primeira edição da revista. Com a publicação de seu trabalho intitulado “A Ciência Geográfica Alemã entre os anos de 1933-1945” (Troll, 1947), realiza uma revisão crítica da atividade e a contribuição da escola alemã durante os períodos de maior desconexão com o exterior. Seu dinamismo acadêmico e esforço organizacional ecoaram de forma crescente na própria Alemanha, guiando o aparecimento imediato de diversas revistas geográficas: *Bonner Geographische Abhandlungen* (1947), *Colloquium Geographicum* (1951) e *Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde* (1952). Seus esforços para a expansão científica lhe renderam grande reconhecimento nacional e internacionalmente. Em 1946/1947, foi nomeado decano da Faculdade de Ciências Matemáticas e Naturais chegando ao posto de Reitor da Universidade de Bonn em 1960/1961. Naquela época a figura de Troll número havia transbordado o campo acadêmico para adquirir relevância também social e cultural. Na geografia, ele alcança cargo de grande reconhecimento no início dos anos 60 do século XX, tornando-se presidente da União Geográfica Internacional (UGI) para o mandato 1960-1964. Seu status de emérito desde 1965 não impede que continue totalmente ativo, tanto no trabalho científico como nos de cunho organizacional, com especial ênfase a criação e consolidação da Comissão de Geoecologia de Alta Montanha dentro da agenda da UGI (1968). Durante os anos de 1969, 1972 e 1974, quase ao final de sua vida, pois

ele morreu em 1975, organizou vários simpósios de Geografia de Alta Montanha e Geoecologia, dando um grande impulso nesta disciplina. (Trueba, 2012, tradução nossa).

Em 1938, Troll introduziu o conceito de Ecologia da Paisagem na terminologia científica relacionando o termo com seus estudos acerca da interpretação da fotografia aérea na investigação do espaço geográfico. Troll mencionou o termo Ecologia da Paisagem pela primeira vez no artigo científico “Landschaftökologie” (TROLL, 1939). Ao final deste artigo, Troll afirma que a interpretação de paisagens com fotografias aéreas pode ser considerada uma aplicação de alto nível investigatório para o estudo em Ecologia da Paisagem, sendo o objetivo comum à compreensão da ecologia no espaço terrestre. Segundo Troll (1968) a imagem aérea por si só nos permite observar todas as condições de um lugar, fornecendo uma ampla imagem da associação entre as plantas, as unidades geomorfológicas, etc., com a qual podemos inferir sobre determinadas relações entre os fatores paisagísticos, que deverão posteriormente, ser mais bem esclarecidas mediante o reconhecimento terrestre. É interessante refletir sobre a grande ligação de Troll com a investigação de campo e pensar o quanto potencializaria a sua pesquisa, poder contar com a vista panorâmica do todo que a fotografia aérea podia lhe proporcionar. De acordo com Troll (1950) sob o ponto de vista obtido dos aviões, o homem pode observar a paisagem de uma forma mais abrangente, sem a alteração de perspectiva da observação ao nível do solo, sendo racional que a observação aérea tenha fomentado muitos estudos acerca da paisagem havendo inclusive, na Rússia a expressão *Aerolandscape* ou paisagem aérea.

Troll percebia a Geografia como uma ciência de síntese. A síntese geográfica compreendia a observação dos fenômenos geográficos atuantes na superfície terrestre e sua disposição na paisagem, sendo que, ao geógrafo, caberia explicar tal paisagem de forma inteligível por meio da concordância entre os seus elementos formadores. Troll era um geógrafo com um trabalho prolífico, que realizava estudos em diversas áreas do conhecimento e que tinha a capacidade de relacionar as questões que observa no meio, sendo assim fácil perceber, que a Ecologia da Paisagem surgiu nesta busca de explicação da função e relacionamento dos elementos. Troll procura um ponto de interligação entre a Geografia e a Ecologia, buscando a “união do entendimento e percepção horizontal (estudo da interação espacial dos fenômenos) do Geógrafo com a percepção num sentido vertical (estudo

das interações funcionais entre os organismos em determinada área) do Biólogo” (NAVEH & LIEBERMAN, 1984).

A partir da introdução do conceito por Troll surgiram várias pesquisas nesta área e novas definições para a Ecologia da Paisagem foram sendo apresentadas. Desde o início, os conceitos estruturadores da Ecologia da Paisagem foram regidos por geógrafos e visto o caráter multidisciplinar da Geografia com grande capacidade de integrar diversas áreas de pesquisa, a Ecologia da Paisagem recebe influências das ciências biológicas, sociais, sistemas de informação, geociências, entre outras.

Paralelamente, percebe-se também o desenvolvimento de conceitos com esta similar visão holística da Ecologia da Paisagem na observação da paisagem em outras escolas. Buscando o entendimento da complexidade do sistema ambiental físico, Sotchava (1962) introduz o termo geossistema na literatura soviética. Na concepção de Sotchava (1977) os geossistemas representam sistemas ambientais físicos, abertos e dinâmicos, sendo primordial a conexão da natureza com a sociedade, pois embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais influenciam na sua estrutura, desta forma, as observações não devem se restringir à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas devem sim, direcionar-se para o estudo de sua dinâmica e relacionamento funcional.

A visão de geossistema da escola soviética focaliza o sistema ambiental em termos quantitativos, sendo então, a paisagem, entendida como um sistema energético, no qual a investigação possui maior peso no sentido de fluxos e produção bioquímica (BERTRAND, 1972). Para Bertrand (1972) o geossistema representa o resultado de uma combinação dinâmica e instável de elementos físicos, biológicos e antrópicos em determinada porção do espaço, que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. Desta forma, o geossistema seria o resultado da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica sendo que, essa combinação não necessariamente se apresentaria de forma homogênea fisionomicamente, mas sim como um complexo dinâmico (CHRISTOFOLETTI, 1999). A perspectiva holística de ecodinâmica desenvolvida por Tricart (1978) apresenta um método de análise do espaço

geográfico, no qual considera a frequência, intensidade e interação entre os processos evolutivos na superfície terrestre e baseando-se na análise sistêmica classifica as unidades ecodinâmica de acordo com seu nível de degradação em 3 estágios, sendo eles: (1º) Os meios estáveis: nesse meio a evolução do modelado é lenta e dificilmente perceptível, sendo a pedogênese o processo dominante; (2º) os meios intermediários ou “intergrades”: caracterizam-se como uma situação de transição gradual de um contexto estável (pedogênese) para um contexto mais instável (morfogênese) e, por fim (3º) os meios fortemente instáveis: nesse meio a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural e fator determinante do sistema natural como, por exemplo, a retirada da cobertura vegetal por ação antrópica ou mesmo o tectonismo.

Atualmente, a Ecologia da Paisagem é uma disciplina que vem se desenvolvendo no sentido de reunir as diversas ciências que estudam a paisagem, buscando uma maior compreensão dos aspectos ecológicos em sintonia com a heterogeneidade espacial (NAVEH & LIEBERMAN, 1984). Desta forma há de se esperar uma grande riqueza de conceitos e definições, mas também contraposições de ideias.

1.2 Fragmentação e conectividade na paisagem

Um dos primeiros referenciais teóricos para a avaliação do processo de fragmentação e sua característica de induzir à disposição da vegetação natural em formas de ilhas isoladas, cercadas por ambientes com ocupação diversa foi a Teoria da Biogeografia de Ilhas ou Biogeografia Insular de MacArthur & Wilson (1967). De forma geral, esta teoria se pauta no conceito de que o número de espécies em uma ilha é resultado de um balanço dinâmico entre extinção e imigração. Sendo assim, o equilíbrio entre o aumento do número de espécies em função da imigração e a diminuição do número de espécies causada pela extinção local resulta numa restauração das espécies. Baseando-se nas variáveis tamanho das ilhas e distância destas ao continente, esta teoria assume que as taxas de extinção variam de acordo com a área e a distância das ilhas ao continente e as taxas de imigração variam em função da distância das ilhas ao continente. Neste sentido, ilhas pequenas e isoladas apresentariam um menor número de espécies do que aquelas maiores e próximas a outras ilhas (Figura 1).

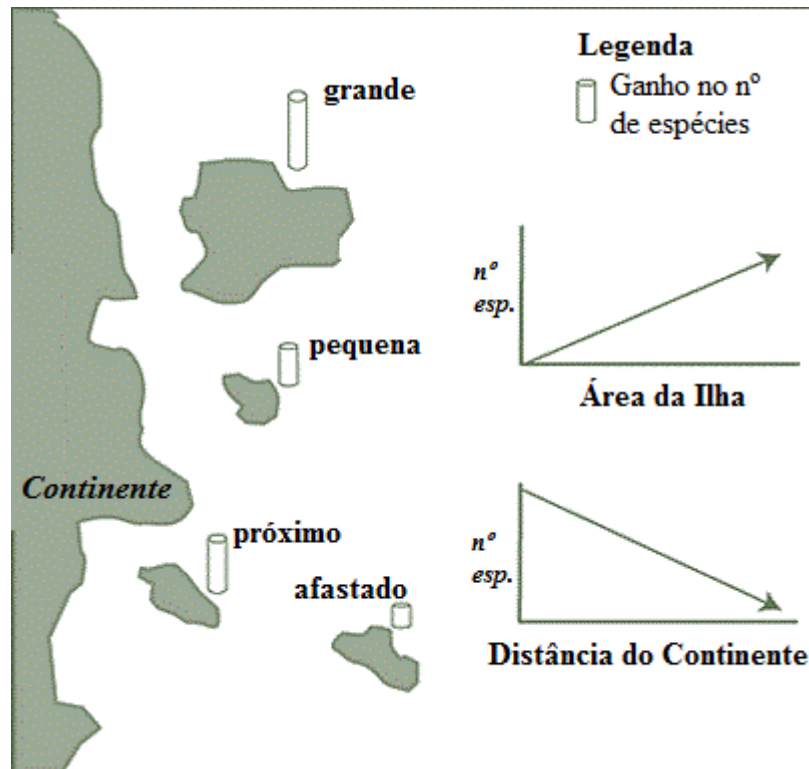


Figura 1 – Relação entre número de espécies com tamanho de ilhas e distância destas ao continente

A semelhança entre os fragmentos florestais e as ilhas permitiu a condução de diversos estudos sobre o tema fragmentação, tendo como base a Biogeografia Insular na interpretação de dados empíricos e no direcionamento de políticas de conservação em paisagens fragmentadas (GASCON et al., 2001). A teoria proporcionou a discussão em torno de diversos temas relacionados ao processo de fragmentação, como exemplo, podemos destacar os questionamentos sobre qual seria o tamanho mínimo para um fragmento ser capaz de fornecer habitat para suas espécies ou se seria um grande fragmento mais eficiente na conservação do que um grupo de fragmentos menores.

Da década de 70 em diante, a teoria em questão direcionou o planejamento e manejo de reservas naturais em todo o planeta, derivando dela estratégias de conservação repercutidas a nível mundial (PIRES et al., 2006). Porém, mesmo se caracterizando como base fortificada para o estudo da fragmentação, algumas críticas são feitas em relação à aplicação desta teoria, principalmente em relação ao aspecto que a Teoria de Biogeografia Insular indica que áreas maiores e mais próximas apresentam maior diversidade que as áreas menores e mais distantes. Sob este aspecto, a Teoria das Metapopulações (HANSKI & GAGGIOTTI, 2004) indica que em determinadas

ocasiões e dependendo da espécie em foco, áreas menores e mais distantes podem apresentar maior diversidade, visto que algumas populações se estruturam de forma diferenciada em relação aos ciclos de vida e migração.

A aceleração da fragmentação isola a maioria das espécies em ilhas de vegetação em meio a uma matriz alterada. Provavelmente, o número de espécies capazes de se adaptar em regiões modificadas é menor do que aquelas contidas no habitat antes intocado. Este processo inicia uma série de efeitos nas comunidades de espécies, como por exemplo, a extinção de espécies, o aumento do número de espécies invasoras e aumento do endocruzamento com redução da variabilidade genética (SHAFER, 1990). Segundo Viana (1995) o maior impacto da fragmentação é a perda da biodiversidade regional, visto que, quanto mais fragmentadas as paisagens, maior deverá ser o esforço para a conservação da biodiversidade.

Segundo Gascon et al (2001) os efeitos da fragmentação são controlados por dois principais processos, sendo estes: (1) os efeitos internos nos fragmentos ligados à formação de borda de floresta e (2) a influência externa do habitat matriz na dinâmica do fragmento. A criação de um limite ou borda entre dois habitats, ao promover uma interrupção súbita entre dois habitats adjacentes ocasiona diversas consequências na estrutura e dinâmica dos ecossistemas. Segundo Galindo-Leal (2005) os fragmentos adquirem determinadas particularidades em relação ao seu tamanho, formato e localização, o que, conseqüentemente, afetam sua estrutura, função e composição biológica. Observa-se assim que algumas espécies podem se beneficiar da geometria e posicionamento do fragmento formado e outras espécies, ao contrário, podem ser severamente prejudicadas. O tamanho e a forma de um fragmento estão intrinsecamente ligados à borda e assim temos que, quanto menor o fragmento, ou mais alongado, maior a incidência dos efeitos de borda, visto a diminuição da razão perímetro/área. Em contrapartida, quanto maior e circular for um fragmento, maior proteção será fornecida à sua área interna.

Quanto mais fragmentos forem formados na paisagem, logicamente mais bordas ou zonas de contato entre o habitat criado pelo fragmento e o habitat alterado ao seu redor serão criadas. Este habitat perturbado circundante, também conhecido como matriz, expõe os fragmentos a diversas alterações de ordem biótica e abiótica. Murcia

(1995) classifica os efeitos de borda (Figura 2) em três tipos: (1) os efeitos abióticos, que envolvem mudanças na estrutura da paisagem de acordo com transformações no meio físico; (2) os efeitos biológicos diretos, que ocasionam alterações na distribuição e quantidade de espécies em função da tolerância de determinadas espécies as condições físicas criadas nas regiões de borda e (3) os efeitos biológicos indiretos, que envolvem transformações nas interações ecológicas, desregulando padrões de dispersão de sementes, predação e competição.



Figura 2 - Efeito de borda na fragmentação de habitats

Os componentes abióticos oferecem o sustento para o relacionamento da biota. Há tempos cientistas observam que a fauna e flora se desenvolvem de forma particular e inter-relacionada em condições abióticas mais homogêneas, com destaque para os trabalhos de Humboldt (HUMBOLDT, 1952; 1953). O processo de fragmentação da cobertura vegetal ao promover a retirada da vegetação e posterior transformação deste antigo fragmento em outra forma de ocupação, desencadeia uma série de alterações no meio físico. E quando pensamos neste sistema de componentes agindo de forma integrada, é fato prever a cadeia de instabilidade que será criada em decorrência da alteração nos fluxos de energia na área afetada. Exemplificando, com a retirada da cobertura vegetal o ciclo hidrológico é afetado de várias formas, por exemplo, diminuindo a capacidade de infiltração da água no solo e aumentando o carreamento de detritos para a rede de drenagem (HORNBECK et al., 1993). Outro exemplo é percebido em regiões de pastagens e plantações, onde a maior incidência solar tende a aumentar a temperatura no nível do solo. Em contrapartida, o ambiente

sob dossel florestal é mais ameno e uniforme e as mudanças no microclima em decorrência da forma como é distribuída a radiação solar alteram a umidade do solo, desequilibram a formação de serapilheira e a ciclagem de nutrientes afetando assim a biota (BALDOCCHI & COLLINEAU, 1994).

No entanto, estas mudanças não são permanentes, sendo reestabelecidas com o tempo, no próprio mecanismo de fechamento da borda devido ao crescimento da vegetação. Porém, após a retirada da cobertura vegetal e fragmentação tem início a substituição das espécies arbóreas originais por espécies pioneiras, promovendo uma mudança significativa da estrutura florestal na área de borda, desta forma as espécies adaptadas a viver em áreas abertas e com maior luminosidade ganham espaço em detrimento das espécies típicas do sub-bosque (LANDAU, 2001).

É notório e consenso entre os pesquisadores que o processo de perda e fragmentação dos habitats naturais ameaça severamente a biodiversidade do planeta (BIERREGARD et al., 1992; FAHRIG, 2003; TABARELLI et al., 2004). A percepção das consequências destes processos são temas que vem sendo reconhecidos como de fundamental importância no planejamento e gestão do meio ambiente. Tabarelli & Gascon (2005) apresentam um suporte empírico para seis diretrizes de apoio a gestão e manejo de paisagens fragmentadas, esperando que estes direcionamentos sejam capazes de mitigar ou eliminar os impactos negativos decorrentes da transformação antrópica das paisagens, sendo elas: (1) Incorporar medidas de proteção como parte dos projetos de desenvolvimento, (2) Proteger as áreas extensas e evitar a fragmentação das florestas contínuas ainda existentes, (3) Manejar as bordas florestais a partir do momento de criação dos fragmentos, (4) Proteger as florestas de galeria para conectar fragmentos isolados de floresta, (5) Controlar o uso do fogo e a introdução de espécies de plantas exóticas e limitar o uso de biocidas na paisagem e (6) Promover o reflorestamento e a ampliação da cobertura florestal em áreas críticas da paisagem.

De acordo com Noss (1992), a conectividade expressa em muitos aspectos o oposto da fragmentação. A conectividade na paisagem se exterioriza a partir do arranjo espacial dos fragmentos de habitats (Forman & Baudry, 1984), demonstrando assim a capacidade da paisagem em facilitar os fluxos biológicos e a intensidade da

movimentação de organismos entre os habitats. De forma geral, avaliar a conectividade na paisagem consiste em identificar e caracterizar os aspectos que facilitam ou dificultam a conexão entre os diversos elementos presentes na paisagem, e, de forma crescente, este tipo de análise tem sido empregado no planejamento ambiental e na implantação de políticas de conservação da biodiversidade.

Em meados da década de 80 teve início às discussões sobre o conceito do termo conectividade (MERRIAM, 1984; FAHRIG & MERRIAM, 1985; FORMAN & GODRON, 1986), desde então o termo vem passando por evoluções conceituais, principalmente no que tange a subdivisão do termo em conectividade estrutural ou funcional. De acordo com Lindenmayer & Fischer (2006) a conectividade representa na paisagem a interligação de processos ecológicos em múltiplas escalas espaciais. A conectividade é também definida como a capacidade de movimento dos organismos entre as manchas de habitats estruturais da paisagem e suas relações funcionais nesse meio (WHIT, 1997). Segundo Taylor et al (1993) a conectividade significa a habilidade de um organismo se movimentar por meio de habitats separados. Podemos pensar então na conectividade como sendo a existência de um caminho espacialmente localizado entre duas manchas de habitat, capaz de permitir o trânsito e as relações funcionais da biodiversidade.

Com relação à dissociação entre conectividade estrutural e funcional, existem autores que não acham pertinente esta subdivisão, entendendo que o termo conectividade por si só abrange todas as formas de conexão entre os habitats, diferindo apenas na maneira de quantificação, ora direcionada para as relações funcionais entre os organismos e ora voltada para o formato estrutural dos elementos da paisagem (TAYLOR et al., 1993).

Porém, atualmente existe uma tendência nesta dissociação e diversos estudos são realizados com foco na funcionalidade (JÓRDAN et al., 2007; SAURA & TORNÉ, 2009). São estudos que investigam os habitats de uma matriz, juntamente com seus elementos de ligação na paisagem, sob o ponto de vista de espécies alvo. Desta forma, os estudos analisam o comportamento de determinadas espécies e suas peculiaridades em relação ao habitat, provendo o entendimento da dinâmica e movimentação destas espécies em habitats heterogêneos. De acordo com Lang &

Blaschke (2009) apesar de serem estudos fundamentais, dificilmente são aplicados em grande escala, pois normalmente são estudos que analisam apenas uma espécie focal e tendo vista que o planejamento de grandes áreas envolvem diversos elementos da paisagem, esta restrição não é interessante. Buscando alternativas, foram desenvolvidos estudos com grupos de populações coexistentes no habitat, como exemplo bem estruturado, temos a Teoria das Metapopulações (HANSKI & GAGGIOTTI, 2004) apontando que, se um determinado remanescente isolado não é capaz de manter uma espécie, um conjunto destes remanescentes bem conectados poderia ser viável.

As pesquisas com enfoque na conectividade estrutural são direcionadas para os atributos físicos da paisagem (tamanho, forma, etc.), sem um direcionamento específico para a habilidade de dispersão da biota (Hargrove et al., 2004; Goetz et al., 2009). Englobam a aplicação de métricas para a análise dos elementos estruturais da paisagem. Fahrig & Merriam (1994) afirmam que o entendimento da estrutura espacial da paisagem tem importância central na compreensão dos efeitos da fragmentação sobre as populações dos diversos habitats, sendo que a estrutura espacial da paisagem consiste na relação espacial entre as partes de habitats e a matriz na qual estão incluídos. Segundo Rouget et al (2006) a conectividade em paisagens fragmentadas ocorre de forma assimétrica, os autores observaram que a direção preferencial do movimento tem relação com a combinação de fatores, tais quais a facilidade de deslocamento em relação a topografia e proximidade do recurso natural prioritário e predileto. Críticas são feitas a este conceito no sentido de que, somente avaliar a conformação estrutural dos elementos da paisagem seria insuficiente para demonstrar a real conexão em termos biológicos.

Uma visão interessante sobre o conceito de conectividade é apresentada por Calabrese & Fagan (2004) ao distinguir as formas de caracterização da conectividade em três formatos, sendo eles: (1) Conectividade Estrutural (levando em conta os atributos físicos da paisagem, sem foco na habilidade de dispersão da biota); (2) Conectividade Potencial (caracterizada como uma combinação dos atributos físicos da paisagem com informações superficiais sobre a habilidade de dispersão, indicando qual o grau de conectividade propiciada pela paisagem para tais espécies) e, por fim (3) Conectividade Atual (baseada na observação individual da dispersão e dinâmica

da biota, com concretas estimativas sobre a interatividade entre os elementos da paisagem e as espécies em seus habitats).

A configuração da conectividade na paisagem pode transcorrer sob algumas perspectivas, apresentando níveis diversos de capacidade conectiva, qualidade e padrões espaciais na superfície terrestre. A conectividade pode ser alcançada por meio de algumas estratégias, sendo que a abordagem mais adequada depende do nível de modificação e peculiaridades do habitat na paisagem.

1.3 Estrutura, função, mudança e escala na dinâmica da paisagem

Segundo definição de Forman & Godron (1986) o desenvolvimento ou formação da paisagem é resultado da interação entre a estrutura, função e mudança nos ecossistemas heterogêneos. A Estrutura da paisagem se traduz em sua formatação no espaço, ou seja, são os padrões espaciais formados na superfície terrestre. Desta forma entende-se que a estrutura espacial caracteriza a distribuição, forma e quantidade de habitats numa paisagem. A Função da paisagem é vista como as interações ou fluxos entre os habitats e as espécies presentes nos ecossistemas e a Mudança é entendida como a alteração na função e na estrutura do conjunto de habitats distribuídos no espaço ao longo do tempo.

De forma geral a função da paisagem engloba a composição natural dos estoques de recursos presentes nas paisagens e a forma como esses estoques são transformados em serviços para os seres vivos (HAINES-YOUNG & POTSCHIN, 2009). De acordo com Hein et al (2006) os processos e funções desempenhados pelos ecossistemas podem ser divididos em quatro grandes grupos, sendo estes:

- (1) Função de produção: A função de produção se caracteriza como a oferta de recursos naturalmente disponíveis e passíveis de utilização e exploração, como por exemplo a oferta de oxigênio, de água, de energia, a matéria bruta para a construção de moradia e vestuário, entre outros aspectos que caracterizam a capacidade de provimento de recursos.

- (2) Função de regulação: Contemplam a capacidade que os ecossistemas possuem de regular processos ecológicos essenciais, contribuindo para a saúde do ambiente e sustentabilidade ambiental e econômica de uma região, como por exemplo a regulação climática e do ciclo hidrológico, regulação da composição química da atmosfera e dos oceanos, reciclagem de nutrientes orgânicos, entre outros.

- (3) Função de habitat e suporte: Capacidade de prover espaço e substrato adequado para a manutenção das estruturas e processos ecológicos, assim como para as atividades humanas, oferecendo assim suporte para a habitação, cultivo, recreação, conservação da biodiversidade.

- (4) Função de informação: Representa a capacidade de prover sustentáculo para o desenvolvimento dos traços culturais e científicos, crescimento espiritual, conhecimento da história e contemplação da beleza paisagística.

O conceito de estrutura permite a comparação entre paisagens distintas, visto que cada paisagem apresenta um padrão estrutural peculiar e perceptível. Este padrão estrutural ou arranjo entre os seus elementos formadores combinados, faz transparecer o mosaico de uso da superfície terrestre. Observando os conceitos instituídos dentro do escopo da Ecologia da Paisagem por Forman & Godron (1986) temos que a paisagem possui uma estrutura formada por três elementos, sendo eles a Matriz, a Mancha e o Corredor (Figura 3), sendo que o estudo da relação espacial entre estes elementos constitui um tema central de pesquisa na Ecologia da Paisagem.

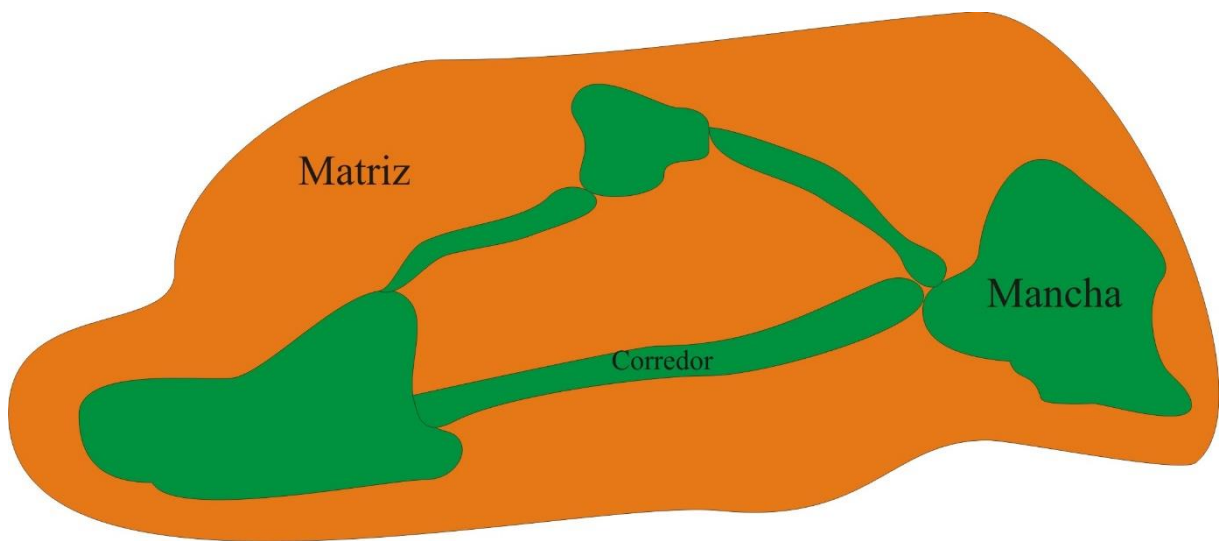


Figura 3 - Elementos que representam a estrutura da paisagem

A matriz é a cobertura com maior extensão na paisagem e é a que possui a mais alta conectividade, desempenhando um papel de dominância no funcionamento da paisagem (FORMAN & GODRON, 1986). A matriz pode ser entendida como uma unidade de paisagem que controla a dinâmica da paisagem. Observando uma imagem de satélite (Figura 4), a matriz seria a tipologia mais abundante na cena. A matriz é o ambiente no qual as manchas estão contidas (ROSENBERG et al., 1997). Identificar a matriz como um elemento estrutural da paisagem não é tarefa fácil e pode se tornar um grande desafio em determinadas paisagens. Desta forma deve-se observar a área relativa de um tipo de elemento na paisagem e sendo este consideravelmente mais extenso que os outros ou possuidor de maior conexão com o restante de elementos adjacentes, ele responderá como matriz nesta situação. Outra forma de identificação é por meio da percepção de qual elemento exerce maior controle na dinâmica da paisagem.



Figura 4 - Paisagem na qual a matriz é de cultura agrícola (adaptado de Google Earth)
Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor

A mancha consiste em uma área (polígono) não linear, que difere do tipo de cobertura circunvizinha em natureza ou aparência, estando incrustadas na matriz, ou seja, a mancha seria uma área com tipologia diferente da cobertura mais extensa, como por exemplo, um fragmento florestal (mancha) em meio a uma área predominantemente agrícola (matriz). Regularmente, estas manchas na paisagem são comunidades de plantas ou animais, porém, algumas destas manchas podem não conter nenhum tipo de vida ou apenas alguns microrganismos, caracterizando-se por proeminente presença de rocha, solo, pavimento ou edificação (FORMAN & GODRON, 1986). As manchas podem variar em forma, tipo, tamanho, heterogeneidade e características de borda e os mecanismos de origem das mesmas são diversos e de acordo com a classificação de Forman & Godron (1986) temos os seguintes tipos de manchas:

- Manchas de Perturbação: Originadas a partir de perturbações distintas (queimada, mineração, desmatamento, chuvas torrenciais, formação de pastagem, entre outras) que ocasionam uma transformação significativa no padrão normal da paisagem.

- **Manchas Remanescentes:** Ocorrem em meio a uma área de perturbação generalizada, sendo uma área que não sofreu as consequências diretas da perturbação, porém pela proximidade com o foco podem ter sofrido alguma mudança em seu formato original.
- **Manchas de Regeneração:** Uma mancha incrustada numa área de perturbação crônica consegue se desvincular deste processo, favorecendo assim a sua recuperação. Tem grande semelhança com as manchas remanescentes, porém sua origem é diferente, visto que se origina a partir do fim de uma perturbação em seu âmago.
- **Manchas de Recursos Ambientais:** São manchas estáveis e sem a interferência de perturbações. São áreas que permitem a manutenção da sucessão florestal e de espécies.
- **Manchas Introduzidas:** São manchas introduzidas pela ação antrópica.
- **Manchas Efêmeras:** são manchas que ocorrem por meio de concentrações sazonais ou momentâneas de espécies vegetais e animais, como por exemplo, migrações, corte de eucalipto, entre outros.

Os corredores são faixas que ligam duas ou mais manchas de habitat. Possuem o formato de estruturas lineares e homogêneas, diferindo do seu entorno. Os corredores se originam da mesma forma que as manchas. Segundo Forman & Godron (1986) eles podem ser:

- **Corredores de Perturbação:** Originados de distúrbios em uma faixa, por exemplo, em operações lineares para retirada de lenha, projetos de ferrovias e linhas de energia.
- **Corredores Remanescentes:** Originados de perturbação na matriz do entorno. Por exemplo, uma faixa de árvores intocadas ao longo de uma estrada após um desmatamento para cultivo.

- Corredores de Recursos Ambientais: Originados a partir da distribuição linear heterogênea dos recursos ambientais pelo espaço. Como exemplo, os corredores formados por matas ciliares.
- Corredores Introduzidos: Corredores introduzidos pela ação antrópica. Ex. Rodovias.
- Corredores de Regeneração: Resultam da recuperação de uma faixa de vegetação em uma área de distúrbio.

O fator Mudança é entendido como a alteração na função e na estrutura do conjunto de habitats distribuídos no espaço ao longo do tempo. Transformações na forma de uso da terra e na cobertura vegetal de um dado espaço causam reflexo direto na paisagem. Estas transformações podem ser originadas de processos naturais, em função de variações climáticas, erupções vulcânicas, alterações no padrão hidrológico, entre outros, ou a partir da influência e atividades antrópicas, que reconhecidamente vem provocando mudanças contínuas na paisagem, normalmente desencadeando a perda da biodiversidade.

A análise da função, estrutura e mudança numa determinada paisagem e seus respectivos parâmetros deve, necessariamente, ser realizada observando a questão da escala ou resolução, em sua dimensão temporal e espacial. De forma abrangente, define-se escala como sendo uma relação matemática entre as dimensões reais de um objeto e a sua dimensão representada. Sob o ponto de vista da Cartografia, uma escala pequena é aquela que representa áreas regionais, de grande extensão e no sentido inverso, uma escala grande, denota a representação de áreas menores, em escala local. O conceito de resolução tem grande relacionamento com o Sensoriamento Remoto, em função da grande variedade das características dos sensores remotos instalados em satélites orbitais ou em aeronaves. De acordo com Jensen (2009) existe uma relação geral entre o tamanho de um objeto ou área a ser identificada e a resolução espacial de um sistema de Sensoriamento Remoto, sendo que a resolução espacial é uma medida da menor separação angular ou linear entre

dois objetos que pode ser determinada pelo sensor e a resolução temporal se refere a frequência a qual um determinado sensor registra imagens de uma área particular.

O conceito de escala de observação, no contexto da Ecologia da Paisagem, conforme definido por Turner & Gardner (1991) é descrito como sendo a dimensão espacial ou temporal de um processo ou objeto, caracterizada pelos termos grão e extensão, sendo que, o grão indica o nível mais refinado de resolução no conjunto de dados e a extensão, corresponde ao recorte espacial completo da área sob análise e ao tempo total de duração dos processos avaliados (Figura 5).

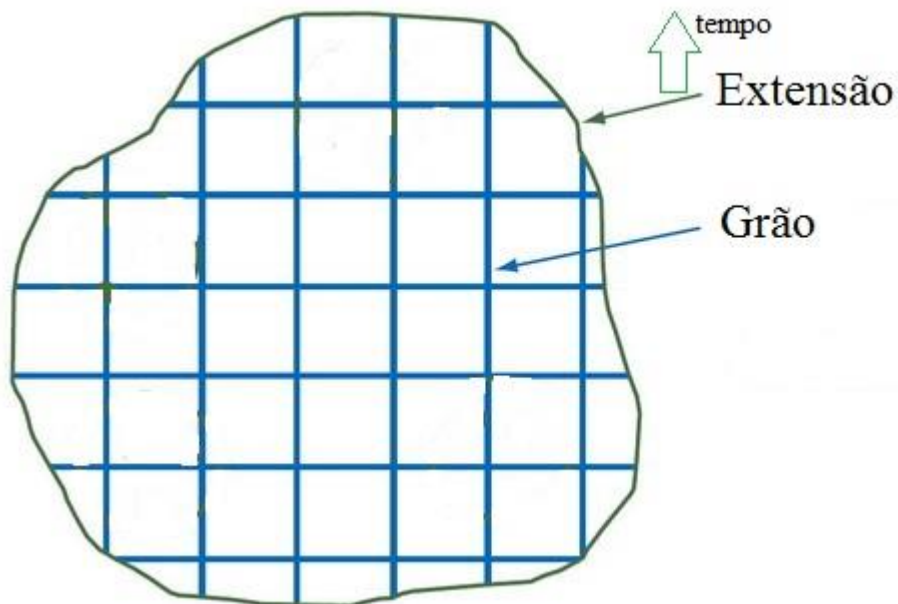


Figura 5 - Conceito de grão e extensão na escala de observação

Percebe-se então uma oposição na definição de escala pela Geografia e pela Ecologia, porém tendo em vista o objetivo de extinguir ou pelo menos amenizar esta ambiguidade, Turner et al (2001) recomendam a utilização da abordagem sobre a escala segundo as terminologias de escala refinada, em se tratando de áreas de análise pequenas, com grande resolução espacial e temporal e escala ampla, para áreas de análise de grande extensão, com menor resolução, ou seja menor detalhamento.

A escala de análise e a resolução são determinantes para o entendimento do conceito de grão e extensão. No caso das imagens do satélite *LandSat*, cuja resolução espacial é de 30 metros, todos os objetos ou manchas menores que 30 metros não serão classificáveis. Sendo, neste caso, o pixel com 30 metros, o menor nível de resolução espacial possível, ele então corresponde ao conceito de grão. No mesmo sentido, se consideramos uma imagem do satélite *Rapideye*, que possui pixel de 5 metros, o grão será equivalente a resolução espacial do satélite. Pensando no conceito de extensão em relação aos pressupostos do Sensoriamento Remoto, este corresponde a uma cena ou recorte de uma determinada imagem de satélite que recobre a área de análise e também ao intervalo de tempo entre as imagens consideradas no estudo.

Segundo Lang & Blaschke (2009) para a avaliação analítica da estrutura da paisagem, desenvolveu-se um conjunto de métodos designado de medidas da estrutura da paisagem, que orientam os seus procedimentos metodológicos em direção à tendência científica prospectiva e com grande orientação quantitativa, porém os mesmo autores enfatizam que a quantificação de paisagens, ou seja, de elementos individuais e a sua ordenação espacial, naturalmente não pode ser um objetivo em si mesma. É imprescindível, que o conceito de estrutura da paisagem e suas métricas sejam utilizados em consonância com as observações inerentes à realidade da paisagem, ou seja, que cumpram o papel de ferramentas de apoio ao estudo da realidade de campo.

A análise do padrão estrutural da paisagem por meio de métricas é direcionada por duas abordagens, relacionadas à composição e configuração da paisagem. Essas abordagens se diferenciam em função da apreciação ou não da referência espacial para a descrição das características da paisagem. De acordo com Gustafson (1998) a categoria de composição do mapa, realiza as quantificações com métricas que não requerem referências quanto aos atributos espaciais, já a categoria de configuração espacial do mapeamento requer a informação espacial para o desenvolvimento das quantificações a respeito do padrão espacial.

A composição da paisagem descreve a quantidade de manchas que compõem a paisagem e também provê a informação qualitativa sobre as mesmas. Pode-se assim dizer que esta abordagem abrange toda a variedade de tipologias de manchas

presentes na paisagem, porém não considera a localização e posição espacial dessas manchas no mosaico de paisagem analisado, sendo inclusive descrita em formato numérico, sem nenhuma referência espacial explícita. Existem diversas medidas quantitativas de composição da paisagem, tais quais: medidas de uniformidade (leva em conta a abundância relativa de diferentes tipos de manchas); medidas de riqueza (corresponde a quantidade de diferentes tipos de mancha); medidas de diversidade das manchas, entre outras. A configuração da paisagem descreve as características espaciais das manchas e sua vizinhança. Neste sentido é uma categoria que descreve a distribuição física das manchas na paisagem. As principais métricas calculadas no escopo da configuração da paisagem são referentes a tamanho, densidade, isolamento e complexidade da forma das manchas.

A quantificação de padrões estruturais da paisagem representa um elemento chave na interpretação da composição, configuração e conectividade na paisagem. Tais métricas podem ser utilizadas para a avaliação da integridade ecológica das paisagens oferecendo suporte em ações de planejamento ambiental, conduzindo a interpretação da conectividade estrutural da paisagem. De acordo com Metzger (2006), tendo em vista que a Ecologia da Paisagem lida com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, é necessário a quantificação precisa dos padrões espaciais e uma das formas de prover essa quantificação é por meio das métricas de paisagem. Conforme ressalta Botequilha-Leitão (2006), se faz necessária cautela na escolha das métricas a serem utilizadas, visto que muitas podem possuir redundância entre elas no valor final. Existe um imenso conjunto de métricas disponíveis para a análise da paisagem, porém dentre essa vasta gama de métricas, a utilização de um conjunto restrito e bem combinado de métricas é suficiente para direcionar as interpretações ecológicas mais substanciais (LANG & BLASCHKE, 2009).

De acordo com Metzger (2006) os mapas de categorias de uso e cobertura do solo representam fonte de dados para a quantificação da estrutura da paisagem a partir de métricas de paisagem, possibilitando assim, a investigação ecológica por meio de padrões espaciais. A aplicação de análises por meio de métricas de paisagem podem ser realizadas em pelo menos três níveis escalares (Figura 6), sendo estes: (1) a escala de uma mancha individual (um único fragmento de floresta por exemplo); (2) a escala de uma classe inteira de manchas de mesma categoria (todo o mapeamento

da classe eucalipto, por exemplo) e (3) a escala da paisagem como um todo (análises direcionadas para as interações entre as diferentes categorias de manchas mapeadas).

Escala na Análise da Paisagem

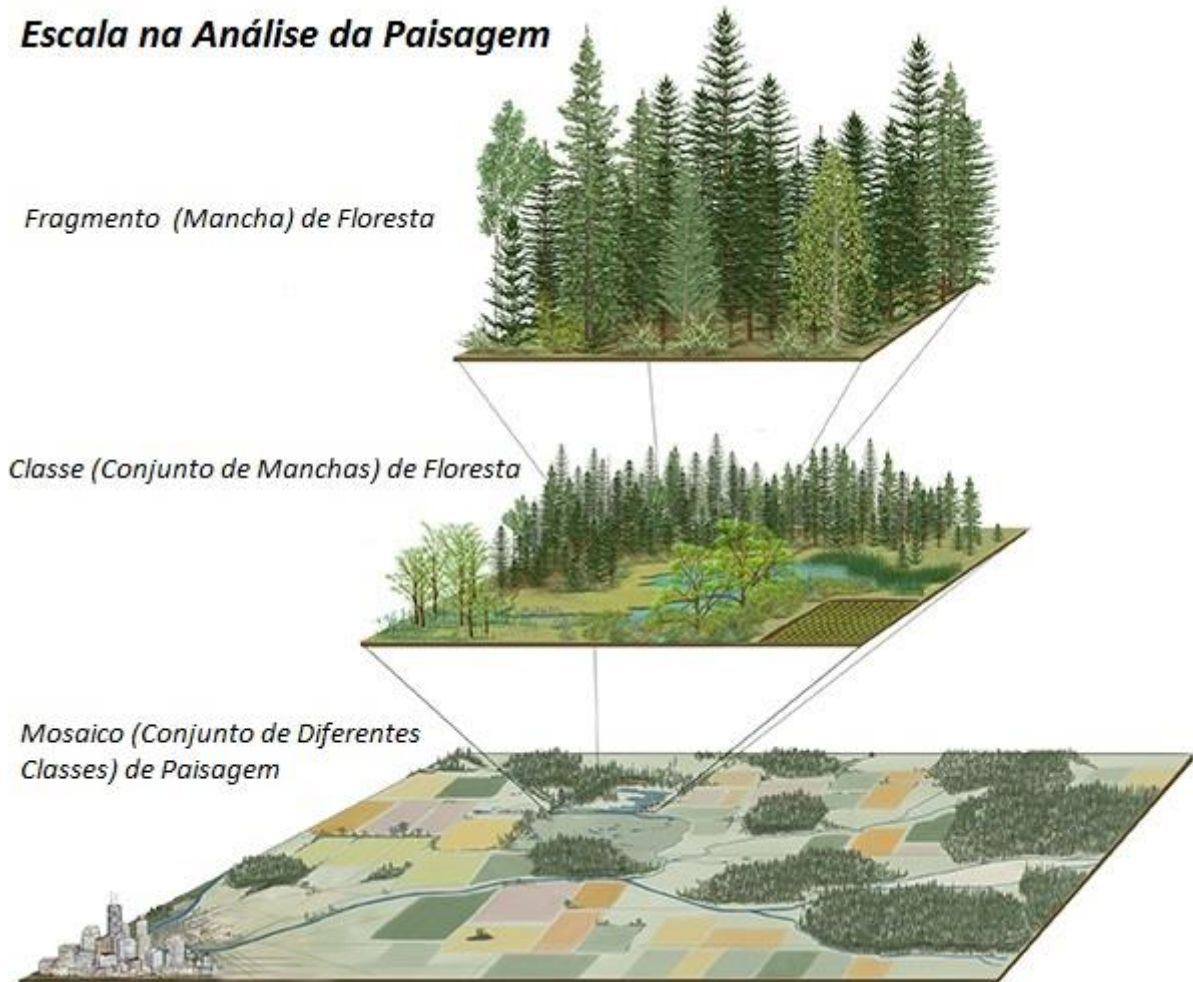


Figura 6 - Escala na análise da paisagem
 Fonte: adaptado de Encyclopedia Britannica, Inc.

Neste estudo, a análise da configuração dos padrões espaciais da paisagem e quantificação da estrutura da paisagem foi realizada por meio de métricas de paisagem calculadas pelo programa computacional Fragstats. Inicialmente, este *software*, foi idealizado e elaborado por Kevin McGarigal e Barbara Marks na Universidade de Oregon (McGarigal & Marks, 1995), tendo continuidade em seu desenvolvimento, nas versões 2 e 3, por pesquisadores da Universidade de Massachusetts (McGarigal et al., 2002) e atualmente encontra-se em sua versão 4 (McGarigal et al., 2012). Neste estudo foi utilizada a versão mais recente do programa, sendo ela o Fragstats 4.1.

O Fragstats é um programa de domínio público, direcionado para a análise do padrão espacial em mapas com descrição de categorias que representam o modelo estrutural da paisagem num mosaico paisagístico. O programa Fragstats aceita alguns formatos de imagens para análise, dentre estes destacamos o formato Grid do ArcGIS, GeoTIFF, ERDAS Imagine e o formato ASCII de 8 a 32 bits. O programa oferece um grande conjunto de opções para cálculo de métricas na paisagem, sendo agrupadas em sua versão 4.1 da seguinte forma:

- Métricas de área e borda
- Métricas de forma
- Métricas de área do núcleo
- Métricas de contraste
- Métricas de agregação
- Métricas de diversidade

Tais métricas podem ser calculadas para três níveis escalares diferentes, ou seja, podem ser extraídos índices ou métricas para manchas de fragmentos individuais, *Patch Metrics*, para um grupo de manchas de fragmentos de determinada classe, *Class Metrics* ou então para a paisagem como um todo, obtendo assim valores capazes de descrever o conjunto de todas as classes de manchas de fragmentos de uma paisagem, *Landscape Metrics*.

1.4 Aplicações das geotecnologias na gestão dos recursos naturais

O desenvolvimento de ferramentas e a aplicação de metodologias embasadas nos conceitos da geoinformação para o apoio na gestão do meio ambiente, são soluções que vem sendo disseminadas a algum tempo por meio de pesquisas e trabalhos técnicos. O conjunto das geotecnologias, com destaque para os Sistemas Especialistas e as técnicas de Sensoriamento Remoto do ambiente, estão atualmente em estágio bastante avançado de desenvolvimento, existindo *softwares* e algoritmos de alta performance, capazes de lidar com banco de dados extremamente grandes e também, surgem a cada momento, produtos captados por sensoriamento remoto com resoluções cada vez mais refinadas. O grande desenvolvimento dos componentes de

hardware e a grande acessibilidade do público em geral a estes componentes, também vem contribuindo para a aplicabilidade mais efetiva das geotecnologias. Uma revisão abrangente sobre os conceitos estruturadores de SIG e do Sensoriamento Remoto podem ser encontrados nas obras de (Longley et al., 2013) e (Jensen, 2009), respectivamente.

O gerenciamento das informações espaciais de forma sistematizada tem papel fundamental na gestão dos recursos naturais e de áreas de paisagem notável com necessidade de proteção, sendo de grande relevância na elaboração de diagnósticos e prognósticos ambientais, auxiliando na tomada de decisão em defesa da biodiversidade com maior probabilidade de acerto. Entende-se assim que a aplicação das geotecnologias possui papel relevante no desenvolvimento sustentável. Sua aplicabilidade foi inclusive indicada na Agenda 21, um dos principais documentos resultantes da Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, a Eco-92 ou Rio-92. Na leitura do capítulo 40, da Agenda 21 intitulado de Informação para a tomada de decisões, se encontram menções as geotecnologias, tais quais na seção 40.8 na seguinte passagem:

Dentro dos órgãos e organizações do sistema das Nações Unidas e das organizações internacionais pertinentes, é preciso reforçar as atividades de coleta de dados, entre elas as de Observação da Terra e Observação Meteorológica Mundial, especialmente nas áreas de ar urbano, água doce, recursos terrestres (inclusive florestas e terras de pastagem), desertificação, outros habitats, degradação dos solos, biodiversidade, alto mar e atmosfera superior. Os países e as organizações internacionais devem utilizar novas técnicas de coleta de dados, inclusive sensoriamento remoto, baseado em satélites. (CNUD, 1992).

Outra menção encontra-se na seção 40.9 da Agenda 21:

As organizações internacionais pertinentes devem desenvolver recomendações práticas para a coleta e avaliação coordenada e harmonizada de dados nos planos nacional e internacional. Os centros nacionais e internacionais de dados e informações devem estabelecer sistemas contínuos e acurados de coleta de dados e utilizar os

sistemas de informação geográfica, sistemas de especialistas, modelos e uma variedade de outras técnicas para a avaliação e análise de dados. Esses passos serão especialmente pertinentes, pois será preciso processar uma grande quantidade de dados obtidos por meio de fontes de satélites no futuro. Os países desenvolvidos e as organizações internacionais, assim como o setor privado, devem cooperar, em particular com os países em desenvolvimento, quando solicitado, para facilitar sua aquisição dessas tecnologias e conhecimento técnico-científico. (CNUD, 1992).

O processo de tomar decisões em meio a cenários extremamente inconstantes, seja em função de regras políticas, situações climáticas, crises energéticas, necessidade de salvaguarda de recursos, entre outros, invariavelmente, se torna um assunto estratégico, onde a análise de diversas variáveis irão compor a decisão final. A evolução do conhecimento na Análise de Multicritério ou *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA), conforme citação na literatura científica internacional, se baseia em buscar formas de auxiliar o ser humano a tomar decisões. Na maioria das vezes, decidir algo exige a avaliação de uma série de requisitos e cada um destes requisitos pode ser notado por diversos pontos de vista, o que invariavelmente acarretará em conflitos de interesses sobre a decisão. Uma tomada de decisão pode ser realizada unilateralmente, porém, se o problema envolve diversas variáveis complexas, a busca de uma solução pautada por um corpo de especialistas, com maior intimidade com o assunto a ser tratado pode prover maior acurácia. É obvio concluir, que neste momento teremos uma ou mais possíveis soluções para o mesmo problema, cada qual apoiada sobre o ponto de vista de um conhecedor do assunto, sendo imprescindível então que se tenham critérios para se chegar à decisão. Neste contexto, uma AMC fortalecerá a coerência entre os interesses, articulando melhor as hesitações e ambiguidades, fornecendo assim uma solução plausível dentre todas discutidas.

A MCDA é um ramo da Pesquisa Operacional, que se caracteriza como uma ciência aplicada, de caráter multidisciplinar, voltada para a resolução de problemas reais, tendo como foco a tomada de decisões, apoiando-se na aplicação de conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. Tem sua origem durante a segunda guerra mundial em função da

necessidade do planejamento de estratégias militares de grande dimensão e complexidade, visto que, para apoiar os comandos operacionais, foram criados grupos multidisciplinares de matemáticos, físicos, engenheiros entre outros, com o objetivo de aplicar o método científico na resolução de problemas que lhes foram sendo colocados. Neste contexto desenvolveram-se modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que permitiam a percepção e simulação dos problemas em estudo, criando-se assim bases para a avaliação de cenários hipotéticos guiados por decisões alternativas.

A partir da década de 50 o estudo e aplicação da Pesquisa Operacional se expandiu para universidades e empresas, sendo criados novos métodos direcionados a uma vasta gama de aplicações. É a partir da década de 60 que surgiram efetivamente os métodos de análise por multicritérios para aplicação em processos de decisão, desenvolvendo-se também a consciência entre os pesquisadores, visto a complexidade e dificuldades dos problemas, de que não se atingiria por meio desses novos métodos a solução ótima, mas sim a solução satisfatória e com maior capacidade para atender as variáveis do problema.

Esta temática vem evoluindo com diversas inovações e atualmente podemos destacar duas principais linhas de pensamento referentes à AMC, sendo elas a Escola Americana e a Escola Francesa ou Europeia.²⁵ Muitos paradoxos são traçados entre as duas abordagens e realmente a definição dos métodos de cada escola são distintos. A Escola Americana caracteriza-se pela extrema objetividade e sintetização do problema dentro de um conjunto bem definido de opções, buscando um modelo matemático capaz de definir uma solução ótima. Em contraponto, a Escola Francesa não se molda pela mesma objetividade, admitindo um modelo mais flexível que auxilia o decisor a construir um leque de alternativas prediletas num processo mais atrelado com a preferência humana. Em se tratando de terminologia, existe a diferenciação entre as escolas com a utilização do termo *Multicriteria Decision Making* (MCDM) ao se referir à abordagem da Escola Americana e o termo *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA) referindo-se a abordagem da Escola Francesa (ROY, 1993).

²⁵ O termo Escola Francesa se originou pelo fato dos primeiros métodos desta abordagem serem criados por pesquisadores franceses, porém importantes contribuições têm surgido em outros países da Europa.

Inicialmente o SIG foi desenvolvido como uma ferramenta para armazenamento, recuperação e exibição de informações geográficas. A capacidade para análises espaciais era ainda incipiente ou mesmo não existia nestes pioneiros sistemas. Atentando para a potencialidade de interatividade entre SIG e métodos de análise espacial, pesquisadores iniciaram a busca de alternativas para a viabilização desta integração. Atualmente, a integração entre SIG e MCDA tem sido frequente na literatura, principalmente a partir do final da década de 80 conforme revisão de (MALCZEWSKI, 2007). A capacidade do SIG de tratar a relação espacial entre os objetos geográficos e gerar uma análise espacial desta informação apresentando um mapeamento, aliada ao grande número de procedimentos metodológicos direcionados a estruturação de decisão, proporcionada pela MCDA, representa um grande recurso para o desenvolvimento de decisões observando a componente espacial. A integração entre SIG e MCDA tende a evoluir no sentido de proporcionar ao usuário, métodos para avaliar diferentes alternativas com base em múltiplos critérios, observando assim os conflitos que transitam entre os objetivos (CARVER, 1991). Os métodos e ferramentas que vem sendo desenvolvidos observando este contexto de integração entre SIG e MCDA, normalmente citados na literatura científica internacional como *GIS based MCDA* (Malczewski, 1999), tem tido grande efetividade em diversas áreas de investigação (MALCZEWSKI, 2007). Mesmo estando ainda em fase experimental, alguns resultados têm sido publicados em estudos com direcionamento para a análise da conectividade na paisagem (STORE & KANGAS, 2001; MARULLI & MALLARACH, 2005; FERRETTI & POMARICO, 2013).

Para estimar a acurácia dos resultados alcançados na análise multicritérios existem métodos específicos para a análise de incertezas inerentes ao processo, sendo assim, de acordo com Chen et al (2011) o propósito da análise de incertezas é a descrição e quantificação do risco na escolha de uma determinada opção decisória. De forma simplificada, podemos dizer que a finalidade desta análise é estimar a robustez dos resultados alcançados na análise multicritérios, por meio da observação e controle dos efeitos que mudanças nos pesos dos critérios podem gerar na decisão final. Neste sentido, é possível estimar o grau de influência de cada critério inserido em determinada análise, enriquecendo assim a análise do ambiente em questão.

Um dos métodos mais utilizados e que provê melhores resultados para a avaliação das incertezas em modelos de decisão é a Análise de Sensibilidade. Existem diversos métodos de Análise Sensitiva. Saltelli et al (2000) agrupam estes métodos em três classes: (1) métodos de seleção, quando se trata de uma situação onde se tenha um grande número de parâmetros de entrada, mas apenas alguns destes possuem efeito significativo na resposta de saída; (2) métodos locais, quando a análise se concentra em fatores locais e (3) os métodos globais utilizados para a análise de vários parâmetros simultaneamente.

O uso das técnicas de análise sensitiva globais é indicado quando as variáveis de entrada podem ser afetadas por incertezas de diferentes ordens de magnitude (SALTELLI et al., 2000). Para a avaliação do impacto das incertezas nos pesos dos critérios indicados, uma técnica de análise sensitiva global muito utilizada em análises ambientais e que pode oferecer bons resultados é a Análise Monte Carlo (ZHOU Et al., 2003; JEANNERET et al, 2003; CARMEL et al., 2009; LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWISKI, 2014; FONSECA et al., 2014).

Segundo Vose (2000) o método de Monte Carlo seleciona valores aleatoriamente de acordo com a distribuição de probabilidade definida. A simulação de Monte Carlo produz intervalos com distribuições de valores de possíveis resultados. Ao jogar com essas possíveis distribuições de probabilidades de ocorrência de certo fenômeno, a incerteza inerente ao processo tende a ser descrita com maior precisão. Neste sentido, entende-se que a simulação de Monte Carlo é um processo de amostragem, no qual o interesse é a observação do comportamento de uma variável em função do desempenho de outras variáveis que remetem a incertezas. De acordo com Moura et al (2014) a análise de incertezas apresenta o grau de certeza e incerteza existente nos resultados da análise multicritérios, inserindo assim maior robustez para a análise baseada em multicritérios.

De acordo Christofolletti (1999) os sistemas ambientais representam entidades organizadas na superfície terrestre, de modo que a espacialidade representa uma de suas características inerentes e sua organização está vinculada aos elementos que os constituem. Como é perceptível, as aplicações baseadas na integração entre SIG e MCDA permitem a análise de um cenário fixo no tempo e espaço, por meio da

conjugação de diversas variáveis, observando esta potencialidade, pode-se pensar o quão esclarecedor seria poder ir um pouco além e projetar tendências no tempo e espaço.

A dinâmica de evolução das paisagens no espaço apresenta cenários distintos periodicamente e avaliação destes cenários, levando em conta, além do próprio espaço em si, a influência do tempo na alteração dos processos naturais e antrópicos, produz uma investigação menos limitada das condições do ambiente. Um modelo é designado como dinâmico no momento em que possui uma dimensão temporal explícita, ou seja, apresenta entradas e saídas que variam em função do tempo e se seu estado presente tem dependência de um estado anterior (WEGENER et al., 1986). A avaliação e criação de cenários é uma abordagem na qual a paisagem, que é o objeto de estudo, deve ser previamente investigada em suas peculiaridades. Para a elaboração de perspectivas para um de cenário da paisagem, os fluxos e forças que impulsionam o desenvolvimento natural dos elementos abióticos e bióticos dos geossistemas precisam ser conhecidos, assim como a influência dos elementos antrópicos que estimulam a transformação da paisagem.

A simulação por Cadeia de Markov é um processo estocástico, visto que podem ser agregadas uma ou mais variáveis aleatórias para o desenvolvimento de um modelo para o entendimento de um dado fenômeno. A Cadeia de Markov tem grande aplicação na simulação de sistemas dinâmicos, principalmente em estudos que visam detectar alterações no uso e ocupação do solo (MULLER & MIDDLETON, 1974). Em sistemas ambientais este algoritmo tem a capacidade de simular um cenário futuro para uma determinada paisagem, baseando-se nos seus estados precedentes, ou seja, o tempo t_{2014} depende dos valores medidos nos tempos t_{2010} e t_{2012} . Este procedimento se torna interessante para o estudo de mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo, visto não ser um algoritmo muito complexo e por possuir grande interoperabilidade de implementação em ambiente SIG, assim como pelo fato de admitir como fonte de dados, produtos provenientes de Sensoriamento Remoto.

Uma limitação da Cadeia de Markov é a sua característica de não relacionar a informação de uma célula ou pixel com as células vizinhas e também, a impossibilidade da inclusão de variáveis catalisadoras do fenômeno estudado, como

por exemplo a inclusão de uma camada de rodovia para a explicação do fenômeno de desmatamento ou a espacialização de um dado socioeconômico que pode estar direcionando determinado fluxo de migração entre regiões, neste sentido, percebe-se que este modelo consegue indicar onde e qual a quantidade de mudança ocorrida, porém não consegue aprimorar a análise com respostas sobre o porquê da ocorrência da situação.

Um modelo dinâmico que pode ser acoplado à Cadeia de Markov buscando amenizar essa sua limitação é o Autômato Celular. Neste algoritmo, a situação atual de uma célula irá depender do estado precedente das células vizinhas a esta, seguindo uma regra de transição para a atribuição do novo valor. Segundo Wolfram (1983; 1984) os autômatos são malhas com células regulares, nas quais cada célula possui um valor discreto e um tempo definido, podendo estes serem alterados em função do valor das células vizinhas. Para cada célula do modelo são inseridas regras de transição que indicam o momento e a justificativa para alteração do valor de determinada célula. A combinação de Cadeia de Markov com Autômato Celular constitui uma metodologia com grande sintonia para investigações da dinâmica da paisagem, tendo em vista a característica de inter-relacionamento entre os elementos formadores e atuantes no meio ambiente. Os procedimentos de Cadeia de Markov e Autômato Celular são indicados para a análise da dinâmica espacial e possuem grande aplicação em investigações dos sistemas ambientais (MONDAL & SOUTHWORTH, 2010; SANG et al., 2011).

A avaliação da conectividade na paisagem para a conservação da biodiversidade é uma das áreas inseridas no escopo da Ecologia da Paisagem que tem observado um grande crescimento no número de pesquisas nas últimas décadas. Provendo suporte a estas pesquisas diversas metodologias vem sendo desenvolvidas e validadas no sentido de mensurar a conectividade na paisagem. Em particular, temos os procedimentos de análise de redes provendo aplicações robustas para pesquisas científicas direcionadas ao estudo da complexidade dos sistemas ambientais e dos mosaicos de paisagem (CANTWELL & FORMAN, 1993).

A modelagem matemática de uma estrutura de rede é bem representada em sua topologia por um grafo, que é um diagrama formado por um conjunto de vértices

interconectados por linhas de ligação entre os mesmos. Neste sentido, uma analogia com o formato presente nas paisagens fragmentadas é possível, sendo os vértices a representação das manchas de fragmentos e as linhas de interligação, representando os corredores ecológicos capazes de permitir a dispersão da biodiversidade na matriz.

A análise de redes e a teoria dos grafos disponibilizam uma grande quantidade de ferramentas e métodos para a análise de sistemas complexos, possuindo diversas aplicações sob a perspectiva dos estudo da paisagem e das interações entre as espécies e seus habitats (Fall et al., 2007; Urban et al., 2009), assim como também oferece grande suporte para a avaliação, planejamento e gestão para a criação de áreas protegidas sob a perspectiva de manutenção da conectividade na paisagem (BUNN et al., 2000; URBAN & KEITT, 2001; MINOR & URBAN, 2007). Em publicação recente, Dale & Fortin (2010) apresentaram um revisão interessante sobre a aplicação da teoria dos grafos em estudos relacionados à Ecologia de Paisagens.

1.5 Estratégias de gestão integradoras

De acordo com IUCN (1994) uma área protegida se caracteriza como uma área de terra ou mar especialmente dedicada à proteção e manutenção da diversidade biológica e cultural associadas, sendo gerida por meio de instrumentos legais eficazes. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, assegura que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Dentre os diversos instrumentos legais direcionados para as questões ambientais envolvendo área protegidas, introduzidos desde o Decreto nº 23.793, de 1934, que instituiu o Código Florestal, podemos destacar, levando em conta a busca de uma construção de formas de gestão integrada, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), criado no ano 2000 pela Lei Federal nº 9.985 e o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (PNAP), criado pelo Decreto nº 5.758 no ano de 2006.

O SNUC fornece diretrizes oficiais para a introdução, categorização e gestão de unidades de conservação nas esferas governamentais federal, estadual e municipal e também na iniciativa privada e desta forma sistematiza a preservação ambiental no

Brasil. Segundo Delelis et al (2010) o SNUC é considerado o marco inicial para o planejamento consistente da conservação sob uma abordagem ecossistêmica, aprimorando e reconhecendo a maior eficácia das estratégias e ações de conservação da biodiversidade quando organizadas de forma integrada e sistêmica.

Mesmo havendo diversos tipos e categorias de áreas protegidas mundo afora, muitas vezes, o estabelecimento destas áreas não é acompanhado por um processo de gestão eficaz, havendo assim a necessidade de atualização dos conceitos de planejamento ou mesmo de uma mudança radical na forma de entender os caminhos da conservação da diversidade biológica. Existe uma tendência atualmente, de que o planejamento e gestão de áreas protegidas devem ser coordenados e integrados, em vez de serem tratados de forma isolada. O sucesso em longo prazo das áreas protegidas deve ser visto à luz da busca de padrões mais sustentáveis de desenvolvimento (DAVEY et al., 1998).

Segundo Brito (2012) é imprescindível que os problemas ambientais sejam confrontados com as ciências de gestão e políticas públicas, mobilizando pesquisas multidisciplinares e parcerias institucionais setoriais dos níveis federal, estadual e municipal, buscando-se processos oportunos de tomada de decisão política inter e intragovernamental e com o terceiro setor. Estratégias de conservação da biodiversidade baseadas na gestão integrada tem como objetivo promover a conectividade na paisagem e para o planejamento da paisagem neste sentido, as abordagens que buscam a ligação entre áreas protegidas, tais quais os corredores, mosaicos, reservas da biosfera, entre outros, são fundamentais.

As Reservas da Biosfera utilizam o conceito de buffer zones ou zonas tampão, que se caracterizam como zonas de amortecimento de uma área protegida, atuando no sentido de aumentar a dinâmica e produtividade de conservação. De acordo com Bennett & Mulongoy (2006) o conceito de uma zona tampão foi pioneiramente proposto na década de 1930, mas ganhou destaque como um instrumento de conservação na década de 1970, quando se tornou parte integrante da gestão na abordagem da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em seu programa *Man and Biosphere* (MAB). Inserido no programa MAB da UNESCO o conceito de zona tampão é composto por três tipos de

áreas (Figura 7), de acordo com as atividades compatíveis para a proteção da região, sendo elas: (1) zonas núcleo, sendo áreas legalmente estabelecidas com o objetivo de proteger integralmente as paisagens, ecossistemas e espécies, sendo permitidas atividades de pesquisa e manejo de recursos naturais por comunidades tradicionais, sendo vetadas as atividades econômicas produtivas; (2) zonas de amortecimento, que são áreas que envolvem as zonas-núcleo, sendo permitidas as atividades econômicas que não coloquem em risco a integridade das zonas-núcleo e as (3) zonas de transição, que são as áreas que circundam as zonas de amortecimento, onde são desenvolvidas atividades produtivas, podendo ser áreas rurais ou mesmo grandes centros urbanos.

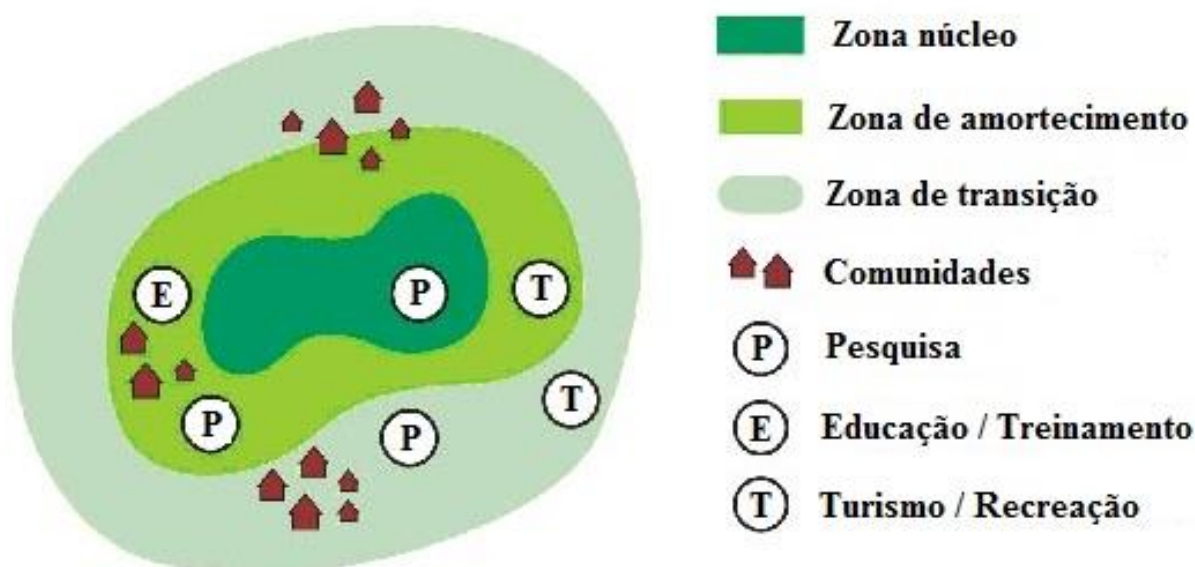


Figura 7 - Modelo de zoneamento de Reservas da Biosfera

As zonas de amortecimento e transição, além de possuírem a função primordial de amortecer os possíveis impactos nas zonas núcleo, também funcionam como um campo capaz de promover a conectividade nestes espaços de ligação entre as zonas núcleo, permitindo a conexão entre habitats que em tese estariam mais protegidos, garantindo assim, pelo menos, um formato espacial capaz de promover a conectividade.

As Reservas da Biosfera possuem reconhecimento internacional e se destacam como instrumento para o desenvolvimento sustentável, promovendo a pesquisa

cooperativa, educação ambiental e a conservação do patrimônio natural e cultural, sendo gerida por meio da cooperação entre as esferas governamentais, não governamentais e centros de pesquisa, sendo também previstas no artigo 41 do SNUC:

Art. 41. A reserva da biosfera é um modelo, adotado internacionalmente, de gestão integrada, participativa e sustentável dos recursos naturais, com os objetivos básicos de preservação da diversidade biológica, o desenvolvimento de atividades de pesquisa, o monitoramento ambiental, a educação ambiental, o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida das populações.

§ 1º A reserva da biosfera é constituída por:

- I – uma ou várias áreas-núcleo, destinadas à proteção integral da natureza;
- II – uma ou várias zonas de amortecimento, onde só são admitidas atividades que não resultem em dano para as áreas-núcleo;
- III – uma ou várias zonas de transição, sem limites rígidos, onde o processo de ocupação e o manejo dos recursos naturais são planejados e conduzidos de modo participativo e em bases sustentáveis.

§ 2º A reserva da biosfera é constituída por áreas de domínio público ou privado.

§ 3º A reserva da biosfera pode ser integrada por unidades de conservação já criadas pelo Poder Público, respeitadas as normas legais que disciplinam o manejo de cada categoria específica.

§ 4º A reserva da biosfera é gerida por um conselho deliberativo, formado por representantes de instituições públicas, de organizações da sociedade civil e da população residente, conforme se dispuser em regulamento e no ato de constituição da unidade.

§ 5º A reserva da biosfera é reconhecida pelo Programa Intergovernamental “O Homem e a Biosfera – MAB”, estabelecido pela Unesco, organização da qual o Brasil é membro.

Em mapa atual (2014-2015), publicado pela UNESCO, a distribuição global da rede mundial de Reservas da Biosfera possui 682 reservas localizadas em 119 países, sendo que, no Brasil estão 6 reservas (Mata Atlântica e Cinturão verde da Cidade de São Paulo; Cerado; Pantanal; Caatinga; Amazônia Central e Serra do Espinhaço). A Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE) lança a Cadeia do Espinhaço enquanto importante patrimônio ecossistêmico a ser olhado e cuidado com o carinho que merece, a RBSE acabou por englobar mais espaços ao Espinhaço mineiro e quanto mais áreas estiverem incorporadas a nossa RBSE, mais chances teremos de proteger nossa biota (GONTIJO, 2008).

Outra forma exequível de gestão integrada da paisagem e capaz de proporcionar uma administração mais efetiva são os mosaicos. Os mosaicos de unidades de conservação constituem-se num modelo de gestão integrada para garantir a efetividade de ações que possibilitem a conectividade entre áreas de florestas (conservadas ou modificadas) e integrem as chamadas áreas de zonas-tampão que se conectam as unidades de proteção integral ou de uso sustentável (BRITO, 2012).

Em muitas situações, a ação antrópica resulta em modificações no uso da terra, sem a total remoção e perda de habitats. Como exemplo, podemos citar a criação de áreas de pastagem para a pecuária ou o plantio de florestas para a produção de madeira. Frequentemente, o que observamos nestas paisagens são mosaicos de habitats, nos quais as fronteiras entre a vegetação natural e as tipologias modificadas apresentam descontinuidades, havendo então diversos gradientes soltos na paisagem. Esta é a típica paisagem fragmentada. Segundo Bennett (2003) uma distinção primária entre habitats adequados e inadequados nesta paisagem não é tarefa óbvia, visto a capacidade heterogênea de sobrevivência e adaptação das espécies. Exemplificando, temos que em algumas regiões deste mosaico, o ambiente pode não ser adequado para a sobrevivência de uma determinada espécie, porém pode ser satisfatória apenas para o trânsito de tais espécies.

O conceito de mosaico de habitats da paisagem é um quadro promissor para a compreensão da dispersão de biodiversidade em florestas cultivadas. Nestes locais, tipicamente encontramos algumas características peculiares na paisagem, tais quais

áreas recém-colhidas, manchas de regeneração jovens e em estágio mais avançado e alguns remanescentes de floresta nativa. Embora grande parte do ambiente florestal nativo esteja modificado, muitas vezes esta vegetação não é substituída por uma matriz completamente inóspita, como em ambientes urbanos, por exemplo. Apesar destas florestas de monocultura não fornecerem todos os recursos que uma determinada espécie necessita para sobreviver, normalmente elas não representam grande resistência ao movimento das espécies entre áreas protegidas de floresta nativa, onde os recursos adequados estão disponíveis.

A constituição de Mosaicos de Unidades de Conservação e Áreas Protegidas foi oficialmente prevista a partir do SNUC, através Lei Federal Nº.9.985-00, que diz em seu artigo 26:

“Quando existir um conjunto de unidades de conservação de categorias diferentes ou não, próximas, justapostas ou sobrepostas, e outras áreas protegidas públicas ou privadas, constituindo um mosaico, a gestão do conjunto deverá ser feita de forma integrada e participativa, considerando-se os seus distintos objetivos de conservação, de forma a compatibilizar a presença da biodiversidade, a valorização da sociodiversidade e o desenvolvimento sustentável no contexto regional” (BRASIL, 2011).

O conceito de Mosaico está plenamente de acordo com os princípios das Reservas da Biosfera que consideram ser esta uma das melhores formas para gerir e integrar as diferentes unidades de conservação e suas zonas de amortecimento, fortalecendo uma identidade regional e a implementação de corredores ecológicos.

Os mosaicos de unidades de conservação associados aos corredores ecológicos têm um papel importante na conservação da biodiversidade nos diferentes biomas e ecossistemas brasileiros. De acordo com Vos et al (2002) os corredores são uma das estratégias disponíveis para reduzir os efeitos negativos da fragmentação de habitats em paisagens sob domínio antrópico, sendo os corredores definidos como estruturas da paisagem que aumentam a dispersão dos organismos entre manchas de habitat em paisagens fragmentadas, onde o isolamento destas manchas ocorre envolto em uma matriz de habitats inóspitos.

Os corredores desempenham cinco tipos de funções em uma paisagem, de acordo com Forman & Godron (1986) são elas:

- Habitat – Predominam espécies adaptadas às margens e generalistas, se o corredor for largo o bastante pode inclusive ser propício às espécies de interior;
- Condução – Por exemplo, no caso da rede hidrográfica ou em qualquer caso em que o transporte e movimento predominem, apesar de que, parcialmente todos os tipos de corredores possuam pelo menos parcialmente esta função;
- Filtro – Quando o fluxo que atravessa o corredor é filtrado, permitindo a passagem de uma parcela da biodiversidade. Por exemplo os rios e estradas que agem como barreiras, diminuindo a permeabilidade de movimento;
- Fonte – Se o corredor for a única mancha na matriz, é dele que as espécies vão se dispersar e colonizar o espaço envolvente;
- Sumidouro – Quando elementos que vêm da matriz, como água, sedimentos ou animais, desaparecem no corredor. Por exemplo os animais que morrem ao atravessar estradas.

Em situações de fragmentação florestal, um corredor ecológico pode ser entendido como grandes avenidas por onde a biodiversidade pode se movimentar entre os fragmentos florestais, viabilizando assim as trocas gênicas. De acordo com Hilty et al (2006), os corredores ecológicos podem ser formados por vegetação nativa como também por vegetação introduzida. Porém, segundo Rouget et al (2006) os corredores ecológicos apenas são compostos por vegetação natural que intersecta o gradiente de uso do solo promovendo assim a conectividade.

O corredor ecológico, normalmente é visto como facilitador de movimento entre ecossistemas, entretanto, podem acarretar risco, já que pode promover também o trânsito de espécies daninhas, exóticas e invasoras, de doenças, além de facilitar a caça e até mesmo a proliferação de incêndios (GRISE, 2008). O aumento da disseminação de espécies entre regiões, ao manter viável o fluxo gênico entre populações pode conduzir tanto a movimentação de espécies especialistas quanto de espécies generalistas (ROUGET et al., 2006). Para espécies especialistas o sucesso do corredor indica uma movimentação de espécies muito restrita, sensíveis a modificações no habitat e a fragmentação, visto que são espécies que possuem preferência alimentar muito limitada e que se restringem a áreas com padrão de vegetação peculiar (BEGON et al., 2007). Já para as espécies generalistas, o sucesso do corredor indica a propagação de espécies não restritivas, com alta vantagem competitiva, que podem incluir espécies vetores de doenças e com comportamento de invasoras. De acordo com Begon et al (2007) as espécies generalistas embora também tenham preferências alimentares, possuem uma amplitude maior de escolha de alimentos e sendo assim, são espécies que melhor se adaptam ao ambiente fragmentado.

Desta forma, para cada espécie há um conjunto específico de características que condiciona a conectividade, ou seja, ela é específica por espécie (ROUGET et al., 2006). Assim, as estratégias de manejo para corredores ecológicos deveriam ser construídas pela somatória das respostas funcionais para o maior número possível de espécies existentes na paisagem. Esse é o argumento de vários autores que trabalham sob a perspectiva da conectividade estrutural, mas que relevam a possibilidade de selecionar espécies para servirem como elemento chave na interpretação da conectividade e desta forma verificar as possibilidades de movimentação das espécies selecionadas por entre a estrutura da paisagem definida pelas características específicas de uso do solo e da cobertura vegetal (TISCHENDORF & FAHRIG, 2000).

Para quem trabalha com planejamento ambiental, quase sempre envolvido com extensas áreas e sob a perspectiva de recuperação de toda a paisagem, como uma bacia hidrográfica, a abordagem do conhecimento de espécie por espécie é praticamente inviável. Por essa razão, muitas generalizações são feitas a partir da

análise da estrutura da paisagem, supondo que quanto mais impactante o uso antrópico para o ambiente menor a possibilidade de manutenção do fluxo entre espécies. Os planejadores usam a lógica de que os indivíduos tendem a usar as rotas de menor hostilidade e que se o manejo diminuir o atrito, a paisagem prognosticada deverá ser mais condizente com a resiliência das populações ocorrentes no espaço físico (ROUGET et al., 2006). Assim, mesmo sabendo que poderão incorrer em erros, consideram que uma única alternativa é válida para toda a paisagem, sendo importante ressaltar que esses erros podem ser estimados e ajustados com o conhecimento de campo.

Por volta do início dos anos 90, em um momento em que o Brasil vivia o clima da Rio-92 iniciavam-se as discussões sobre corredores ecológicos no Brasil e no cerne da discussão estava a proposição de corredores ecológicos para a Amazônia e Mata Atlântica. A partir do ano de 2001 foi firmado acordo político pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e tem início o projeto Corredores Ecológicos no âmbito do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil (PP-G7)²⁶ com a finalidade de promover a formação e conservação de grandes corredores ecológicos nos ecossistemas brasileiros (BRITO, 2012).

O SNUC conceitua os corredores ecológicos como sendo porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento de 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 das unidades individuais.

Os corredores ecológicos não são considerados unidades de conservação, mas sim unidades de planejamento, tendo importância fundamental na conservação da biodiversidade e do sistema ecológico como um todo. A sustentabilidade de tais unidades depende do estabelecimento dos corredores ecológicos por meio de instrumento legal que formalize a área como corredor ecológico.

²⁶ O PP-G7 foi proposto na reunião do grupo dos sete países industrializados – G7, em Houston, Texas em 1990, sendo aprovado pelo G7 e pela comissão Europeia, em dezembro de 1991.

A gestão de corredores ecológicos só terá fundamento quando estiver associada a sistemas de geoinformação e parcerias instituídas com os órgãos governamentais: federal, estaduais e municipais e contar com o envolvimento de ONG's, Ministério Público e iniciativa privada. O corredor ecológico é o espaço geográfico que contempla todos os atributos da natureza que ali existem. Por essa razão, deve-se buscar dotá-lo de disponibilidades tecnológicas, material, veículos, recursos humanos e financeiros, de maneira que a solução da problemática seja buscada pelos diversos setores que tratam do meio ambiente na região por ele abrangida. A ausência desses pode inviabilizar o corredor ecológico, provocar a subutilização de recursos e o não alcance dos resultados pretendidos e resultar na obtenção de poucos benefícios corporativos com o estabelecimento de corredores ecológicos como unidades de planejamento ambiental. (BRITO, 2012)

A base dos corredores ecológicos tem sido o paradigma da Gestão Biorregional²⁷, tendo como objetivo principal a conservação da natureza de maneira a salvaguardar as águas, os solos e a biodiversidade nos biomas e ecossistemas brasileiros (BRITO, 2012). O planejamento de corredores ecológicos deve ocorrer preferencialmente em nível regional, ponderando que a nível nacional as ações se tornam pouco efetivas e muito onerosas e a nível local não se justificaria, pois os benefícios ecológicos seriam superficiais, sendo assim as ações ao nível regional seriam ideais, permitindo um equilíbrio entre investimento econômico e retorno ecológico.

Os corredores ecológicos estão em fase embrionária no Brasil, havendo escassez de referências bibliográficas nos acervos de bibliotecas de universidades e nos órgãos ambientais, sendo que a reduzida bibliografia encontra-se em mãos de poucos profissionais da área ambiental e a comunidade não possui acesso a essas informações (BRITO, 2012).

1.6 A Serra do Espinhaço em sua porção meridional

A delimitação geográfica propriamente dita da área de estudo, que é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral será apresentada no capítulo 3 desta tese, visto que a criação deste limite se configura como um dos objetivos deste estudo. Neste capítulo iremos apresentar as

²⁷ As Biorregiões são grandes regiões que apresentam características naturais e culturais muito próprias, nas quais estão contempladas diversas formas de relevo, espécies de flora e fauna e traços culturais particulares.

características ambientais da região de estudo, onde o Mosaico do Espinhaço encontra-se inserido.

A grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço estende-se por 1200 Km desde a região central do estado de Minas Gerais até o extremo norte da Bahia. Configura-se como um grande divisor hidrográfico interposto entre as bacias do centro-leste brasileiro e a do rio São Francisco (SAADI, 1995). Devido à grande extensão e abrangência pode se falar em Espinhaço Baiano em sua porção norte e em Espinhaço Mineiro em sua porção sul. Uma divisão utilizada por pesquisadores da área é a denominação de Serra do Espinhaço Meridional (SdEM) a uma faixa da Serra de cerca de 300 Km de direção norte-sul localizada em sua porção mineira e que foi segmentada da Serra do Espinhaço Setentrional (porção contida em parte no estado da Bahia e de toponímia “Chapada Diamantina” por um sistema de falhas transcorrentes sinistrais de direção nordeste que compõem a Faixa Araçuaí. Os planaltos meridional e setentrional, com direções gerais, SSE-NNW e SSW-NNE respectivamente, são separados por uma zona deprimida alongada na direção SE-NW, passando nas proximidades do município de Couto de Magalhães de Minas, pouco a norte do município de Diamantina (SAADI, 1995). A SdEM localiza-se desde o Quadrilátero Ferrífero até a região localizada nas proximidades do município de Olhos D'água (Figura 8).

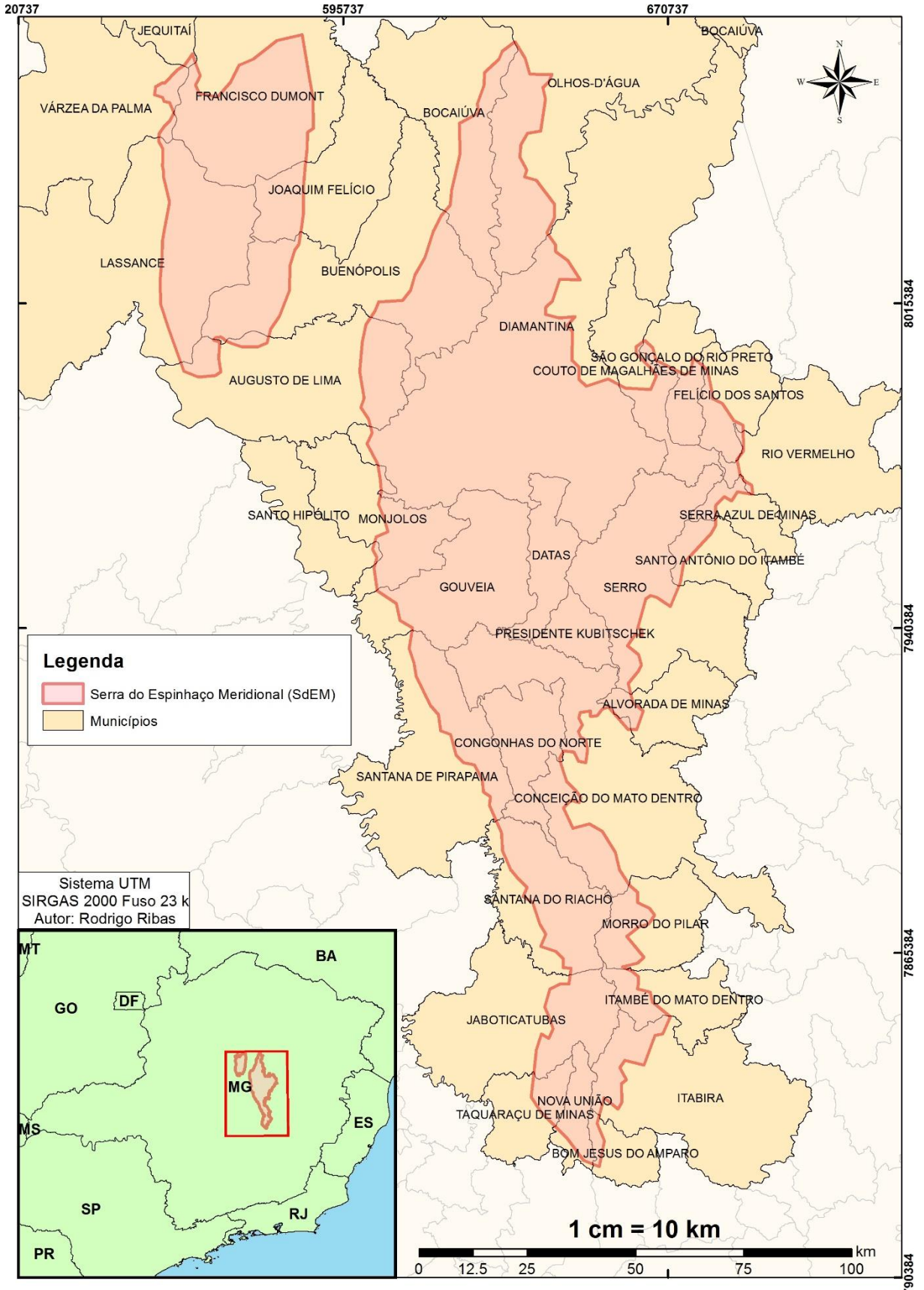


Figura 8 - Mapa de localização da Serra do Espinhaço Meridional

Em termos climáticos, a região denomina-se como tropical de altitude do tipo Cwb – Mesotérmico, segundo a classificação de Köppen. Apresenta duas estações bem definidas, ocorrendo verões brandos e úmidos e invernos com baixas temperatura e seco. Devido a característica montanhosa da região, a altitude é um fator que condiciona significativamente o clima na região, visto a característica da temperatura diminuir com a aumento da altitude. A precipitação média na região fica por volta de 1250 e 1600 mm anuais, com temperaturas médias em torno de 21° C. De acordo com Nimer (1979) a configuração do relevo favorece a concentração das precipitações a leste da serra, pois esta é uma área mais exposta à incidência de ventos alíseos Sudeste e Leste que avançam do litoral para o interior. As áreas localizadas à oeste da serra possuem a tendência de ser mais secas, tendo em vista apresentarem índices pluviométricos mais baixos, observando-se que o ar perde umidade no momento em que transpõe a serra (RICKLEFS, 2003).

Sob o ponto de vista geomorfológico, a SdEM apresenta relevo rugoso, com vastos domínios de rochas expostas e com uma altitude média de 1250 metros acima do nível do mar. Apresenta uma cobertura rígida predominante quartzítica com presença de fraturas e cisalhamento em sua extensão. Representa um relevo proeminente em relação às áreas adjacentes, sendo marcado por íngremes escarpas. O ponto culminante é o Pico do Itambé com altitude aproximada de 2037 metros. De acordo com Saadi (1995) as formas de relevo desenvolvidas a partir da dissecação fluvial são representadas por cristas, escarpas e vales profundos adaptados às direções tectônicas e estruturais. Caracteriza-se como um importante divisor hidrográfico no sudeste do Brasil, interpondo-se entre a bacia do rio São Francisco e as bacias do centro-leste. Os solos desenvolvidos em grande parte da SdEM são essencialmente arenosos e, por serem muito rasos e com alta porosidade e permeabilidade, são pobres em nutrientes, sustentando desta forma os tipos de vegetação adaptados a essas condições.

A SdEM é palco de uma grande geodiversidade, dando suporte a uma riquíssima biodiversidade, abrangendo dois grandes biomas brasileiros (Cerrado e Mata Atlântica) que são particionados pela própria Serra. Para muito além de um divisor de biomas, o Espinhaço é um conjunto de relevância idem a um bioma em si. De acordo Gontijo (2008) mesmo sendo concebida com um faixa de transição e divisão de

biomas, é necessária a consideração do conjunto da Cadeia do Espinhaço como um bioma em si, o dos Campos Rupestres de Altitude, que vão muito além de um mero arranjo florístico / fitofisionômico. O Campo Rupestre de Altitude, enquanto tipo vegetacional não ocorre apenas na Cadeia do Espinhaço, existindo tipologias similares na Serra da Mantiqueira e Serra do Mar, daí a existência de classificações e subdivisões deste tipo de vegetação por alguns especialistas. Rizzini (1979) realiza uma subdivisão deste bioma em Campos Altimontanos para as tipologias que ocorrem sobre rochas cristalinas em geral, tais quais as ocorrentes nas Serras da Mantiqueira e do Mar e os Campos Quartzíticos, para áreas sobre quartzito tal qual a formação característica do Espinhaço. No mesmo sentido Eiten (1983) faz uma divisão em Campo Rupestre e Campo Montano, para formações sobre quartzito e sobre granito, respectivamente. É reconhecido que ambas as formações são rupestres, porém se diferenciam quanto a litologia de base predominante.

A SdEM representa uma faixa orogênica que limita o sudeste do Craton do São Francisco e se orienta para nordeste com a Faixa Araçuaí, mostrando-se segmentada e deslocada em relação a parte setentrional da cadeia do Espinhaço, sendo considerada como de estruturação final no evento tectônico relativo ao Ciclo Brasileiro (cerca de 600 – 560 M.a) (ALMEIDA, 1977; ALMEIDA ABREU, 1993). A época da ocorrência da estruturação do orógeno pela inversão tectônica desperta controvérsias entre estudiosos do tema. Baseando-se em semelhanças metamórficas e estruturais entre as unidades do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Bambuí em suas regiões de contato, alguns autores defendem uma formação de caráter monocíclico de idade Brasileira (UHLEIN et al., 1986). Outros estudiosos indicam um modelo policíclico com estruturação principal no final do Mesoproterozóico (Ciclo Uruçuano) e reativação no Neoproterozóico (Ciclo Brasileiro) (ALMEIDA-ABREU, 1993; ALMEIDA-ABREU & PFLUG, 1994, ALMEIDA-ABREU, 1995). No mapa da (Figura 9) abaixo apresenta-se as características fisiográficas da região da SdEM.

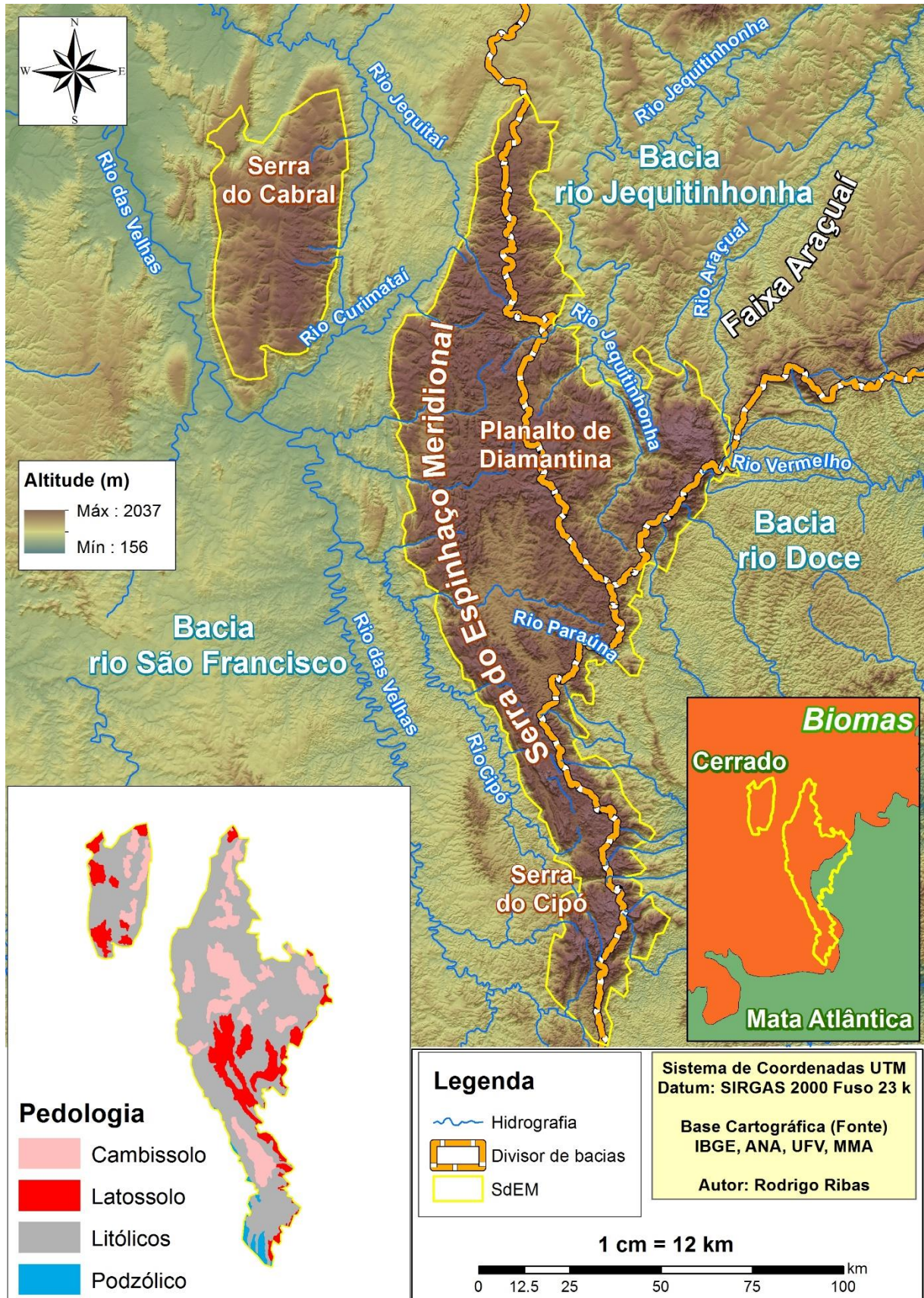


Figura 9 - Características fisiográficas da região da SdEM

1.7 Apresentação dos artigos

Os cinco artigos acadêmicos escritos no decorrer do desenvolvimento da presente tese possuem uma sequência lógica. Essa correlação ocorre em virtude da dinâmica metodológica do trabalho que se interliga e desta forma, uma etapa realizada anteriormente oferece subsídio a realização da etapa a ser realizada a *posteriori*. O primeiro (1º) artigo *“Mapeamento dos limites oficiais do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: interatividade entre o geoprocessamento e a gestão integrada do território”* apresenta o caminho percorrido na criação do limite do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral. Este artigo foi motivado pela busca de consenso na criação deste limite, num contexto onde existiam ideias convergindo e divergindo, sendo que, o cerne do artigo, foi a realização de um mapeamento integrado, moldado pela opinião dos envolvidos e otimizado com o Geoprocessamento. Este recorte espacial, além de servir como limite da área de estudo nesta tese, compõe o limite utilizado pelos meios de gestão e conselho consultivo do mosaico. No segundo (2º) artigo *“Análise multitemporal da evolução estrutural da paisagem por meio de técnicas de sensoriamento remoto e métricas de paisagem”* foi realizado um roteiro metodológico para a investigação da evolução estrutural da paisagem com o apoio de técnicas direcionadas para a análise e processamento de imagens de satélite multitemporais e também por meio da aplicação de conceitos da Ecologia da Paisagem, através do cálculo de métricas de paisagem. As constatações inferidas neste artigo deram aporte para a criação do terceiro (3º) artigo *“Detecção e previsão da expansão de eucalipto em mosaico de áreas protegidas utilizando técnicas de sensoriamento remoto e regressão logística”* no qual foi realizado o dimensionamento da taxa de crescimento de eucalipto no Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço no período de 1984 a 2013, assim como também, foram elaboradas previsões de um cenário futuro para a área investigada, tendo em vista o reconhecimento do avanço desta monocultura na área. O quarto (4º) artigo, intitulado *“Análise espacial das incertezas associadas à avaliação de multicritérios dos fatores que influenciam na conectividade na paisagem”* e submetido para periódico internacional com o título em inglês de *“Spatial uncertainty analysis of GIS-based multicriteria weights of factors that influence in landscape connectivity”* investigou a conectividade estrutural da paisagem na área do mosaico, por meio de uma metodologia de avaliação de multicritérios e análise de incertezas. Este estudo

possibilitou a identificação de áreas com maior adequabilidade para permitir a conectividade estrutural entre habitats na paisagem. O quinto (5º) artigo *“Análise da conectividade na paisagem: uma aplicação utilizando Cadeias de Markov, Autômatos Celulares e a Teoria dos Grafos”* apresenta uma proposta de investigação em mais detalhe de uma das áreas potenciais identificadas no artigo anterior. O estudo desenvolvido neste artigo possibilitou a observação da realidade atual com grande precisão de detalhes, servindo também de base para a modelagem de um cenário futuro. Foi também realizada uma análise visando a identificação dos fragmentos com melhor potencial para permitir a conectividade na paisagem. Essa avaliação foi baseada na Teoria do Grafos, com a representação da paisagem a partir de uma estrutura de rede com ligação entre diversos vértices. No fluxograma (Figura 10) apresenta-se um esquema de todo o procedimento metodológico e sua interligação.

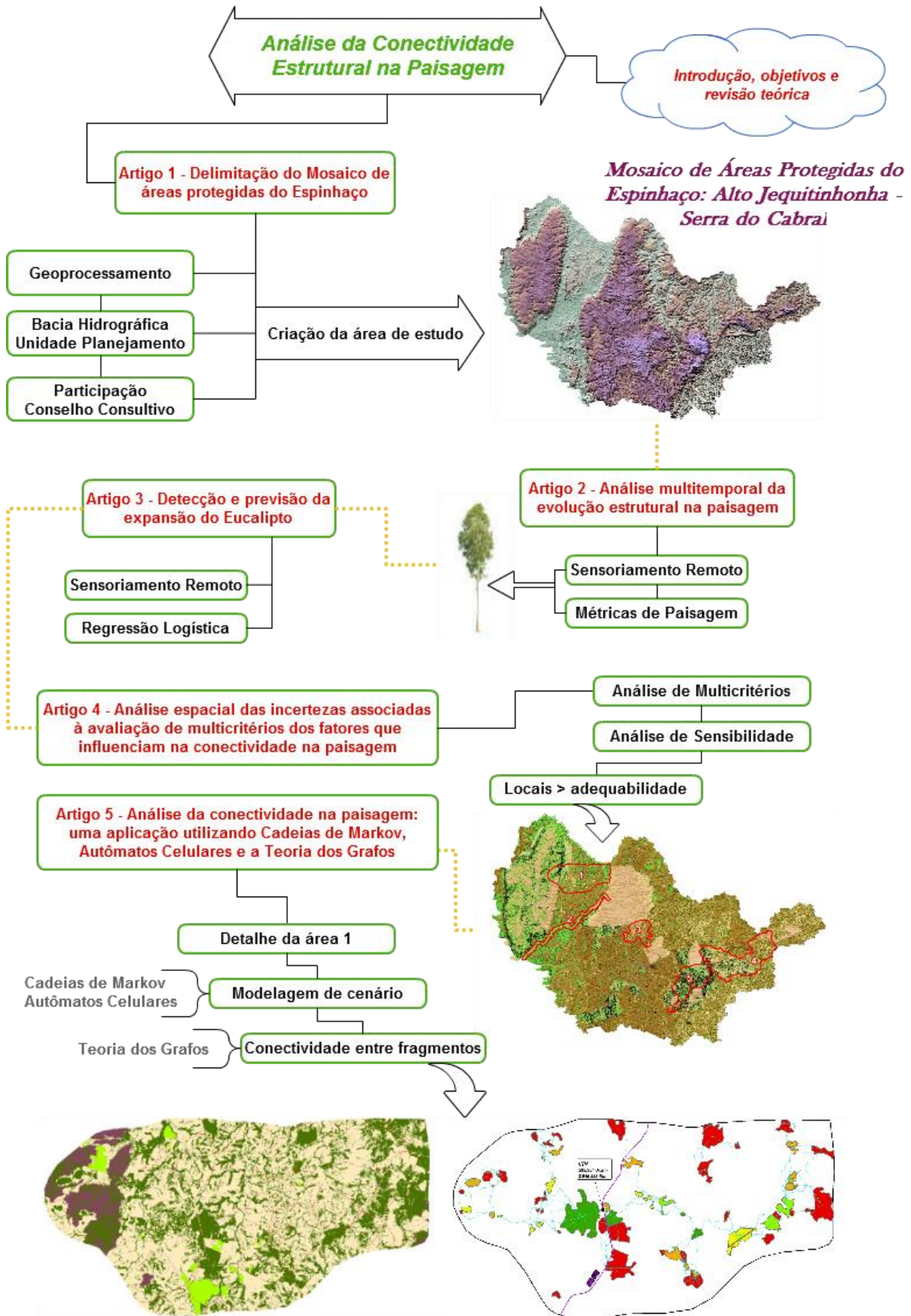


Figura 10 - Fluxograma com esquema metodológico da Tese

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M. de. O Craton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, p. 349-364, 1977.
- ALMEIDA-ABREU, P.A. **A evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil**. Albert-Ludwigs Universitat, Freiburg, Tese de Doutorado, 1993, 150 p.
- ALMEIDA-ABREU P.A. & Pflug R. The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. **Zbl. Geol. Paläont.**, v.1/2, p. 21-44, 1994.
- ALMEIDA-ABREU, P.A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o Rifte, a Bacia e o Orógeno. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 3, p. 1-18, 1995.
- BALDOCCHI, D., COLLINEAU, S. **The physical nature of solar radiation in heterogeneous canopies: spatial and temporal attributes**. In: Caldwell, M.M., Pearcy, R.W. (Eds.), *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants: Ecophysiological Processes Above and Belowground*. Academic Press, San Diego CA, p. 21-71, 1994
- BEGON, M., TOWNSEND, C.R. & HARPER, J.L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4 ed. Artmed, Porto Alegre. 2007.
- BENNETT, A.F. **Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom: the world conservation union (IUCN) Forest Conservation Programme. 2 ed. 2003.
- BENNETT, G., & MULONGOY, K.J. **Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones**. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2006.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: um esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. N.13. São Paulo. Instituto de Geografia - USP. 1972. 27p.
- BIERREGARD, R. O.; LOVEJOY, T. E.; KAPOV, V.; SANTOS, A. A.; HUTCHINGS, R. W. The biological dynamics of tropical rain forest fragments. **Bioscience**, v.42 (1), p.859-866, 1992.
- BOTEQUILHA-LEITÃO A., MILLER J., AHERN J., MCGARIGAL K. **Measuring Landscapes: A Planner's Handbook**. Island Press, Washington DC. 2006.
- BRASIL. *Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225 parágrafo 1º, incisos I, II, III, e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC*. Brasília: MMA, 2000.
- BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integrada na gestão de ecossistemas**. Ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012, 273

p.

BUNN, A., URBAN D.L., KEITT, T. Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. **J Environ Manag.** v. 59, p. 265–278, 2000.

CALABRESE, J.M. & FAGAN, W.F. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. **Front. Ecol. Environ.**, v. 2, p. 529–536, 2004.

CANTWELL, M. D., FORMAN, R. T. T. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes. **Landscape Ecology.** v. 8, p. 239-255, 1993.

CAPEL, H. **Filosofia y ciencia en la geografía contemporánea.** Barcelona: Barcanova, 1981.

CAPRA, F. **A teia da vida.** São Paulo: Cultrix, 1996, 256 p.

CARMEL, Y., PAZ, S., JAHASHAN, F., SHOSHANY, M. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. **Forest Ecol. Manage.** v. 257, p. 370–377. 2009.

CARVALHO, M.B. **Da Antropogeografia do Final do Século XIX aos Desafios Transdisciplinares do Final do Século XX: O Debate Sobre as Abordagens Integradas da Natureza e da cultura nas Ciências Sociais.** 1998.

CARVER, S. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 5, p. 321–339. 1991.

CAZAROTTO, R.T. Leituras de Friedrich Ratzel na produção geográfica brasileira contemporânea. Porto Alegre. **Boletim Gaúcho de Geografia**, n.30, p. 94 – 100, 2006.

CHEN, H., WOOD, M.D, LINSTED, C., MALTBY, E. Uncertainty analysis in a GIS-based multicriteria analysis tool for river catchment management. **Environmental modelling and software**, v. 26 (4), p. 395-405. 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Blücher, 1999. 236 p.

CNUD, **Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento.** Agenda 21 - São Paulo. 1992.

CORREA, R. L. A dimensão cultural do espaço: alguns temas. **Espaço e Cultura**, v. 1, n. 1, p.1-21, 1995.

CORREA, R.L. **Região e Organização Espacial.** 7 ed. São Paulo: Ática, 2000.

DALE, M.R.T., FORTIN, M.J. From graphs to spatial graphs. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**. v. 41 (1), p. 21-38, 2010.

DAVEY, A.G. **National system planning for protected areas**. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 1998, 71 p.

DELELIS, C. J.; REHDER, T.; CARDOSO, T. M. **Mosaicos de áreas protegidas: Reflexões e propostas da cooperação franco-brasileira. Série Áreas Protegidas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Embaixada da França no Brasil – CDS UNB, 2010, 148 p.

DOLLFUS, O. **O espaço geográfico**. 5.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1983, 305p.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 34, p. 487–515, 2003.

FAHRIG, L. & MERRIAM, G. Habitat patch connectivity and population survival. **Ecology**, v. 66, p.1762-1768, 1985.

FAHRIG L. & MERRIAM, G. Conservation of fragmented populations. **Cons. Biol.** v. 8, p. 50-59, 1994.

FALL, A., FORTIN, M-J., MANSEAU, M., O'BRIEN, D. Spatial Graphs: Principles and Applications for Habitat Connectivity. **Ecosystems**. v. 10, p. 448-461, 2007.

FERRETTI, V., POMARICO, S. An integrated approach for studying the land suitability for ecological corridors through spatial multicriteria evaluations. **Environ. Dev. Sustain.** v. 15(3), p. 859-885. 2013.

FORMAN, R.T & BAUDRY, J. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. **Environ. Manage.** v. 8, p. 499- 510. 1984.

FORMAN, R.T., GODRON M. **Landscape Ecology**. New York , John Wiley & Sons, 1986. 619p.

GALINDO-LEAL, C.G. & CÂMARA, I.D. **Mata Atlântica Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**. Conservation International, Belo Horizonte. 2005, 427 p.

GASCON, C., W.F. LAURENCE, & T.E. LOVEJOY. **Fragmentação florestal e biodiversidade na Amazônia Central**, p. 112-127. In I. Garay & B. Dias (eds.), **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: Avanços conceituais e revisão de novas tecnologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis, Editora Vozes, 2001, 430p.

GOEZ, S.J., JANTZ, P. & JANTZ, C.A. Connectivity of core habitat in the northeastern united states: parks and protected areas in a landscape context. **Remote sensing of environment**. v. 113, p. 1421-1429, 2009.

GONTIJO, B.M. Uma geografia para a cadeia do espinhaço. **Megadiversidade**. v.4 (1-2), p.7-15, 2008.

GRISE, M. M. **A estrutura da paisagem do mosaico de unidades de conservação do litoral norte do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2008.

GUSTAFSON, E.J. **Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?** Ecosystems. v.1, p. 143-156, 1998.

HAINES-YOUNG & POTSCHIN. **The links between biodiversity, ecosystem services human well-being**. In Raffaelli, d. & Frid, c. (eds): ecosystem ecology: a new synthesis. Bes ecological review series, cup, Cambridge. 2009

HANSKI, I. & GAGGIOTTI, O.E. **Metapopulation biology: past, present and future**. Ecology, genetics and evolution of metapopulations (eds Hanski, I& Gaggiotti, O.E.). Elsevier academic press, San Diego. 2004.

HARGROVE, W.W., HOFFMAN, E.M. & EFROYMSON, R.A. A practical map-analysis tool for detecting potential dispersal corridors. **Landscape Ecology**. v.20, p.361-373, 2004.

HILTY, J.A., LIDICKER JR., W.Z. & MERENLENDER, A.M. **Corridor Ecology: the Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation**. Island Press, Washington DC. 2006.

HORNBECK, J.W., ADAMS, M.B., CORBETT, E.S., VERRY, E.S. & LYNCH, J.A. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for Northeastern USA. **Hydrology**, v. 150, p. 323-344, 1993.

HUMBOLDT, Alexander. **Quadros da natureza**. São Paulo: W. M. Jackson Inc., Vol. 1., 1952. (Clássicos Jackson).

HUMBOLDT, Alexander. **Quadros da Natureza**. São Paulo: W. M. Jackson Inc., Vol. 2., 1953. (Clássicos Jackson).

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Guidelines for protected area management categories**. IUCN. Commission on national parks and protected areas with the assistance of the world conservation monitoring centre. IUCN, Gland. 1994.

JEANNERET, P., SCHÜPBACH, B., LUKA, H. Quantifying the impact of landscape and habitat features on biodiversity in cultivated landscapes. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 98, p. 311–320. 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de Epiphanio. J. C. N. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009, 598 p. (prentice hall series in geographic information sciennce) tradução de: remote sensing of the environment: na earth resource perspective.

JÓRDAN, F., MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B., VASA, V. & KÖDÖBÖCZ, V. Carabids (coleoptera: carabidae) in a florest patchwork: a connectivity analysis of the bereg plain landscape graph. **Landscape Ecology**. v. 22, p. 1527-1539, 2007.

KITCHEN, M. **História da Alemanha Moderna de 1800 aos dias de hoje**. São Paulo: Cultrix, 2012.

LANDAU, E. C. **Corredores Ecológicos como Paradigma Inovador para a Conservação da Diversidade Biológica: Estudo de Caso na Mata Atlântica do Sul da Bahia**. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2001, 134 p.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Ed.Oficina de textos. São Paulo, Brasil, 2009, 424 p.

LIGMANN-ZIELINSKA, A., JANKOWSKI, P. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software**, DOI: 0.1016/j.envsoft.2014.03.007. 2014.

LINDENMAYER, D.B. & FISCHER, J. **Landscape change and habitat fragmentation**. Island press, Washington, DC. 2006.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. 2013. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman.

LOURENÇO, C. **Paisagem no Kosmos de Humboldt: Um Diálogo Entre a Abstração e a Sensibilidade**. Tese (Doutorado) apresentada ao Departamento de Geografia da FFLCH/USP.2002.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton University press, Princeton, New Jersey, US. 1967, 203 p.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: Wiley.1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20(7), p. 703–726. 2007.

MARGALEF, R. **Ecologia**. Ediciones Omega, Barcelona, Espanha. 1974.

MARULLI, J., MALLARACH, J. M. A GIS methodology for assessing ecological connectivity: Application to the Barcelona Metropolitan area. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, p. 243–262, 2005.

MCGARIGAL, K., CUSHMAN S.A & ENE, E. **Fragstats v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S.A, NEEL, M.C, & ENE, E. **Fragstats v3: spatial pattern analysis program for categorical maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2002. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

MCGARIGAL, K., & MARKS, B.J. **Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Report pnw-gtr-351, USDA forest service, pacific northwest research station, Portland, OR. 1995.

MCHARG, I. **Design with nature**. Doubleday, natural history press, 1969, 197 p.

MERRIAM, G. **Connectivity: a fundamental ecological characteristic of landscape pattern**. In proceedings of the first international seminar on methodology in landscape ecological research and planning. v.1, p. 5-15, 1984. Edited by Brandt and Agger. P. Roskilde Universitesforlag Georuc., Roskilde, Denmark.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotrópica** v. 1 (1), p. 1-9, 2001.

METZGER, J. P. How to deal with non-obvious rules for biodiversity conservation in fragmented landscapes? **Natureza e Conservação**, Curitiba, v. 4 (2), p. 125-137, 2006.

MINOR, E.S., URBAN, D.L. Graph theory as a proxy for spatially explicit population models in conservation planning. **Ecological Applications**. v.17, p. 1771–1782, 2007.

MONDAL, P., SOUTHWORTH, J. Evaluation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 1716-1725, 2010.

MORAES, A.C.R. **Geografia: Pequena História Crítica**. 17 ed. São Paulo: Hucitec, 1999.

MOURA, Ana Clara M. **Contribuições Metodológicas do Geoprocessamento à geografia**. Texto originalmente apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Doutorado em Geografia – Geoprocessamento, 2000.

MOURA, A. C. M., JANKOWSKI, P., COCCO, C. Contribuições aos estudos de Análises de Incertezas como complementação às Análises Multicritérios - “Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. In XXVI **Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado**. 2014.

MULLER, M.R., MIDDLETON, J. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. **Landscape Ecology**, v.9 (2), p. 151-157, 1974.

MURCIA, C. **Edge effects in fragmented forests: implications for conservation.** Trends in Ecology and Evolution, v. 10, p. 58-62, 1995.

NAVEH, Z; LIEBERMAN, A.S. **Landscape Ecology, Theory and Application.** New York, Heidelberg, Tokyo: Springer-Verlag. 356 p. 1984.

NIMER, E. Climatologia da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geologia**, v. 3, p. 3-48, 1979.

NOSS, R.F. **The wildlands project: land conservation strategy.** Wild earth (special issue) p. 10-25, 1992.

NUCCI, J. C. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da paisagem. **Revista Geografar**, v. 2, n. 1, 2007.

PASSOS, M. M. **Biogeografia e Paisagem.** Ed. 2. Maringá, 2003.

PEDRAS, L. R. V. A paisagem em Alexander von Humboldt: o modo descritivo dos quadros da natureza. **Revista USP**, São Paulo, n.46, p. 97-114, 2000.

PORTO, M.L; MENEGAT, R. **Ecologia da Paisagem: um novo enfoque na gestão dos sistemas da terra e do homem** in: MENEGAT, R; ALMEIDA, G. (org). Desenvolvimento Sustentável e gestão ambiental nas cidades: estratégias a partir de Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 362-375.

PIRES, L.S., SILVA, M.L.N., CURTI, N., LEITE, F.P. & BRITO, L.F. Erosão hídrica pós-plantio em floresta de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 41, p. 687-695, 2006.

RICKLEFS, R.E., 2003. **A economia da natureza.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S/A. 542p.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil.** v.2. São Paulo: Ed. HUCITEC, 1979. 374p.

ROSENBERG, D.K., NOON, B.R., MESLOW, E.C. Biological corridors: form, function and efficacy. **Bioscience.** v. 47, p. 677-687. 1997.

ROUGET, M., COWLING, R.M., LOMBARD, A.T., KNIGHT, A.T. & KERLEY, G.I.H. Designing large-scale conservation corridors for pattern and process. **Conservation Biology.** v. 20(2), p. 549-561. 2006.

ROY, B. Decision science or decision-aid science? **European Journal of Operacional Research**, v.8, n.1, p. 184-203, 1993.

SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. **Geonomos**. V. 3 (1), p. 41-63, 1995.

SALTELLI, A., TARANTOLA, S., CHAN, K. A quantitative, model independent method for global sensitivity analysis of model output. **Technometrics**. V. 41 (1), p. 39-56. 2000.

SANG, L., ZHANG, CH., YANG, J., ZHU, D. AND YUN, W. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, p. 938-943, 2011.

SAURA, S. & TORNÉ, J. Conefor sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental modelling and software**. v. 24, p. 135–139, 2009.

SCHIER, R.A. Trajetórias do conceito de paisagem na Geografia. Curitiba: **Revista Raíza**, n.7, p.79-85, 2003.

SHAFER, C. L. **Island theory and conservation practice**. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA. 1990.

SILVA, A.B. A renovação da geografia na Alemanha nas primeiras décadas do século XX. **Revista Acta Geográfica**, v.1, 2007.

SOTCHAVA, V. B. Definition de Quelques Notions et Termes de Géographie Physique. Institute de Geographie de la Sibirie et Extrem Orient. n. 3, p.94-177, 1962 apud CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blücher, 1999. 236 p.

SOTCHAVA, V.B. O estudo de geossistemas. **Métodos em questão**, n.16, Instituto de Geografia - USP. São Paulo, 1977. 51 p.

STORE, R. & KANGAS, J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. **Landscape Urban Plann.** 55 (2), 79–93, 2001.

TABARELLI, M., J.M.C. SILVA & C. GASCON. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**. v. 13, p. 1419-1425. 2004.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**. v. 1(1), p. 181-188, 2005.

TAYLOR P.D. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**. v. 68, p. 571-572, 1993.

TISCHENDORF L, FAHRIG L. On the usage and measurement of landscape connectivity. **Oikos**. v. 90, p.7–19, 2000.

TRICART, J.F.L. Paysage et écologie. *Revue de Géomorphologie dynamique: géodynamique externe. Études intégrée du milieu naturel*, XXVIII. n.3, p. 81-95, 1978.

TROLL, C. Luftbildplan and ökologische bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Zu Berlin*: p. 241–298, 1939, apud TRUEBA, J.J.G. Carl Troll y la Geografía del Paisaje: Vida, Obra y Traducción de un texto fundamental. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**. V. 59, p. 431-434, 2012.

TROLL, C. Die geographische landschaft und ihre erforschung. *Studium generale III*, p. 163-181, 1950, apud TRUEBA, J.J.G. Carl Troll y la Geografía del Paisaje: Vida, Obra y Traducción de un texto fundamental. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**. V. 59, p. 431-434, 2012.

TROLL, C. Geocology of the mountainous regions of the tropical americas. *Proceedings of the UNESCO Mexican Symposium*. p.1-3, 1968.

TRUEBA, J.J.G. Carl Troll y la Geografía del Paisaje: Vida, Obra y Traducción de un texto fundamental. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**. V. 59, p. 431-434, 2012.

TURNER, M. G., GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology**. New York: Springer-Verlag, 1991, 517 p.

TURNER, M. G., GARDNER, R. H., O'NEILL, R.V. **The critical concept of scale**. In **Landscape Ecology: in theory and practice**. New York: Springer-Verlag, p 25-45, 2001.

UHLEIN A., DOSSIN I.A., CHAVES M.L.S.C. Contribuição à geologia estrutural e tectônica das rochas arqueanas e proterozóicas da Serra do Espinhaço Meridional – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, **Anais. Goiânia**, v. 3, p. 1191-1201, 1986.

URBAN, D.L., KEITT, T. Landscape connectivity: a graph theoretic perspective. **Ecology**. v. 82, p. 1205–1218, 2001.

URBAN, D.L., MINOR, E.S., TREML, E.A., SCHICK, R.S. Graph models of habitat mosaics. **Ecol. Lett.** v. 12 (3), p. 260–273, 2009.

VIANA, V. M. Conservação da biodiversidade de fragmentos florestais em paisagens tropicais intensamente cultivadas. In: **Abordagens interdisciplinares para a conservação da biodiversidade biológica e dinâmica do uso da terra, Belo Horizonte**, p. 135-154. 1995.

VOS, C.C., BAVECO, H., GRASHOF-BOKDAM, C.J. Corridors and species dispersal. In: Gutzwiller, K.J. (Ed.), **Applying Landscape Ecology in Biological Conservation**. Springer-Verlag, New York, NY, p. 84–104. 2002.

VOSE, D. **Risk analysis: a quantitative guide**. 2. Ed Susses: John Wiley & Sons Ltd. 2000

WEGENER, M.; GNAD, F.; VANNAHME, M. The time scale of urban change. In: HUTCHINSON, B.; BATTY, M. (Ed.). *Advances in urban systems modelling*. Amsterdam: **Elsevier**. v. 17, p. 175-197, 1986.

WITH K.A., GARDNER R.H. & TURNER M.G. Landscape connectivity and population distribution in heterogeneous environments. **Oikos**. v. 78, p. 151-169, 1997.

WOLFRAN, S. The statistical mechanics of cellular automata. **Review of Modern Physics**, v. 55, p. 601-643, 1983.

WOLFRAM, S. Universality and complexity in cellular automata. **Physica**. v. 10, p. 1–35, 1984.

ZHOU, G., ESAKI, T., MITANI, Y., XIE, M., MORI J. Spatial probabilistic modelling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. **Eng Geol** v. 68(3–4), p.373–386. 2003.

2 MAPEAMENTO DOS LIMITES OFICIAIS DO MOSAICO DE ÁREAS PROTEGIDAS DO ESPINHAÇO: INTERATIVIDADE ENTRE O GEOPROCESSAMENTO E A GESTÃO INTEGRADA DO TERRITÓRIO

Resumo

A preservação de áreas naturais é a forma mais primária para a conservação da diversidade biológica, existindo em todo o planeta áreas delimitadas com intuito de proteção, haja vista sua singularidade, beleza, nível de ameaça, entre outros parâmetros que caracterizem a necessidade de uma efetiva gestão e manejo sustentável dos recursos naturais ali presentes. A gestão de áreas protegidas de forma isolada não é suficiente para a conservação, sendo necessária a criação de meios de gestão integrada da paisagem e neste sentido um formato bastante coerente são os mosaicos de áreas protegidas. Este artigo apresenta os procedimentos utilizados para a delimitação do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral, que foi realizado de forma interativa, a partir da combinação de métodos automáticos por meio de técnicas de Geoprocessamento com um refinamento viabilizado a partir do mapeamento das questões estratégicas de gestão do mosaico, obtidas através da reunião do conselho consultivo do próprio mosaico. A proposta inicial de delimitação do mosaico foi criada levando em conta os aspectos do ambiente físico como unidade de planejamento, sendo assim, a delimitação foi feita pela linha de cumeada divisora de bacias hidrográficas da região e, em alguns locais, pelo próprio sistema de drenagem. Esta delimitação foi automatizada em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando como base topográfica um Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 metros de resolução espacial, proveniente da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). A delimitação deste mosaico de áreas protegidas considerando apenas os aspectos do ambiente físico teve que ser reajustada para potencializar o poder de gestão do mesmo, sendo assim este mapeamento inicial foi apresentado em reunião do conselho consultivo do mosaico, momento no qual foram incluídos limites políticos-administrativos em consonância com os objetivos de proteção e conservação destas áreas. Foi interessante perceber neste trajeto de concepção do limite oficial desta área protegida, a grande importância das técnicas de Geoprocessamento empregadas, visto que

permitiram o traçado da área limítrofe levando em conta os aspectos ambientais, assim como sistematizaram a visualização do mapeamento para um público relativamente leigo na área de Geotecnologias, porém possuidor de outras expertises relacionadas a gestão ambiental do território e que puderam então contribuir para uma melhor decisão acerca dos limites oficiais desta área. A utilização do MDE da missão SRTM com 30 metros (1 arco-segundo) de resolução espacial se mostrou extremamente eficaz, observando que, em tese, possuem melhor precisão da informação altimétrica, visto que não foram realizadas interpolações para melhoria de sua resolução espacial. Os limites criados por meio de ferramentas direcionadas a estudos hidrológicos do ArcGIS 10.1 também se mostraram eficientes, tendo bons resultados em comparação com bases oficiais desta natureza.

Palavras-chave: Áreas Protegidas, Modelo Digital de Elevação, Sistema de Informação Geográfica, Bacia Hidrográfica

Abstract

The preservation of natural areas is the primary form for the conservation of biological diversity, existing around the planet delimited areas with the purpose of protection, given its uniqueness, beauty, threat level and other parameters that characterize the need for effective management and sustainable management of natural resources present there. The management of protected areas in isolation is not sufficient for the preservation, creation means of integrated landscape management is required and in this sense a fairly consistent format are the mosaics of protected areas. This paper presents the procedures used to delimit the “Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral”, which was performed interactively, from the combination of automatic methods using GIS techniques made possible with a refinement from mapping strategic issues management mosaic, obtained by assembling the advisory board of the mosaic itself. The initial proposal for delimitation mosaic was created taking into account the aspects of the physical environment as a planning unit, so the division was made by dividing the watershed ridge line of the region, and in some places, the drainage system itself. This limitation was automated in a Geographic Information System (GIS) based on topographic Digital Elevation Model (DEM) with 30 meter spatial resolution from the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). The delimitation of this mosaic of protected considering only those aspects of the physical environment in order to leverage had the power management of the same, so this initial map was presented at a meeting of the advisory board of the mosaic to be adjusted and it is then included political-administrative boundaries in consistent with the objectives of protection and conservation of these areas. It was interesting to see this path of designing the official boundary of this protected área, the great importance of GIS techniques employed, as they allowed the tracing of the border area taking into account environmental aspects, as well as systematized the visualization mapping to a relatively lay public in area of Geotechnology, but possessed of other related environmental management and planning expertise that could then contribute to a better decision about the official limits of this area. The use of DEM of the SRTM mission with 30 meters (1 arc second) spatial resolution proved extremely effective, noting that, in theory, have better precision altimetry information, as interpolations to improve their spatial resolution were not performed. The

boundaries created by the hydrological tools aimed at ArcGIS 10.1 also proved effective, with good results compared to official databases of this nature.

Keywords: Protected Areas, Digital Elevation Models, Geographic Information Systems, Watershed

2.1 Introdução

De acordo com IUCN (1994) uma área protegida se caracteriza como uma área de terra ou mar especialmente dedicada à proteção e manutenção da diversidade biológica e cultural associadas, sendo gerida por meio de instrumentos legais eficazes. Mesmo havendo diversos tipos e categorias de áreas protegidas mundo afora, muitas vezes, o estabelecimento destas áreas não é acompanhado por um processo de gestão eficaz, havendo assim a necessidade de atualização dos conceitos de planejamento ou mesmo de uma mudança radical na forma de entender os caminhos da conservação da diversidade biológica. O sucesso das áreas protegidas em longo prazo deve ser visto à luz da busca de padrões mais sustentáveis de desenvolvimento (DAVEY et al., 1998). Dentre os diversos instrumentos legais direcionados para as questões ambientais envolvendo área protegidas, introduzidos desde o Decreto nº 23.793, de 1934, que instituiu o Código Florestal, podemos destacar, levando em conta a busca de uma construção de formas de gestão integrada, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), criado no ano 2000 pela Lei Federal nº 9.985 e o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (PNAP), criado pelo Decreto nº 5.758 no ano de 2006. Segundo Delelis et al (2010) o SNUC é considerado o marco inicial para o planejamento consistente da conservação sob uma abordagem ecossistêmica, aprimorando e reconhecendo a maior eficácia das estratégias e ações de conservação da biodiversidade quando organizadas de forma integrada e sistêmica. Exemplo de formato integrado de gestão são os mosaicos, que buscam a participação, integração e envolvimento dos gestores de unidades de Conservação (UC) e da população local na gestão destas áreas. O objetivo deste artigo é apresentar o caminho percorrido na criação dos limites do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral, demonstrando a eficácia das ferramentas de Geoprocessamento num conceito de delineamento de um limite, onde existiam ideias convergindo e divergindo a respeito deste.

2.2 Revisão de bibliografia

2.2.1 Gestão Integrada da Paisagem

Segundo Brito (2012) é imprescindível que os problemas ambientais sejam confrontados com as ciências de gestão e políticas públicas, mobilizando pesquisas multidisciplinares e parcerias institucionais setoriais dos níveis federal, estadual e municipal, buscando-se processos oportunos de tomada de decisão política inter e intragovernamental e com o terceiro setor. Estratégias de conservação da biodiversidade baseadas na gestão integrada tem como objetivo promover a conectividade na paisagem e para o planejamento da paisagem neste sentido, as abordagens que buscam a ligação entre áreas protegidas, tais quais as reservas da biosfera, mosaicos e os corredores ecológicos são fundamentais.

Uma forma exequível de gestão integrada da paisagem, capaz de proporcionar uma administração mais efetiva são os Mosaicos de Unidades de Conservação. Segundo Ferreira et al (2004) as iniciativas de uma gestão integrada de áreas protegidas no Brasil foram conduzidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) no final da década de 90 com a criação do Núcleo Regional de Unidades de Conservação (NURUC), sendo considerado por muitos como o instrumento que introduziu as primeiras sementes do que hoje é concebido como a gestão de mosaicos. A constituição de Mosaicos de Unidades de Conservação e Áreas Protegidas foi oficialmente prevista a partir do SNUC, que diz em seu artigo 26, que:

“Quando existir um conjunto de unidades de conservação de categorias diferentes ou não, próximas, justapostas ou sobrepostas, e outras áreas protegidas públicas ou privadas, constituindo um mosaico, a gestão do conjunto deverá ser feita de forma integrada e participativa, considerando-se os seus distintos objetivos de conservação, de forma a compatibilizar a presença da biodiversidade, a valorização da sociodiversidade e o desenvolvimento sustentável no contexto regional” (SNUC, 2000).

Os mosaicos de unidades de conservação constituem-se num modelo de gestão integrada para garantir a efetividade de ações que possibilitem a conectividade entre áreas de florestas (conservadas ou modificadas) e integrem as chamadas áreas de zonas-tampão que se conectam as unidades de proteção integral ou de uso sustentável (BRITO, 2012). O Ministério do Meio Ambiente (MMA) é responsável por reconhecer mosaicos, conforme procedimentos instituídos na Portaria nº 482 de 14 de dezembro de 2010, sendo que até o presente momento foram reconhecidos 14

mosaicos no Brasil. A gestão de um mosaico é acompanhada por um conselho consultivo, que deve propor diretrizes e ações para compatibilizar, integrar e otimizar a gestão dessas áreas, sendo fundamental a participação da comunidade local.

2.2.2 Informação altimétrica do terreno

Para a delimitação de bacias hidrográficas foi utilizada uma base com a informação altimétrica do terreno no espaço, ou seja, um Modelo Digital de Elevação (MDE). Existem diversas formas de se obter esta informação, desde o levantamento topográfico de campo até técnicas mais avançadas com o sistema *Light Detection and Ranging* (LIDAR). Uma técnica de Sensoriamento Remoto Ativo bastante difundida para a obtenção de um MDE é a interferometria de imagens de Radar de abertura sintética ou *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR). A tecnologia InSAR apresenta um potencial tecnológico inovador e diferenciado para levantamento topográfico, visto que a radiação do espectro das microondas, além de atravessar as nuvens, atravessa também a massa de vegetação, atingindo assim o terreno com menos interferência (TIMBÓ ELMIRO et al., 2006). A missão conhecida como *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), realizada no ano 2000 a bordo da nave *Endeavour* forneceu o mapeamento topográfico mais completo a nível global, abrangendo uma área entre 60° de latitude norte e 56° de latitude sul. Essa missão foi uma parceria entre a Agência Espacial Alemã (DLR), a agência espacial italiana e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Nesse levantamento, os sistemas InSAR instalados operaram na banda C e X, resultando em produtos com resolução espacial de 90 e 30 m² por pixel (SUN et al., 2003).

2.3 Metodologia de mapeamento

2.3.1 Abrangência

O ponto de partida para a criação do limite do mosaico foi a confirmação de qual seria a abrangência necessária do mesmo. Desta forma, pela leitura da portaria nº444 de 26 de novembro de 2010 que instituiu o Mosaico, as unidades de conservação envolvidas pelo mosaico e que deveriam estar inseridas em seu limite seriam as seguintes: Área de Proteção Ambiental Estadual das Águas Vertentes (APAEAV),

Área de Proteção Ambiental Municipal do Rio Manso (APAMRM), Área de Proteção Ambiental Municipal de Felício (APAMF), Parque Estadual do Rio Preto (PERP), Parque Estadual do Biribiri (PEBI), Parque Estadual do Pico do Itambé (PEPI), Parque Estadual da Serra Negra (PESN), Parque Estadual da Serra do Cabral (PESC), Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV), Estação Ecológica Estadual da Mata dos Ausentes (EEEMA) e Monumento Natural Estadual da Várzea do Lajeado e Serra do Raio (MNEVLSR).

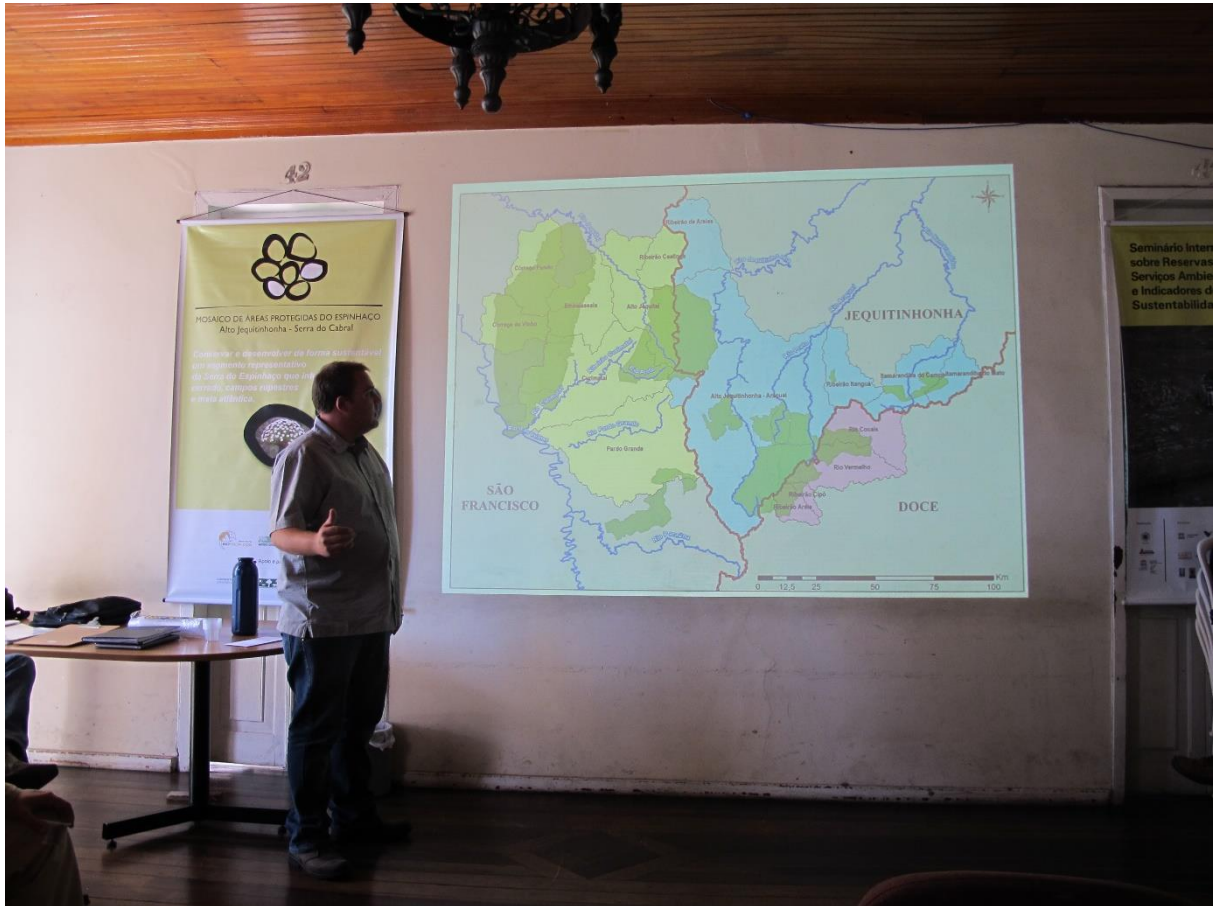
2.3.2 Mapeamento inicial

O mapeamento inicial realizado com o intuito de definição dos limites oficiais do mosaico e que, posteriormente, seria levado para a discussão na reunião do conselho consultivo do mosaico (Fotografia 1), foi realizado levando em consideração os aspectos do ambiente físico, considerando a bacia hidrográfica como unidade planejamento.



Fotografia 1 - Reunião do conselho consultivo do Mosaico

Nesta ocasião foi exposto um recorte territorial produzido pelo autor do presente estudo, baseando-se em atributos da geografia física da região, tais quais, divisores de bacias hidrográficas e margem de drenagens (Fotografia 2).



Fotografia 2 - Apresentação ao conselho da delimitação do Mosaico produzida pelo autor.

O limite em questão foi traçado utilizando-se o sistema de coordenadas UTM no datum SIRGAS 2000, estando todo este limite situado no fuso 23 k.

2.3.3 Delineamento de bacias hidrográficas

Para o delineamento das bacias hidrográficas foi utilizado o *software* ArcGIS 10.1 por meio de sua ferramenta para análise hidrológica *ArcHydro*. A imagem com altimetria do terreno utilizada como base para o processamento foi proveniente da missão SRTM. Os procedimentos metodológicos realizados subdividiram-se em 3 etapas, sendo a primeira (1ª) etapa o preenchimento de depressões, com a função *fills sinks*.

Esta etapa é fundamental visto que a acurácia do MDE gerados por meio de dados da missão SRTM tem relacionamento direto com a topografia do terreno, sendo que em áreas de relevo montanhoso constata-se falhas de medição em função do sombreamento provocado pela própria formatação acidentada do relevo (FARLONI et al., 2005). Este procedimento é capaz de preencher essas depressões ou inconsistências no modelo, por meio da interpolação dos valores dos pixels vizinhos à determinada área que possui a falha de informação. A segunda (2ª) etapa foi a criação de uma camada indicando a direção de fluxo. Esta etapa é necessária, tendo em vista que numa bacia hidrográfica, a direção do fluxo da água obedece a determinadas relações hidrológicas de escoamento. A função *flow direction* indica a direção do fluxo a partir da análise do valor de altimetria de um pixel central e dos seus vizinhos. A imagem de saída após a aplicação desta função é tematizada em função de oito direcionamentos cardeais (N-NE-NO-S-SE-SO-O-E), sendo que para cada pixel é informada uma direção de escoamento. A terceira (3ª) e última etapa foi a criação dos limites das bacias hidrográficas. Este procedimento foi realizado por meio do processamento do raster com a direção de fluxo criado na etapa anterior com a função *basin*.

2.3.4 Definição topológica dos divisores

Após a delimitação das bacias hidrográficas presentes na área de estudo, buscou-se a definição dos limites para o mosaico seguindo os divisores de água entre bacias adjacentes, conforme relacionamento de vizinhança das bacias geradas pelo algoritmo de delimitação de bacias. Para dar suporte ao processo, assim como complementar o limite em determinados regiões onde não foi viável a utilização de linhas de cumeada, optou-se por utilizar como delimitação alguns trechos de drenagem. Foi utilizado um arquivo vetorial com a base de hidrografia oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e outro com a base oficial de UC's do Instituto Estadual de Florestas (IEF) para guiar o delineamento do limite.

2.3.5 Mapeamento participativo do limite do mosaico

O mapeamento inicial gerado foi levado para discussão na reunião do conselho consultivo do mosaico no dia 29 de abril de 2013, sendo então realizada uma oficina

para discutir e buscar adequações no limite proposto que pudessem otimizar a gestão da área. A oficina reuniu gestores de unidades de conservação, funcionários de órgãos ambientais, representantes municipais, professores, pesquisadores, representantes de empresas e do terceiro setor, dentre outro. A oficina contou inicialmente com uma apresentação feita pelo autor do presente artigo, com o objetivo de apresentar a metodologia de mapeamento, assim como o mapa e a abrangência de sua delimitação. Em seguida, sob organização do secretário executivo do conselho do mosaico foi iniciada a discussão a respeito das características do limite proposto. Todos os participantes tiveram a oportunidade de opinar a respeito do traçado do limite. A organização da reunião se guiou com a observação e comentários a partir do ponto de confluência do rio Paraúna com o rio das Velhas a sudoeste do limite proposto, seguindo então em sentido horário até perfazer todo o entorno.

2.4 Resultados e discussões

2.4.1 Delimitação das bacias

A delimitação das bacias hidrográficas, conforme processo apresentado na (Figura 11), se mostrou muito eficaz para o objetivo proposto, visto que se mostrou um procedimento ágil, com etapas de fácil processamento e com resultados satisfatórios quando confrontados com as bases as bases oficiais de hidrografia. A utilização da metodologia apresentada é interessante pelo fato de excluir a subjetividade humana em métodos manuais, apesar que, em alguns momentos a interferência apoiada sobre o ponto de vista de interpretação de uma analista envolvido no tema seja útil. As imagens SRTM com 30 metros (1 arc sec) de resolução espacial foram um produto indispensável para a melhor qualidade da delimitação das bacias. Normalmente este produto é disponibilizado com 90 metros (3 arc sec), diminuindo a acurácia de representação, onde cada pixel representaria 8.100 metros na superfície, em contrapartida com a resolução de 30 metros, a representação da superfície em cada pixel é de 900 metros.

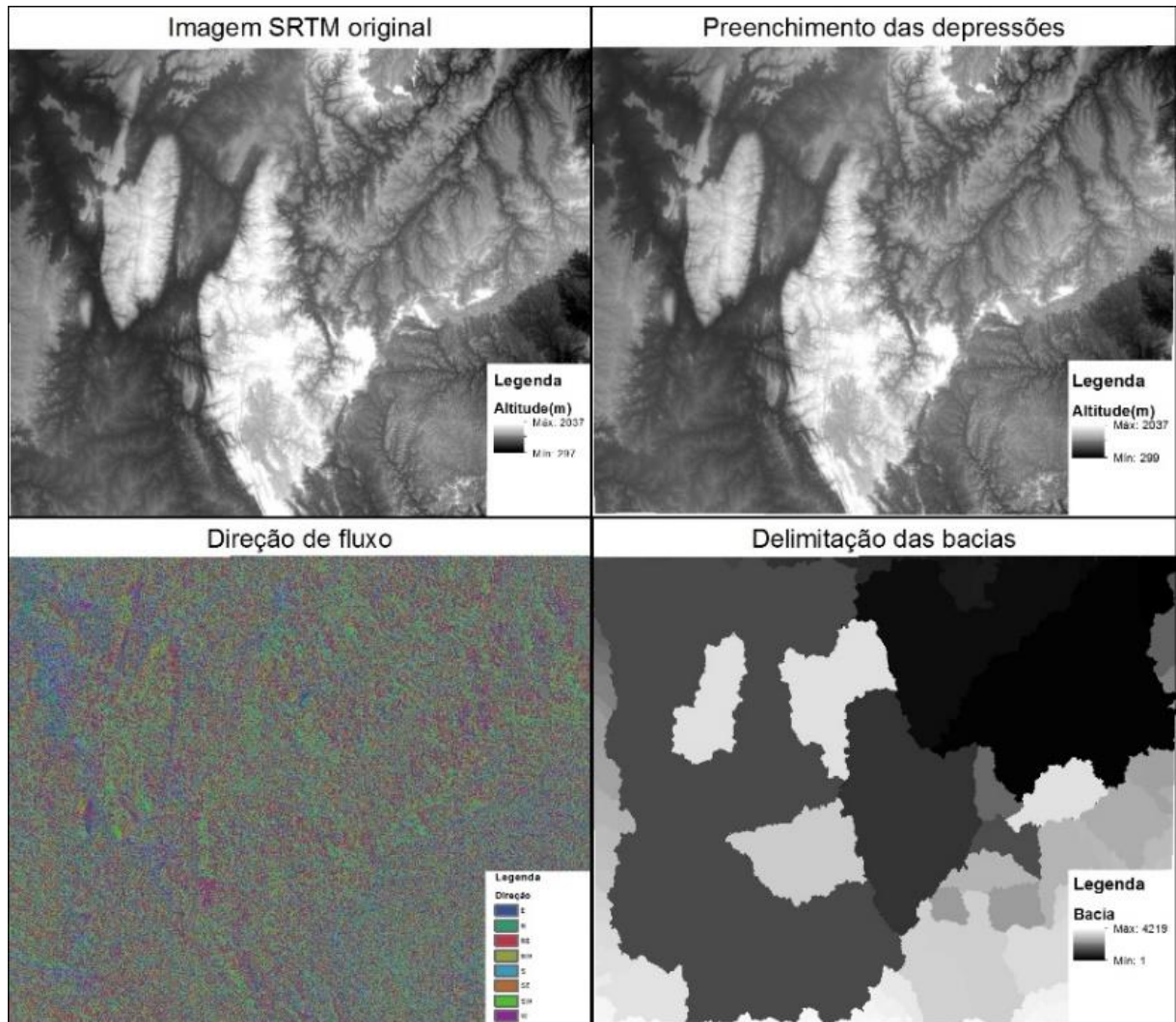


Figura 11 - Etapas para a delimitação de bacias hidrográficas

2.4.2 Ajustamento e definição do limite do mosaico

O limite inicial proposto foi traçado utilizando-se o sistema de coordenadas UTM no datum SIRGAS 2000, estando todo este limite situado no fuso 23 k. O limite foi delineado em grande maioria levando em consideração a linha de cumeada dos divisores de bacias hidrográficas delimitados pelo algoritmo da ferramenta ArcHydro. Em algumas situações o limite não obedeceu a linha do divisor, sendo nestes casos o limite feito pela própria linha de drenagem, sendo elas a linha de drenagem do rio Paraúna, rio das Velhas e do rio Jequitaí. Essa escolha foi feita no sentido de dimensionar o limite, de forma a ajustar o mosaico às UC's nele contidas e não abranger áreas em outro contexto de paisagem, o que poderia influir na capacidade de gestão do mesmo. Esta proposta inicial derivou um limite com área de

aproximadamente 1.916.450 hectares. Para se chegar a uma delimitação final e oficial, foram realizadas algumas pequenas adequações, tendo em vista a observação da dimensão abrangida e de alguns critérios político-administrativos que seriam necessários para uma maior efetividade de gestão do mosaico. É importante pontuar que a delimitação em seu formato inicial foi bem aceita pelo conselho do mosaico em relação ao fato de ter sido criada observando os atributos do ambiente físico na região, tais quais, os divisores de bacias hidrográficas e margem de drenagens. Foram necessários ajuste em dois pontos da delimitação, conforme pode ser observado na (Figura 12).

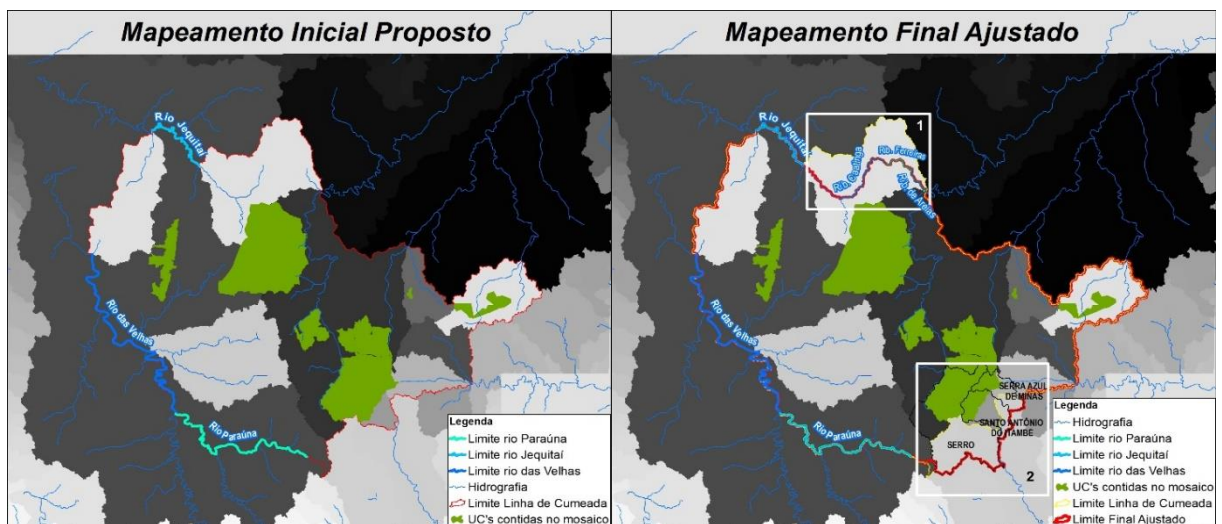


Figura 12 - Mapeamento inicial proposto e mapeamento final após ajustes

O primeiro ponto modificado localiza-se na porção norte, onde o limite deixou de seguir a linha de cumeada e passou a seguir a rede de drenagem do ribeirão Caatinga, ribeirão dos Ferreiras e ribeirão de Areias. Esta modificação justificou-se pelo fato de que a região envolvida por esta bacia distanciava-se muito das UC's em foco, abrangendo assim uma área fora do contexto mosaico. O segundo ponto onde houve alteração localiza-se na porção sudeste do mosaico. Tal modificação justificou-se pela inserção dos limites municipais de Serro, Santo Antônio do Itambé e Serra Azul de Minas, questão essa que, ao ser levantada na reunião do conselho, indicou consenso com relação ao fato de que a inclusão destes municípios seria positiva em termos de gestão do mosaico de áreas protegidas. Em seu formato final, o limite do mosaico teve

uma diminuição de tamanho, passando a abranger uma área de aproximadamente 1.892.447 hectares.

2.4.3 Produtos finais gerados

Após a realização do mapeamento participativo na reunião do conselho e dos ajustes finais no limite obteve-se um mapa do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço Alto Jequitinhonha – Serra do Cabral, conforme apresentado na (Figura 13).

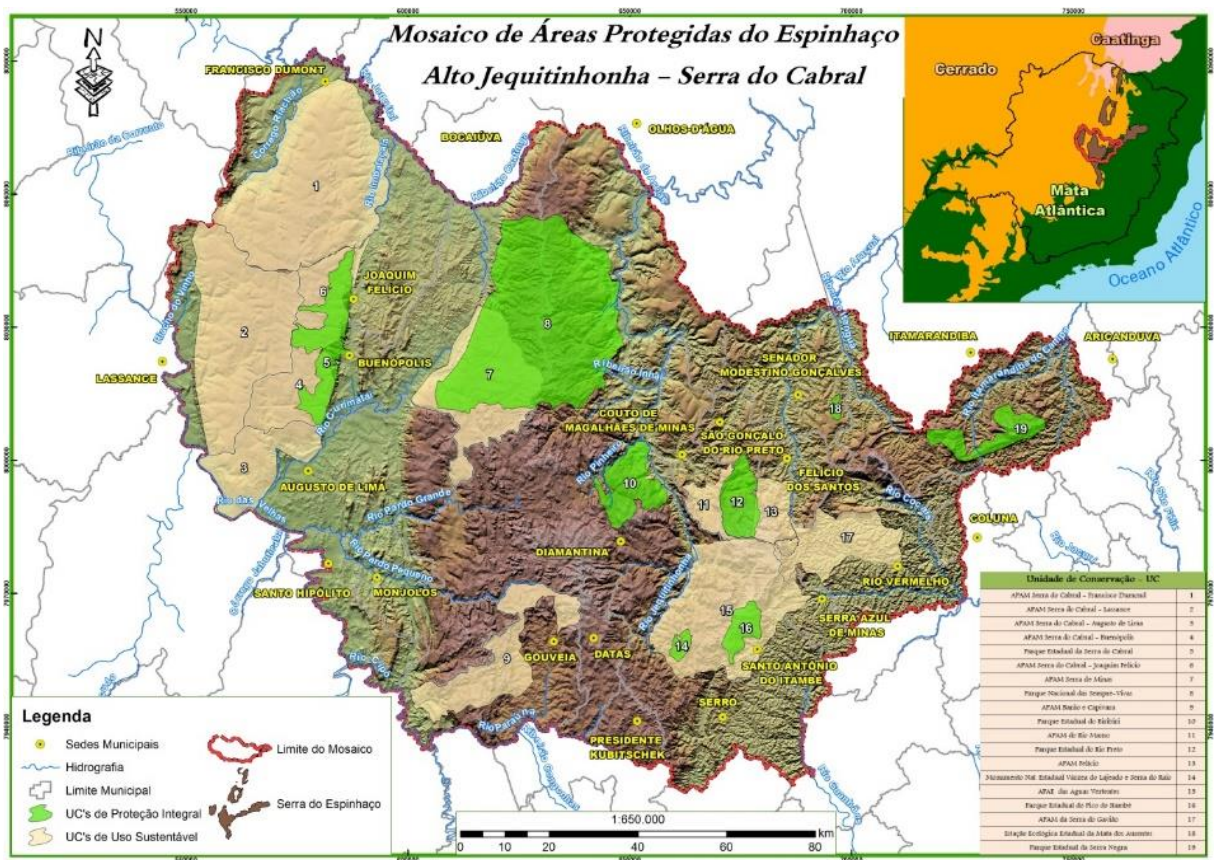


Figura 13 - Mapa do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço Alto Jequitinhonha – Serra do Cabral

Nesse formato final, o mosaico envolve por inteiro ou intercepta, um total de 24 municípios, sendo eles: Aricanduva, Augusto de Lima, Bocaiúva, Buenópolis, Coluna, Couto de Magalhães de Minas, Datas, Diamantina, Felício dos Santos, Francisco Dumont, Gouveia, Itamarandiba, Joaquim Felício, Lassance, Monjolos, Olhos-d'água, Presidente Kubitschek, Rio Vermelho, Santo Antônio do Itambé, Santo Hipólito, São

Gonçalo do Rio Preto, Senador Modestino Gonçalves, Serra Azul de Minas e Serro. Existem também, dentro dos limites do mosaico, UC's que não estão incluídas na portaria de instituição do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço, pelo fato de, na ocasião, não estarem cadastradas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), sendo elas: Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Cabral (Buenópolis), Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Cabral (Joaquim Felício), Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Cabral (Francisco Dumont), Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Cabral (Augusto de Lima), Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Cabral (Lassance), Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra Mineira, Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Gavião e Área de Proteção Ambiental Municipal Barão e Capivara. No mapa apresentado na Figura 3, tais UC' estão mapeadas.

Outro produto criado a partir do mapeamento dos limites do mosaico e com apoio de um SIG, assim como das bases oficiais e suas toponímias, foi o memorial descritivo apresentando os confrontantes. Neste documento fica o limite do mosaico definido da seguinte forma: Inicia-se no Ponto 01 na confluência do Rio Paraúna com o Rio das Velhas de coordenadas 586475 E / 7953597 N; a partir daí segue a jusante pela margem direita do Rio das Velhas por aproximadamente 153,5 quilômetros até o Ponto 02 na foz do Córrego do Vinho de coordenadas 547288 E / 8030325 N; deste ponto o limite é delineado pelo divisor da face oeste da bacia do Córrego do Vinho (Serra da Água Fria) até o Ponto 03, na divisa das bacias do Córrego do Vinho e do Córrego Fundo de coordenadas 557115 E / 8052766 N; deste ponto o limite segue pelo divisor na face leste da bacia do Córrego Fundo (Serra da Água Fria) até o Ponto 04 na foz deste último com o Rio Jequitaí de coordenadas 575362 E / 8089301 N; O limite prossegue em direção à montante do Rio Jequitaí por aproximadamente 103, 8 quilômetros até o Ponto 05 na foz do Ribeirão Caatinga de coordenadas 614798 E / 8056884 N; Segue-se então o Ribeirão Caatinga, em direção à sua montante, por aproximadamente 48,9 quilômetros até o Ponto 06 que coincide com sua nascente, localizada próxima à linha de cumeada divisora das grandes bacias do Rio São Francisco e Rio Jequitinhonha (Serra Santa Cruz) de coordenadas 635689 E / 8073802 N; Segue-se o Córrego Lagoas desde o Ponto 07 localizado em sua nascente de coordenadas 636140 E / 8073364 N, até o Ponto 08, localizado em sua foz no Ribeirão dos Ferreiras de coordenadas 643861 E / 8074395 N, deste último

segue à jusante até o Ponto 09 que coincide com a sua foz no Ribeirão de Areias de coordenada 648284 E / 8070957 N; a partir daí o limite segue o Ribeirão de Areias no sentido à jusante por aproximadamente 20,6 quilômetros até o Ponto 10, localizado na sua foz com o Rio Jequitinhonha, de coordenadas 654933 E / 8059788 N; A partir deste ponto o limite segue pelos divisores de diversas sub-bacias que juntas drenam a parte alta do Rio Jequitinhonha até o Ponto 11 na confluência entre o Rio Araçuaí e o Ribeirão Itanguá de coordenadas 695170 E / 8034089 N; segue então pelo divisor da face nordeste da bacia do Ribeirão Itanguá até o Ponto 12, na divisa desta bacia com a bacia do Rio Itamarandiba do Campo, de coordenadas 716654 E / 8006440 N; seguindo então pelo divisor da face noroeste da bacia do Rio Itamarandiba do Campo até o Ponto 13, na confluência entre os Rios Itamarandiba do Campo e Itamarandiba do Mato (a partir de onde estes dois rios formam o Rio Itamarandiba), de coordenadas 748506 E / 8027157 N; deste ponto segue o limite pelo divisor da face nordeste da bacia do Rio Itamarandiba do Mato até o Ponto 14, localizado na região da linha de cumeada que divide as grandes bacias do Rio Jequitinhonha e Rio Doce, de coordenadas 758059 E / 8013321 N; seguindo então pela linha divisória das citadas bacias, sentido leste - oeste até o Ponto 15 de coordenadas 725606 E / 7993960 N; deste ponto em diante o limite se torna o divisor da face leste da bacia do Rio Cocais passando pelo Ponto 16, na confluência deste com o Rio Suaçuí Grande, de coordenadas 725159 E / 7968216 N; seguindo até o divisor da face sul da bacia do Rio Vermelho, passando pelo ponto de confluência do Rio Vermelho com o Rio Suaçuí Grande nas coordenadas 724737 E / 7968009 N, o limite prossegue pelo divisor da face sul da bacia do Rio Vermelho o Ponto 17, onde o referido rio cruza o limite do município de Serra Azul de Minas, de coordenadas 699395 E / 7961168 N; daí o limite segue coincidindo com o citado limite municipal até o Ponto 18, na intercessão deste município com o limite municipal de Santo Antônio do Itambé, de coordenadas 693501 E / 7955530 N; este último limite municipal passa, a partir deste ponto, a delimitar o mosaico até o Ponto 19, na intercessão deste município com o limite municipal de Serro, de coordenadas 688360 E / 7942714 N; este último limite municipal passa, a partir deste ponto, a delimitar o mosaico, até o Ponto 20, que marca a divisa entre os municípios de Serro e Presidente Kubitschek, de coordenadas 659111 E / 7929688 N, sendo também este último um ponto na linha de cumeada que divide as grandes bacias do Rio Doce e Rio São Francisco; Deste ponto o limite segue pela divisa municipal de Presidente Kubitschek, sentido leste-oeste até o Ponto 21 onde o citado

limite municipal cruza com o Rio Paraúna de coordenadas 655313 E / 7931038 N; e deste ponto segue o Rio Paraúna em direção à sua jusante até sua foz no Rio das Velhas nas coordenadas do Ponto 01 onde fecha-se o polígono da área.

2.5 Conclusão

A definição de um limite, cuja finalidade é a gestão da paisagem e biodiversidade, ser orientado observando aspectos ambientais reforça a ideia de gestão integrada. Neste sentido o apoio de geotecnologias é imprescindível por sua capacidade de representação e visualização da realidade com dinamismo. A utilização da metodologia automatizada para delimitação das bacias se mostrou eficiente, porém foi interessante perceber que a integração entre a metodologia automatizada e o mapeamento participativo possibilitou adequações capazes de potencializar a gestão.

Referências bibliográficas

BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integrada na gestão de ecossistemas**. Ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012, 273 p.

DAVEY, A.G. **National System Planning for Protected Areas**. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 1998.

DELELIS, C. J.; REHDER, T.; CARDOSO, T. M. Mosaicos de áreas protegidas: Reflexões e propostas da cooperação franco-brasileira. **Série Áreas Protegidas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Embaixada da França no Brasil – CDS UNB. p. 21-29, 2010.

FALORNI, G.; TELES, V.; VIVONI, E.R.; BRAS, R.L.; AMARATUNGA, K.S. Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.110, n.2, p.1-20, 2005.

FERREIRA, I.V., PRATES, A. P. L., KARAM, K.F., COELHO, B. H. Mosaicos de Unidades de Conservação no Brasil: os casos de Santa Catarina, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. Curitiba, **anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação**, p. 187-197, 2004.

IUCN. **Guidelines for protected area management categories**. IUCN Commission on National Parks and Protected Areas with the assistance of the World Conservation Monitoring Centre. IUCN, Gland. 1994.

SNUC. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Lei no 9.985 de 18/07/2000.

SUN, G.; RANSON, K.J.; KHARUK, V.I.; KOVACS, K. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter, **Remote Sensing of Environment**, v. 88, p. 401–411, 2003.

TIMBÓ ELMIRO, M. A.; DUTRA, L.V.; MURA, J.C.; FREITAS, C.C.; SANTOS, J.R. Avaliação de dados de altimetria da floresta amazônica baseados nas tecnologias INSAR, LIDAR e GPS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n.3, p. 233-246, 2006.

3 ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO ESTRUTURAL DA PAISAGEM POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E MÉTRICAS DE PAISAGEM

Resumo

A fragmentação de habitats é uma das maiores ameaças à biodiversidade global. Percebe-se que na realidade atual, a mais notável causa da fragmentação de habitats é a pressão antrópica, desencadeada principalmente pela exploração dos recursos naturais de forma indiscriminada. Novas técnicas e disciplinas têm sido desenvolvidas buscando uma melhor análise, mensuração e respectivo entendimento dos processos que desencadeiam a perda da conectividade entre os habitats. O presente artigo apresenta um roteiro metodológico para a investigação da evolução estrutural da paisagem com o apoio de técnicas direcionadas para a análise e processamento de imagens de satélite multitemporais e também por meio da aplicação de conceitos da ecologia da paisagem, através do cálculo de métricas de paisagem. O estudo foi realizado no Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral. Este mosaico contém dentro de seus limites, várias unidades de conservação e tem como um de seus objetivos centrais, alcançar uma gestão integrada do território, buscando maior efetividade nas ações para a conservação da biodiversidade. Constatou-se através dos resultados obtidos pela análise multitemporal da paisagem no mosaico, que tem ocorrido uma perda da conectividade estrutural na paisagem durante o período analisado (1984 – 2013) e com isso atenta-se para a necessidade de reestabelecimento desta conectividade, visando a conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: fragmentação de habitats, métricas de paisagem, sensoriamento remoto

Abstract

Habitat fragmentation is one of the largest threats to global biodiversity. Actually, the most notable cause of habitat fragmentation is the anthropogenic pressure, mainly triggered by the indiscriminately exploitation of natural resources. New techniques and disciplines have been developed looking for better and accurate analyses, measurements and understanding of the processes related to the loss of connectivity between habitats. This paper presents a methodological proposal for investigate the structural evolution of the landscape with the support of targeted techniques for the analysis and processing of multi-temporal satellite images. We apply concepts of landscape ecology, calculating landscape metrics. The study was conducted at "Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral". This mosaic contains within its boundaries, several conservation areas, and this is one of its core objectives, trying to achieve integrated management of its territory, looking for greater effectiveness of the biodiversity conservation. It was verified by the results obtained using multitemporal analysis of the landscape mosaic, which has showed a loss of structural connectivity in the landscape during the studied period (1984 - 2013), and thus attentive to the need for restoration of this connectivity in order to improve the biodiversity conservation at landscape level.

Keywords: habitat fragmentation, landscape metrics, remote sensing

3.1 Introdução

Cada vez mais observamos a redução ou total destruição de habitats naturais. Em diversas partes do globo terrestre, a pressão antrópica sobre o habitat e as espécies nele contidas tem tido excessiva magnitude, vindo a causar a perda da conectividade entre os habitats na paisagem, criando assim áreas fragmentadas com menor regulação ecológica. Tal processo se desencadeia, principalmente, pelo aumento de atividades e processos que envolvem a exploração de recursos naturais, sendo que, de forma quase absoluta, representam grande ameaça à biodiversidade do planeta (BIERREGAARD et al., 1992; TABARELLI & GASCON, 2005). Atualmente, a paisagem que predomina nas zonas rurais de países das regiões temperadas e tropicais são os fragmentos florestais cercados por campos agrícolas. No Brasil, país de maior biodiversidade no mundo, a expansão das atividades agrícolas, a exploração dos recursos naturais e o crescente adensamento das manchas urbanas são fatores que vêm impulsionando a transformação da paisagem de forma significativa. O Estado de Minas Gerais, quarta maior unidade da federação brasileira, compreende um território de grande extensão, onde estão inseridos três, dos grandes biomas do Brasil, sendo eles a Caatinga, o Cerrado e a Mata Atlântica. No ano de 2013, Minas Gerais foi anunciado, pela quarta vez consecutiva, como o Estado com maior taxa de desmatamento no país. O processo de fragmentação no Estado é preocupante e avança em passos largos. A paisagem tipicamente sertaneja da região centro-norte do Estado tem passado por transformações arquitetadas, principalmente devido à implantação de grandes projetos de pecuária e monocultura para fins siderúrgicos, que tiveram início por volta dos anos de 1970, dentro do escopo desenvolvimentista do governo militar.

Sob a perspectiva clássica da Teoria da Biogeografia de Ilhas (MacArthur & Wilson, 1967) as populações de ambientes insulares tendem a apresentar grande declínio ou mesmo extinção de espécies e atentando para esta teoria como arcabouço teórico inicial, novas disciplinas e métodos vêm sendo aprimorados, permitindo que o processo de fragmentação seja pensando sob outras perspectivas. A ecologia de paisagens é uma destas disciplinas que vem emergindo e gerando conhecimento para ações mais efetivas de conservação da biodiversidade. De que forma? Em linhas gerais e mais atuais, o principal enfoque da ecologia de paisagens é o estudo das

inter-relações entre os aspectos bióticos e abióticos em paisagens heterogêneas, observando a interferência antrópica. Nesta ótica são desenvolvidas formas de abstração da natureza que se aproximam de padrões melhores inteligíveis, como por exemplo, a análise da estrutura da paisagem pelo conceito de mancha, corredor e matriz (Forman & Godron, 1986) que é especialmente interessante, pois a partir destas três formas básicas a paisagem pode ser quantificada em diversas escalas. Lang & Blaschke (2009) afirmam que as características estruturais da paisagem são observáveis, descritíveis e quantificáveis, sendo também indicadores dos processos que contribuíram para a conformação atual da paisagem.

De acordo com Metzger (2001) a ecologia da paisagem vem impulsionando uma mudança de paradigma nos estudos sobre fragmentação e conservação de espécies e ecossistemas, visto que permite a integração da heterogeneidade espacial e do conceito de escala na análise ecológica, tornando esses trabalhos cada vez mais aplicados para a resolução de problemas ambientais. Entender as consequências das mudanças ocorridas nos habitats e desenvolver efetivas estratégias para a manutenção da biodiversidade em paisagens modificadas é, sem dúvida, um dos maiores desafios de cientistas e gestores ambientais na atualidade. Observando este contexto, o objetivo do presente artigo é apresentar uma investigação da evolução estrutural da paisagem por meio da análise multitemporal de imagens de satélite e do cálculo de métricas de paisagem.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Área de Estudo

A área do presente estudo é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral, localizado na porção meridional da grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço, conforme apresentado na (Figura 14). A Serra do Espinhaço é uma reserva da Biosfera reconhecida pela UNESCO, sendo esta a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço.

O Mosaico engloba diversas áreas protegidas em seu limite, sendo estas denominadas de Unidades de Conservação (UC's), podendo estas ser de Proteção

Integral (com normas mais restritivas, impedindo atividades antrópicas) ou de Uso Sustentável (aliam a conservação com atividades antrópicas). O modelo de gestão dos mosaicos trabalha na integração entre as UC's contidas em seu limite, buscando maior efetividade de ações conservacionistas e com isso possibilita, entre outros aspectos, a conectividade entre áreas de florestas (conservadas ou modificadas).

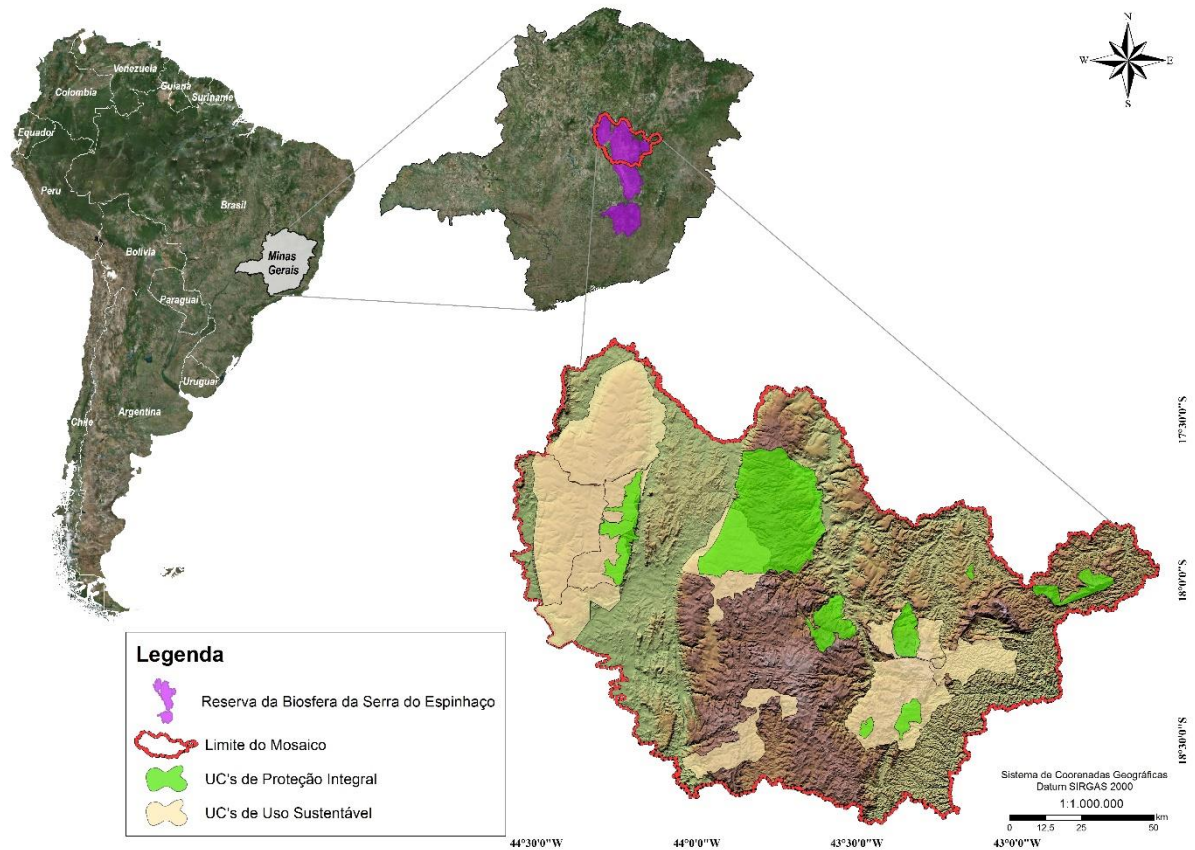


Figura 14 - Mapa de localização da área de estudo

3.2.2 Base de dados

Para a análise da dinâmica da configuração espacial do uso do solo e da cobertura vegetal na área de estudo, foi realizado um mapeamento temático categórico utilizando técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Para a análise da dinâmica temporal da estrutura da paisagem foram utilizadas imagens de satélites da missão *LandSat*. Para o ano de 1984 foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite *LandSat 5* captadas pelo sensor *Thematic Mapper* (TM). As imagens deste sensor são muito utilizadas em análises multitemporais, visto o grande tempo de operação deste satélite, que forneceu imagens entre o período de 1984 a 2012. Para

o mapeamento temático da paisagem no ano de 2013 foram utilizadas imagens do satélite *LandSat 8*, sendo este o mais recente da missão *LandSat*, fazendo parte do projeto *The LandSat Data Continuity Mission* (LDCM), que possibilitará a continuidade na obtenção de imagens periódicas da superfície terrestre em diferentes resoluções espaciais e espectrais. Estes dois satélites possuem sensores capazes de prover imageamento da superfície global, entre outras, com resolução espacial de 30 metros (Visível, Infravermelho Próximo e Infravermelho de Ondas Curtas).

3.2.3 Processamento das imagens de satélite

Os processamentos realizados envolvem a utilização de algoritmos implementados em programas de PDI. O pré-processamento, realce da imagem e posterior classificação da imagem foram realizados no *software* ERDAS Imagine. Na fase de pré-processamento as imagens foram re-projetadas para o datum utilizado no estudo (SIRGAS 2000 - Fuso 23k Sul) e para a correção atmosférica foi utilizado o método *Dark Object Subtraction* (DOS). Para o realce da imagem foi aplicado um realce linear de histograma. O realce de contraste produz uma ampliação do intervalo original dos níveis de cinza, de forma que eles são exibidos num intervalo maior. Este processo não aumenta a quantidade de informação contida na imagem, o objetivo é apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete.

Para a classificação das imagens neste estudo, foi utilizado um classificador supervisionado por máxima verossimilhança (MAXVER). Na classificação supervisionada, o usuário seleciona amostras representativas para cada uma das classes que se deseja identificar na imagem. As classes selecionadas para esta classificação foram: água, área urbanizada, vegetação arbórea, vegetação herbácea, e solo exposto. Foram adquiridas 30 amostras de treinamento para cada classe. Após a classificação foi realizada a interpretação visual da imagem, procedimento de pós-classificação no qual um especialista humano extrai as informações baseando-se na inspeção visual da imagem. Depois de finalizada a classificação, decidiu-se por inserir mais 2 classes temáticas no mapeamento, por meio de interpretação visual, buscando refinar a classificação. As classes em questão foram: campo rupestre e eucalipto. Para a classe campo rupestre partiu-se do pressuposto sustentado por diversas

investigações científicas, de que esta tipologia ocorre principalmente acima de 900 m de altitude, em montanhas cujas rochas são de origem pré-cambriana que foram remodeladas por movimentos tectônicos, estando associados, principalmente, a afloramentos de quartzito, arenito e minério de ferro. Para a classe eucalipto foi realizado um mapeamento manual com apoio de um SIG.

3.2.4 Cálculo de métricas da paisagem

A análise da configuração dos padrões espaciais da paisagem e quantificação da estrutura da paisagem foi realizada por meio de métricas de paisagem, calculadas por meio do programa computacional Fragstats (MCGARIGAL et al., 2012). O Fragstats é um programa de domínio público, direcionado para a análise do padrão espacial em mapas com descrição de categorias que representam o modelo estrutural da paisagem num mosaico paisagístico. As categorias de entrada no Fragstats foram extraídas do mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo realizado na etapa anterior para os anos de 1984 e 2013.

Para a análise da dinâmica temporal da paisagem neste estudo, foram calculadas métricas ao nível de determinadas classes de paisagem para os anos de 1984 e 2013. Foram selecionadas como relevantes para o estudo em questão as seguintes classes: arbórea, herbácea, campo rupestre e eucalipto. As métricas avaliadas têm potencial para indicar a tendência de processos de fragmentação e visto que serão analisados cenários multitemporais, uma interpretação da tendência de fragmentação na paisagem poderá ser realizada. Neste sentido foram calculadas as seguintes métricas para a paisagem: Número de fragmentos (NP), esta métrica representa o número de manchas discretas de cada categoria. O processo de fragmentação divide grandes manchas contínuas em pequenos fragmentos. O NP revela este aspecto da subdivisão que ocorre com a fragmentação, Área média (AM), que representa a medida de área média dos fragmentos, Densidade de fragmentos (PD), métrica que indica a densidade de manchas em 100 hectares de paisagem, Índice de maior mancha (LPI) que indica a porcentagem da paisagem ocupada pela maior mancha e o Índice de agregação (AI) indicando o nível de agregação entre as manchas. O índice varia entre 0 e 100. Quanto mais próximo de 0 mais desconexas são as manchas e quanto mais próximo de 100, maior agregação entre as manchas.

3.3 Resultados e discussões

Conforme se observa, a paisagem em estudo apresenta área total de aproximadamente 1.892.447 ha. Dentro dos limites estabelecidos para o mosaico percebe-se que, mais da metade, da área é formada por vegetação do tipo herbácea. Esta tipologia é predominante na paisagem sendo então considerada a matriz. Nessa classe, o presente mapeamento engloba as pastagens, os campos limpos e áreas de cultivo, exceto Eucalipto, que foi considerada como uma classe única. Mesmo não havendo condição de divisão de distinção da classe natural “campo limpo” pela classificação da imagem de satélite, podemos dizer, por conhecimento in loco e até mesmo pelo padrão da paisagem observado na imagem, que a classe maior contribuinte para o alto valor desta tipologia é a pastagem.

De acordo com os dados apresentados na (Tabela 1) e ilustrados na (Figura 15), percebe-se que, no período analisado, todas as tipologias de vegetação tiveram queda de área existente, exceto a tipologia eucalipto, que praticamente dobrou de tamanho, com um aumento de quase 30.000 hectares de área plantada. Nota-se também uma grande diminuição de espécies arbóreas nativas, representando em 2013 cerca de 12% da área total, contra os 21% que apresentava em 1984.

Tabela 1 - Quantitativos das tipologias de uso do solo mapeadas

TIPOLOGIA	1984		2013	
	Área (hec)	%	Área (hec)	%
Água	24.126,10	1,27	24.115,90	1,27
Arbórea	397.896,00	21,03	228.066,00	12,05
Arbustiva-Herbácea	969.391,00	51,22	1.106.829,17	58,49
Área Urbana	5.406,04	0,29	7.405,11	0,39
Campo Rupestre	364.303,00	19,25	362.971,00	19,18
Eucalipto	38.787,00	2,05	66.078,90	3,49
Solo Exposto	92.538,30	4,89	96.981,36	5,13
TOTAL	1.892.447,44	100	1.892.447,44	100

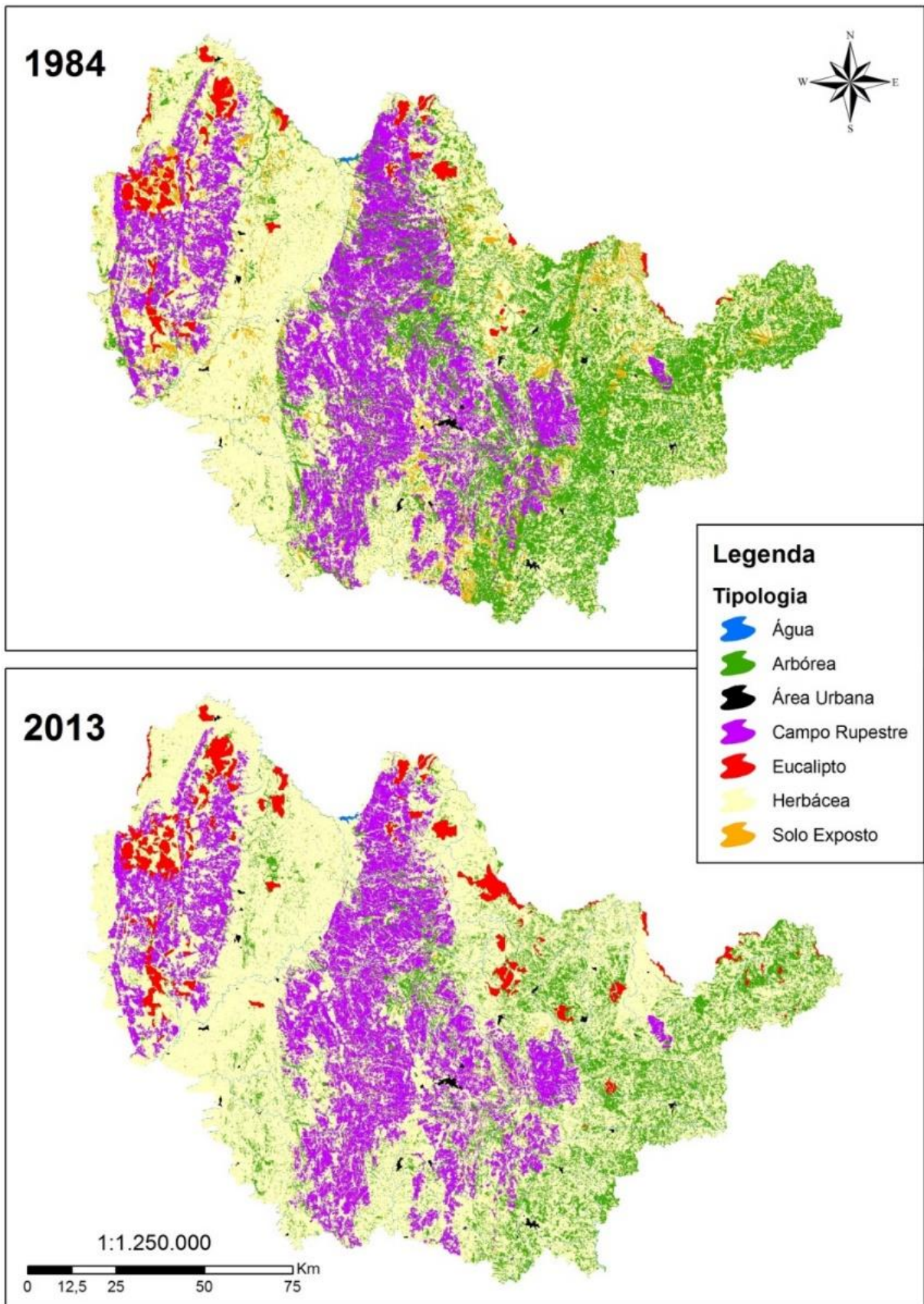


Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do solo

Na (Tabela 2) são apresentadas as métricas de paisagem obtidas para os anos de 1984 e 2013.

Tabela 2 - Métricas de paisagem obtidas para os anos de 1984 e 2013

MÉTRICA	1984				2013			
	Arbórea	Herbácea	Rupestre	Eucalipto	Arbórea	Herbácea	Rupestre	Eucalipto
NP Nº fragmentos	55.312	56.802	11.061	107	74.724	39.971	11.083	183
AM Área média	7,19	17,07	33,01	362,50	3,00	30,07	32,83	361,15
PD Densidade fragmentos	13,91	5,86	3,03	0,28	33,31	3,32	3,05	0,28
AI Índice agregação	87,64	91,92	91,80	97,84	80,57	93,38	91,78	97,73
LPI Índice maior mancha	7,81	15,31	12,68	11,09	1,90	28,18	12,73	9,29

Ao analisarmos a classe arbórea constatamos que o número total de manchas (NP) teve um aumento significativo, assim como a densidade de manchas em 100 ha de paisagem (PD), que mais que duplicou no período analisado, o que não significa que no período houve incremento de fragmentos desta tipologia, visto que a área média dos fragmentos diminuiu aproximadamente 60%, caindo de 7,19 ha para 3,00 ha, em média. Ao observar a porcentagem da paisagem ocupada pela maior mancha (LPI) da classe arbórea, temos que em 1984 a maior mancha representava cerca de 7,81% da paisagem, já em 2013 a LPI possui 1,90% do total da paisagem. Desta forma, percebe-se que no período houve grande fragmentação da classe arbórea, visto que houve um grande aumento de fragmentos e grande redução da área dos mesmos. O índice de agregação (AI) é capaz de traduzir esta fragmentação, visto que ele indica o nível de agregação entre os fragmentos, sendo que este índice varia entre 0 e 100. Quanto mais próximo de 0 mais desconexas são as manchas e quanto mais próximo de 100, maior agregação entre as manchas. Para a classe arbórea foi quantificado o valor de AI em 87,64 no ano de 1984 e 80,57 em 2013. Em estudo realizado no estado

de São Paulo, Valente (2001) analisou o processo de fragmentação em área do bioma Mata Atlântica por meio de métricas de paisagem e técnicas de sensoriamento remoto, observando uma grande tendência de fragmentação nestas áreas. Em diversas regiões do país este bioma vem sofrendo perdas em função da ação antrópica, o que foi observado também no presente estudo.

Na classe herbácea o que observamos é o contrário do que ocorre com a classe arbórea, indicando que esta tipologia tem cada vez mais se proliferado. O NP caiu de 56.802 em 1984 para 39.971 em 2013 e a AM dos fragmentos aumentou de 17,07 para 30,07 ha. A PD diminuiu de 5,86 para 3,32 e apesar desta densidade ter diminuído é notável que o tamanho dos fragmentos aumentou consideravelmente. Esses números indicam que esta classe tem se expandindo no período analisado, visto que atualmente, existem menos fragmentos, porém estes são maiores, tendo a LPI quadruplicado de tamanho no período analisado. Percebe-se então que os fragmentos desta classe estão se fundindo, ou seja, eles estão se conectando, sustentando este fato podemos fazer a leitura do AI que se aproximou mais do valor 100 no ano de 2013, indicando maior agregação entre os fragmentos nesta data. Em trabalho desenvolvido no bioma Cerrado no estado de Goiás, resultados semelhantes foram apresentados, indicando que as plantações e pastagens tem grande influência na fragmentação de habitats (FÁBIO et al., 2009).

A classe campo rupestre se manteve estável no período. É importante considerar que não foi considerada a ocorrência de incêndios, que são comuns neste tipo de vegetação. Para a classe eucalipto, observa-se no período um grande aumento do NP e com relação às outras métricas mantem-se uma estabilidade dos valores. Com isso podemos inferir que esta classe aumentou em quantidade plantada dentro dos limites do mosaico, porém sua distribuição espacial, assim como o tamanho dos fragmentos de eucalipto plantados se mantiveram estáveis no período analisado.

3.4 Conclusão

Constatou-se através dos resultados obtidos pela análise multitemporal da paisagem no mosaico, que o processo de fragmentação na área de estudo foi intenso no período analisado, evidenciando assim a perda da conectividade estrutural na paisagem entre

os anos de 1984 e 2013. Observando este fato, atenta-se para a necessidade de reestabelecimento desta conectividade, visando a conservação da biodiversidade. A criação do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço tem grande potencial para inibir o crescimento da fragmentação dos habitats na área, uma vez que pode vir a efetivar a gestão das unidades de conservação inseridas em seu limite, assim como em seus interstícios de ligação.

Referências Bibliográficas

BIERREGAARD, R. O., LOVEJOY, T. E., KAPOS, V., SANTOS, A. A., HUTCHINGS, R. W. The biological dynamics of tropical rain forest fragments. **Bioscience**. v.42 (1), p. 859-866, 1992.

FÁBIO, M.V., PAULO, M.J., LAERTE, G.F. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**. V. 142, p. 1392-1403, 2009.

FORMAN, R.T., GODRON M. **Landscape Ecology**. New York , John Wiley & Sons, 1986. 619p.

LANG, S., BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Ed.Oficina de Textos. São Paulo, Brasil, 2009, 424 p.

MACARTHUR, R. H., WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 1967, 203 p.

MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S.A ENE, E. **FRAGSTATsv4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012.

METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens? **Biota Neotrópica**. v.1 (1), p. 1-9, 2001.

TABARELLI, M., GASCON, C. Lições da Pesquisa sobre fragmentação aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**. v.1(1), p. 181-188, 2005.

VALENTE, R.O.A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Piracicaba, São Paulo, 2001, 144 p.

4 DETECÇÃO E PREVISÃO DA EXPANSÃO DE EUCALIPTO EM MOSAICO DE ÁREAS PROTEGIDAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E REGRESSÃO LOGÍSTICA

Resumo

A criação de um mosaico é passível quando se tem um conjunto de unidades de conservação próximas, justapostas ou sobrepostas, pertencentes a diferentes esferas de governo ou não. O foco deste modelo de gestão é a integração entre gestores e população local buscando o melhor entendimento entre os interesses da população local, governo e conservação da biodiversidade. O Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço localiza-se na porção meridional da grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço, que possui cerca de 1200 Km de extensão, entre a região central do estado de Minas Gerais e o extremo norte do estado da Bahia. A ação antrópica vem sendo notada na região de algumas formas, tais quais a implantação de grandes projetos de mineração, especulação imobiliária e a expansão de monoculturas. Neste último quesito, se destaca a plantação do eucalipto para fins siderúrgicos, que tiveram início por volta dos anos 70 e tem direcionado uma expansão vertiginosa até os dias atuais. Tendo em vista que o crescimento indiscriminado da monocultura de eucalipto representa risco para as formações vegetais nativas da região, assim como tem grande potencial para gerar conflitos em relação ao uso e ocupação do solo, o presente estudo tem como objetivo dimensionar a taxa de crescimento de eucalipto na área de estudo no período de 1984 a 2013 e elaborar previsões de um cenário futuro para área. Para atingir tal objetivo foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM-5 (1984) e Landsat OLI-8 (2013) para o mapeamento da expansão do eucalipto no período de 29 anos. Para o cálculo da influência de variáveis espacialmente alocadas na expansão do eucalipto e fornecimento de uma previsão futura foi realizada uma regressão logística múltipla, utilizando como variáveis independentes as distâncias de bordas de floresta nativa e de eucalipto, de áreas urbanas e das estradas. No período analisado houve um incremento de cerca de 30.000 hectares de área plantada de eucalipto na região, representando um aumento de aproximadamente 60%. O valor de pseudo r^2 obtido foi de 0,23 e a equação e os coeficientes da regressão logística foram o seguinte: $\text{logit}(\text{Eucalipto}) = -2.1273 -$

$0.004137 * \text{Eucal_DIST} - 0.013844 * \text{Rodov_DIST} - 0.000466 * \text{Urbano_DIST} - 0.002677 * \text{Flor_DIST}$). Uma projeção de cenário para o ano de 2042 indica um grande avanço do eucalipto na área, com potencial para vir a desencadear diversos conflitos ambientais e territoriais, assim como a perda da conectividade na paisagem.

Palavras-chave: Mosaico, Monocultura, Sensoriamento Remoto, Análise Espacial

Abstract

The creation of a mosaic is possible when there is a set of protected areas nearby, juxtaposed or superimposed, belonging to different spheres of government or not. The focus of this management model is the integration between managers and local people seeking a better understanding between the interests of the local population, government and biodiversity conservation. The “Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço” located in the middle portion of the great mountain range called “Serra do Espinhaço”, which has about 1200 km long, between the central state of Minas Gerais and the north end of the state of Bahia. The anthropogenic activity has been noted in the region of some forms, such that the deployment of large mining projects, real estate speculation and the expansion of monoculture. In the latter regard, it highlights the planting of eucalyptus for steel purposes, which started at around 70 years and has directed breakneck expansion to the present day. Considering that the indiscriminate growth of eucalyptus monoculture poses a risk to native forests and has great potential to generate conflicts over the use and occupation of land, the goal of this study is to measure the growth rate of eucalyptus in the study area in the period 1984-2013 and elaborate forecasts of a future scenario for the area. To achieve this goal we use Landsat TM5 (1984) and Landsat OLI - 8 (2013) images for mapping the expansion of eucalyptus in the period of 29 years. To calculate the influence of variables spatially allocated in the expansion of eucalyptus and providing a future forecast a multiple logistic regression was performed, using as independent variables the distances from the edges of native forest and eucalyptus, urban areas and roads. In the analyzed period there was an increase of about 30,000 hectares of eucalyptus planted area in the region, representing an increase of approximately 60 %.The pseudo r² value obtained was 0.23 and the equation coefficients and logistic regression were as follows: $\text{logit (Eucalipto)} = -2.1273 - 0.004137 * \text{Eucal_DIST} - 0.013844 * \text{Rodov_DIST} - 0.000466 * \text{Urbano_DIST} - 0.002677 * \text{Flor_DIST}$. A scenario projection for the year 2042 indicates a breakthrough of eucalyptus in the area, with the potential to trigger various environmental and territorial conflicts, as well as loss of connectivity in the landscape.

Keywords: Mosaic, Monoculture, Remote Sensing, Spatial Analysis

4.1 Introdução

O plantio concentrado de um vegetal exclusivamente, denota a criação de uma monocultura. O eucalipto é uma monocultura que vem apresentando crescimento vertiginoso no Brasil nos últimos anos. Normalmente, este formato de cultivo é visto como danoso, vindo de encontro ao desenvolvimento sustentável. Existem evidências deste viés negativo, porém, vantagens também podem ser verificadas neste sistema de monocultura. Dentre as desvantagens, podemos destacar a redução da biodiversidade, exaustão e degradação do solo, comprometimento das fontes hídricas superficiais e subterrâneas. Além destas, existem também riscos sociais e econômicos, tais quais dependência de variações mercadológicas, que podem afetar toda a cadeia produtiva, assim como a mão de obra envolvida e a disseminação de pragas e doenças, tendo em vista a alteração do ambiente natural antes alocado. Como vantagens, ressalta Spedding (1997), que as plantações de eucalipto, quando manejadas adequadamente podem ajudar na recuperação de áreas degradadas, assim como combater o desmatamento de áreas nativas e além disso, em termos econômicos e comerciais, estes empreendimentos podem ser altamente lucrativos, tendo em vista a regularidade da colheita e a grande demanda dos subprodutos associados na escala produtiva.

A paisagem da região centro-norte do Estado de Minas Gerais vem sendo moldada por ações antrópicas específicas, umas das mais expressivas tem sido a implantação de grandes projetos de monocultura para fins siderúrgicos, que tiveram início por volta dos anos de 1970, dentro do escopo desenvolvimentista do governo militar. Atualmente, as plantações de eucalipto têm grande participação no cenário produtivo da região e movimentam os setores que necessitam do carvão vegetal e da madeira para celulose e como fonte de energia. Em tempos recentes, o avanço das plantações de eucalipto continua sendo notado na região, principalmente após a aprovação da Lei Estadual 18.365 em 2009 que definiu como meta a redução do consumo de carvão de vegetação de origem nativa até o limite máximo de 5% do consumo total por ano a partir de 2019, criando uma expectativa de crescimento ainda maior neste setor.

O presente artigo foi conduzido com o objetivo de dimensionar a taxa de crescimento de eucalipto na área de estudo no período de 1984 a 2013, assim como também,

elaborar previsões de um cenário futuro para a área investigada. Para atingir tal objetivo foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto para a detecção e mapeamento da expansão do eucalipto em um período de 29 anos (1984 à 2013) e para o cálculo da influência de variáveis espacialmente alocadas na expansão do eucalipto e fornecimento de uma previsão futura foi realizada uma Regressão Logística.

4.1.1 Regressão Logística

O método estatístico de Regressão Logística tem aplicação em situações nas quais as variáveis respostas são discretas e os erros não são normalmente distribuídos. O modelo de regressão logístico é utilizado quando a variável resposta tem caráter qualitativo, com dois resultados possíveis. Sendo assim, a variável resposta é dicotômica, ou seja, tem duas possibilidades, sim ou não, podendo esta resposta (Y_i) ser codificado de forma binária (1) em 0 ou 1 (HOSMER & LEMESHOW, 2000).

$$Y_i = 1 \rightarrow P(Y_i = 1) = \pi_i \quad (1)$$

$$Y_i = 0 \rightarrow P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i$$

A partir do conhecimento das probabilidades de sucesso (p) e fracasso (q) de uma determinada variável, o modelo de regressão logístico irá extrair a chance (*odds*) (2) para as variáveis binárias.

$$odds = \frac{p}{1-p} = \frac{p}{q} \quad (2)$$

O *logit* (3) equivale ao logaritmo natural de chance, sendo que a função logística é dada pelo inverso do *logit*, viabilizando desta forma a transformação deste em probabilidade.

$$logit(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \log(p) - \log(1-p) \quad (3)$$

Para se comparar a chance de sucesso de um grupo em relação a outro grupo, avalia-se a razão de chance (*odds ratio*) (4), sendo esta a diferença entre o *logit* de duas probabilidades, que equivale ao logaritmo da razão de chances.

$$\log(Odds\ Ratio) = \logit(p1) - \logit(p2) \quad (4)$$

Além de uma aplicação descritiva, a regressão logística também tem aplicação preditora, visto que pode fornecer, por exemplo, a indicação se uma determinada área poderá ter ou não uma plantação de eucalipto, baseando-se em alguns determinantes espaciais, tais quais, características de relevo, disponibilidade hídrica, proximidade de áreas urbanizadas, entre outros. Estes determinantes espaciais constituem as variáveis explicativas ou preditoras do modelo. Quando a regressão possui uma única variável preditora é chamada de regressão simples, porém se determinada regressão possuir diversas variáveis preditoras ou explicativas, esta será uma regressão logística múltipla (5).

$$Y_i = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3}} \quad (5)$$

Dentre os métodos para o ajuste do modelo logístico com a estimativa dos coeficientes de regressão e seus erros padrões, a máxima verossimilhança é o mais rotineiramente utilizado (TABACHNICK & FIDELL, 2007). Para o teste da significância e calibração do modelo buscando o melhor ajuste, podem ser avaliados parâmetros como o *pseudo R2* ou teste de Wald.

Observando as características expostas, percebe-se que a técnica de regressão logística múltipla é bastante adequada para análises que possuem o objetivo de prever a transição do uso e ocupação do solo num determinado período, por meio da combinação de variáveis explicativas da mudança em questão. A aplicação de tais metodologias tem tido grande efetividade em diversas áreas de investigação e na literatura se encontram alguns resultados publicados com ênfase em estudos que possuem direcionamento para a análise de mudanças de tipologias de uso do solo (SCHNEIDER & PONTIUS, 2001; ASPINALL, 2004; ROUGET et al., 2004).

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 Área de estudo

A área do presente estudo é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral, localizado na porção meridional da grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço, conforme apresentado na (Figura 16) Serra do Espinhaço é uma reserva da Biosfera reconhecida pela UNESCO, sendo esta a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. Um modelo de gestão de mosaico engloba diversas áreas protegidas em seu limite, sendo estas denominadas de Unidades de Conservação (UC's), podendo estas ser de Proteção Integral (com normas mais restritivas, impedindo diversas atividades antrópicas) ou de Uso Sustentável (aliam a conservação com atividades antrópicas, tais quais a monocultura de eucalipto). O foco deste modelo de gestão é a integração, buscando o melhor entendimento entre os anseios da população local, governo, terceiro setor e setor privado buscando assim melhores maneiras para a conservação da biodiversidade. O Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço possui uma área total de aproximadamente 1.892.447 hectares, possuindo em seus limites ecossistemas e geossistemas de grande valor.

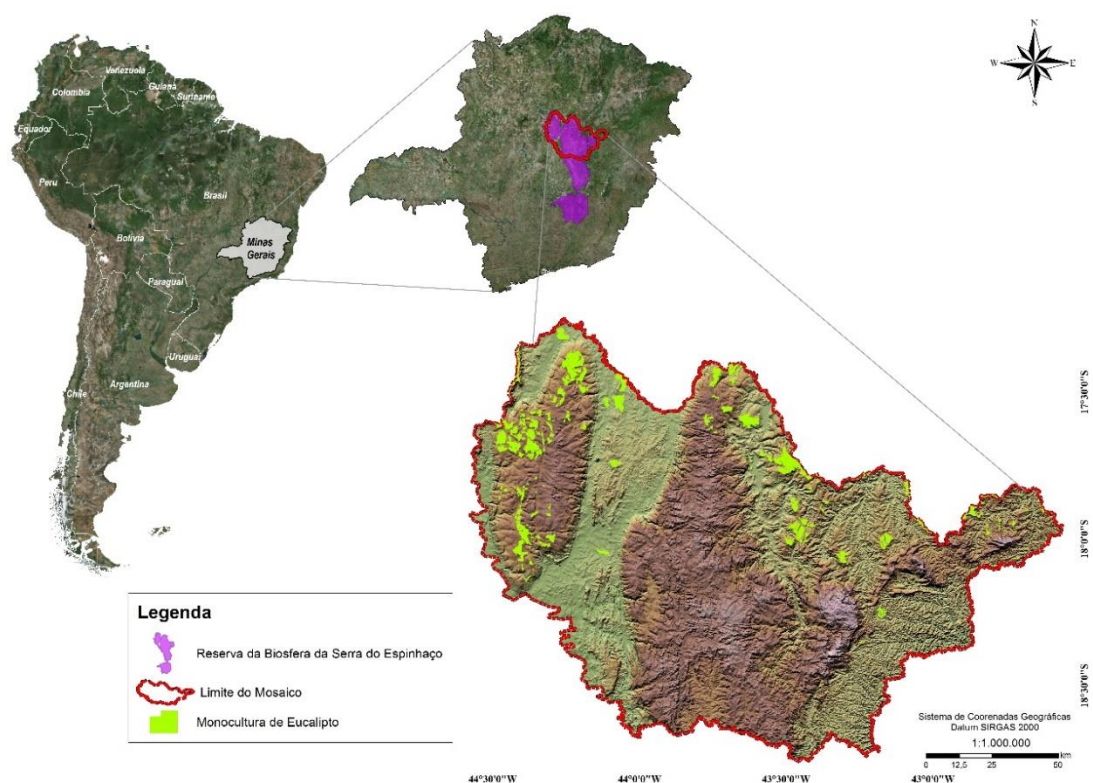


Figura 16- Mapa de localização da área de estudo

4.2.2 Imagens de satélite

Para a análise da dinâmica da configuração espacial das plantações de eucalipto na área de estudo, foi realizado um mapeamento temático utilizando técnicas de PDI. Foram utilizadas imagens de satélites da missão *LandSat*. Para o ano de 1984 foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite *LandSat 5* captadas pelo sensor *Thematic Mapper (TM)*. As imagens deste sensor são muito utilizadas em análises multitemporais, visto o grande tempo de operação deste satélite, que forneceu imagens entre o período de 1984 a 2012. Para o mapeamento temático da paisagem no ano de 2013 foram utilizadas imagens do satélite *LandSat 8*, sendo este o mais recente da missão *LandSat*, fazendo parte do projeto *The LandSat Data Continuity Mission (LDCM)*, que possibilitará a continuidade na obtenção de imagens periódicas da superfície terrestre em diferentes resoluções espaciais e espectrais. Estes dois satélites possuem sensores capazes de prover imageamento da superfície global, entre outras, com resolução espacial de 30 metros (Visível, Infravermelho Próximo e Infravermelho de Ondas Curtas).

4.2.3 Processamento digital de imagens

Os processamentos realizados envolvem a utilização de algoritmos implementados em programas de PDI. O pré-processamento, realce da imagem e posterior classificação da imagem foram realizados no programa para processamento de imagens *ERDAS Imagine*. Na fase de pré-processamento as imagens foram reprojetaadas para o datum utilizado no estudo (SIRGAS 2000 - Fuso 23k Sul) e para a correção atmosférica foi utilizado o método *Dark Object Subtraction* (DOS) (CHAVEZ, 1988). Para o realce da imagem foi aplicado um realce linear de histograma. O realce de contraste produz uma ampliação do intervalo original dos níveis de cinza, de forma que eles são exibidos num intervalo maior. Este processo não aumenta a quantidade de informação contida na imagem, o objetivo é apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete. Devido à grande extensão da área foi necessário a realização do procedimento de mosaico entre as 5 cenas do satélite para total recobrimento da área, sendo estas de órbita/ponto: 217/72, 217/73, 218/72, 218/73 e 219/72.

Para a classificação das imagens neste estudo, foi utilizado um classificador supervisionado por máxima verossimilhança (MAXVER). Na classificação supervisionada, o usuário seleciona amostras representativas para cada uma das classes que se deseja identificar na imagem. As classes selecionadas para esta classificação foram: água, área urbanizada, vegetação arbórea, vegetação herbácea e solo exposto. Foram adquiridas 30 amostras de treinamento para cada classe. Após a classificação foi realizada a interpretação visual da imagem, procedimento de pós-classificação no qual um especialista humano extrai as informações baseando-se na inspeção visual da imagem. Este procedimento foi realizado com apoio de um SIG, o programa ArcGIS 10.1. Esta etapa foi realizada para a inserção da classe temática eucalipto, que é foco da presente investigação e também da classe campo rupestre, que é uma tipologia característica da área estudada. Justifica-se esta etapa pelo fato de que a classe vegetação arbórea inclui as espécies nativas da região e também as exóticas de porte arbóreo, tais quais o eucalipto. Levando em conta que o formato espacial proveniente de sua plantação em solo é característico, foi possível realizar a distinção das áreas com plantação de eucalipto. Para a classe Campo Rupestre partiu-se do pressuposto sustentado por diversas investigações científicas, de que

esta tipologia ocorre principalmente acima de 900 m de altitude, em montanhas cujas rochas são de origem pré-cambriana que foram remodeladas por movimentos tectônicos, estando associados, principalmente, a afloramentos de quartzito, arenito e minério de ferro.

4.2.4 Detecção e previsão da expansão do eucalipto

A detecção da possível expansão ou redução em termos quantitativos dos hectares (ha) plantados de eucalipto foi realizada de forma generalizada para todo o período analisado (1984 – 2013), por meio de uma álgebra (subtração) entre as camadas de mapeamento categórico dos anos de 1984 e 2013.

Para a estimativa da influência de variáveis espacialmente alocadas na expansão das plantações de eucalipto com o objetivo de proporcionar uma previsão futura de tendência foi aplicado o procedimento de regressão logística múltipla. Para aplicação desta técnica foi utilizado o módulo LOGISTICREG do programa IDRISI Selva (EASTMAN, 2011).

Inicialmente foi necessário selecionar variáveis que exercem influência no processo de expansão da monocultura do eucalipto e criar imagens raster para representá-las. A seleção destes determinantes espaciais foi direcionada com base em estudos do autor principal deste artigo e também por meio de indicações feitas por um grupo multidisciplinar de especialistas com conhecimento da realidade espacial estudada. Esta forma de definição de variáveis é conhecida como *knowledge-driven evaluation* (BONHAM-CARTER, 1994). Foram selecionadas como variáveis independentes as distâncias de áreas urbanas, das rodovias, das bordas de floresta nativa e das bordas de plantações de eucalipto.

A próxima etapa foi a criação de uma imagem dicotômica de plantações de eucalipto no período analisado (1984-2013), em outras palavras, foi criada uma imagem representando as áreas que não eram eucalipto em 1984 e se tornaram eucalipto no ano de 2013. Essa imagem será a variável dependente a ser utilizada na regressão logística. Para a criação das imagens de distância e da imagem dicotômica em formato

raster, foram utilizados os comandos IMAGE CALCULATOR e DISTANCE do programa IDRISI Selva.

De posse das imagens representando as variáveis preditoras e da imagem dicotômica será possível realizar a regressão logística. Inicialmente foram utilizadas como variáveis independentes as imagens de distância de 1984, buscando assim a identificação da influência destas variáveis na formação do cenário de plantações de eucalipto vigente em 2013. Após a constatação da influência das variáveis é possível a criação de um cenário futuro, ou seja, realizar uma previsão de como se dará a expansão do eucalipto na área, utilizando agora como variáveis independentes, as imagens de distância de 2013. Dentro desta lógica, iremos criar um cenário para o ano de 2042, ou seja, após decorridos 29 anos da última constatação provida pelo mapeamento temático das plantações de eucalipto.

4.3 Resultados e discussões

A avaliação da classificação das imagens obteve um resultado de índice *Kappa* de 0,78 para 1984 e 0,79 para 2013 que, de acordo com a tabela de avaliação deste índice, indica uma classificação de boa qualidade, com pouca confusão entre as classes, resultando assim em mapeamentos confiáveis para as respectivas análises a serem realizadas para os anos de 1984 e 2013 (Figura 17).

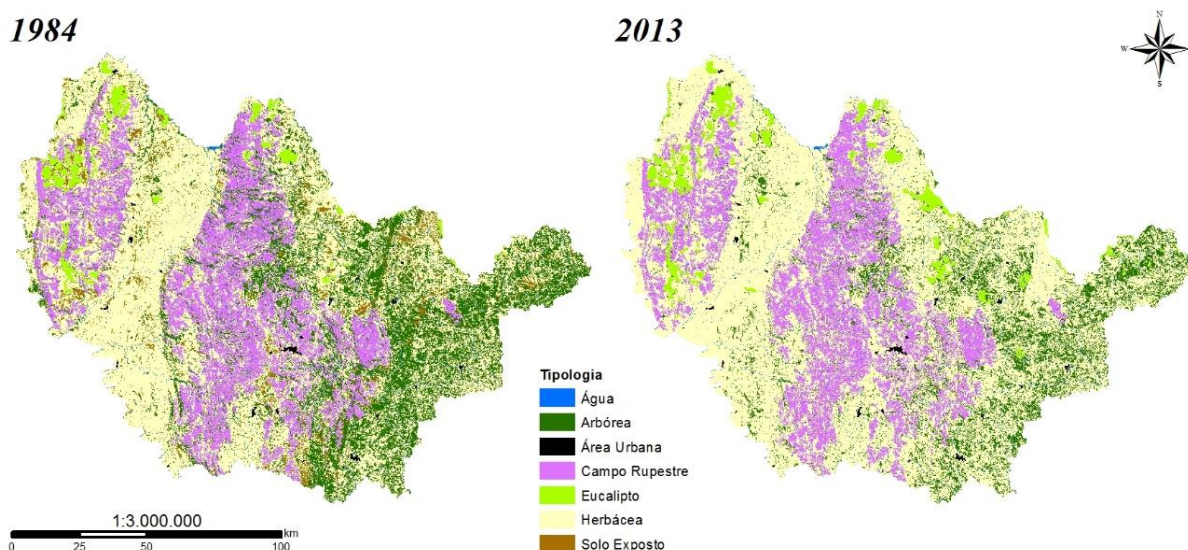


Figura 17 - Mapeamento das tipologias de uso e ocupação do solo (1984 – 2013)

A paisagem em estudo apresenta área total de aproximadamente 1.892.447 ha, sendo que, mais da metade da área é formada por vegetação do tipo herbácea (Figura 18). Nessa classe, o presente mapeamento engloba as pastagens, os campos limpos e áreas de cultivo, exceto as áreas com plantações de Eucalipto, que foi considerada como uma classe única. Mesmo não havendo condição de divisão de distinção da classe natural campo limpo pela classificação da imagem de satélite, podemos dizer, por conhecimento in loco e até mesmo pelo padrão da paisagem observado na imagem, que a classe maior contribuinte para o alto valor desta tipologia é a pastagem.

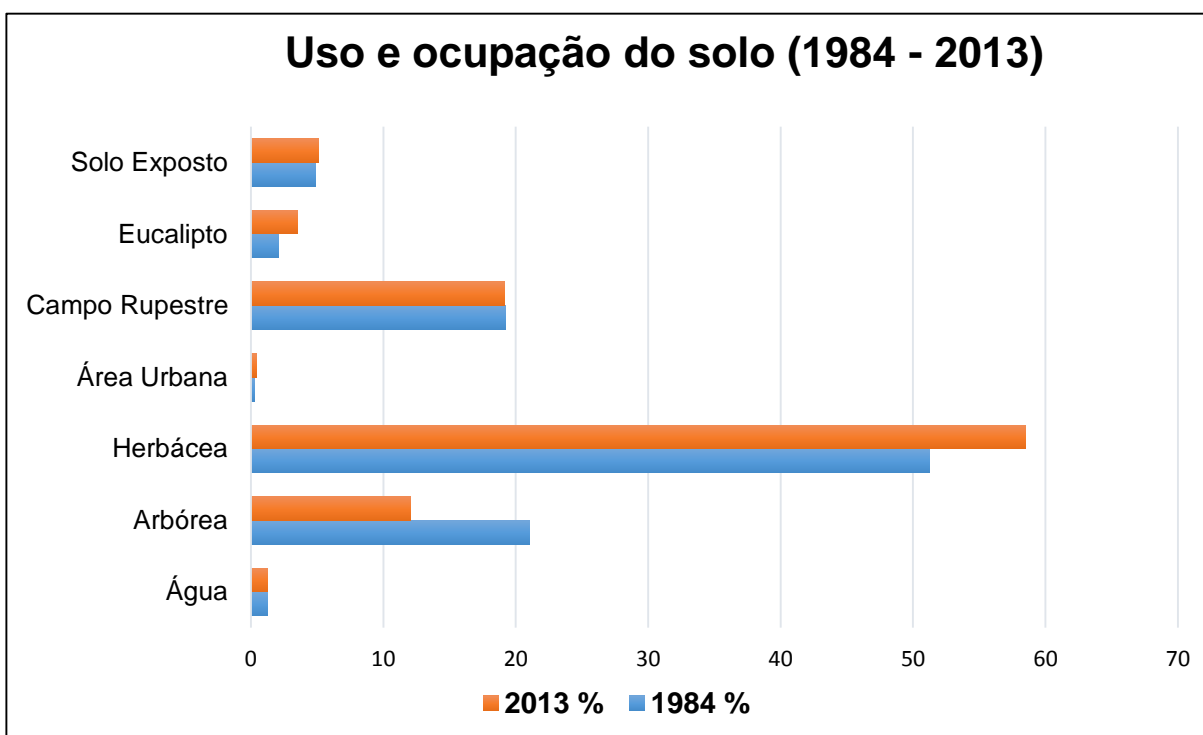


Figura 18 - Gráfico comparativo da mudança do uso do solo (1984-2013)

De acordo com os dados da (Tabela 3) percebe-se que, no período analisado, todas as tipologias de vegetação tiveram queda de área existente, exceto a tipologia eucalipto, que praticamente dobrou de tamanho, com um aumento de quase 30.000 ha de área plantada. Nota-se também uma grande diminuição de espécies arbóreas nativas, representando em 2013 cerca de 12 % da área total, contra os 21 % que apresentava em 1984.

Tabela 3 - Cálculo de área das tipologias de uso do solo

TIPOLOGIA	1984		2013	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Água	24.126,10	1,27	24.115,90	1,27
Arbórea	397.896,00	21,03	228.066,00	12,05
Herbácea	969.391,00	51,22	1.106.829,17	58,49
Área Urbana	5.406,04	0,29	7.405,11	0,39
Campo Rupestre	364.303,00	19,25	362.971,00	19,18
Eucalipto	38.787,00	2,05	66.078,90	3,49
Solo Exposto	92.538,30	4,89	96.981,36	5,13
TOTAL	1.892.447,44	100	1.892.447,44	100

A partir da aplicação do método de regressão logística múltipla, utilizando como variáveis independentes as seguintes imagens de distância: distâncias de áreas urbanas (urbDIST), distância de rodovias (rodDIST), distância das bordas de floresta nativa (floDIST) e distância das bordas de plantações de eucalipto (eucDIST) (Figura 19). Os valores dos coeficientes da regressão logística obtidos foram os apresentados na (Equação 6). O valor do parâmetro pseudo-R² obtido foi de 0,2303.

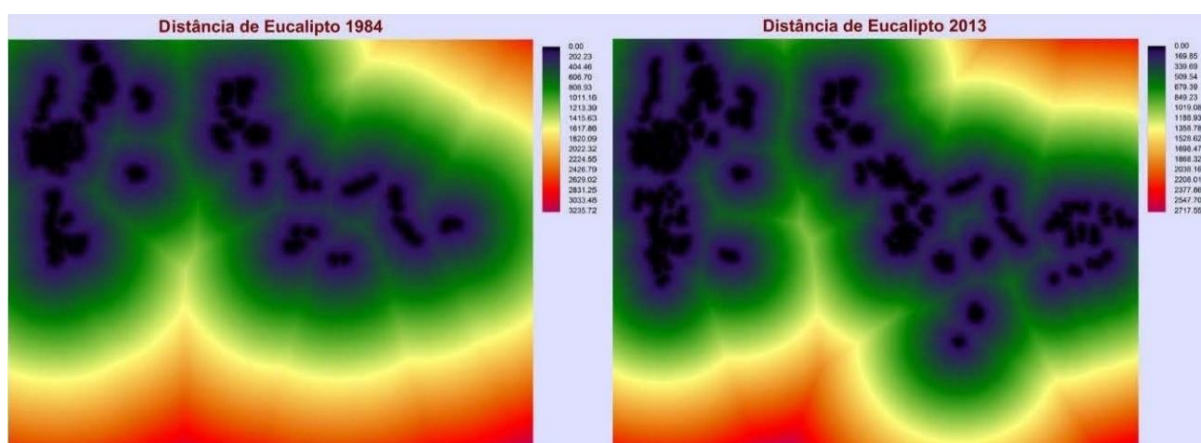


Figura 19 - Exemplo de imagem de distância utilizada para Eucalipto (1984-2013)

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(euc) = & -2.1273 - 0.004137 * eucDIST - 0.013844 \\
 & * rodDIST - 0.000466 * urbDIST - 0.002677 * floDIST
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

O pseudo- R^2 apresenta valores entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 indicam melhor ajuste. O valor do parâmetro encontrado foi baixo, indicando pouco ajuste do modelo, podendo este ser considerado insatisfatório para a explicação do fenômeno analisado. Mas este fato não invalida a metodologia, servindo inclusive como um guia para uma melhor calibração do modelo, com a escolha ou combinação de outras determinantes espaciais que possam proporcionar um melhor ajuste do modelo.

Com base no modelo gerado, uma projeção de cenário para o ano de 2042 (Figura 20) indica um grande avanço do eucalipto na área. Observou-se que a tendência de expansão do eucalipto foi delineada, em grande parte, nas adjacências de áreas já ocupadas por plantações de eucalipto. Tal situação é coerente, pois o padrão dinâmico de crescimento desta tipologia tende a ocorrer nas proximidades de áreas já plantadas, visto a posse de propriedade das terras e a infraestrutura e logística para colheita e transporte da produção. Nota-se também, que algumas áreas de expansão do eucalipto foram delineadas no interior de UC's de Proteção Integral (Figura 20), situação com potencial para vir a desencadear diversos conflitos ambientais e territoriais, assim como a perda da conectividade na paisagem.

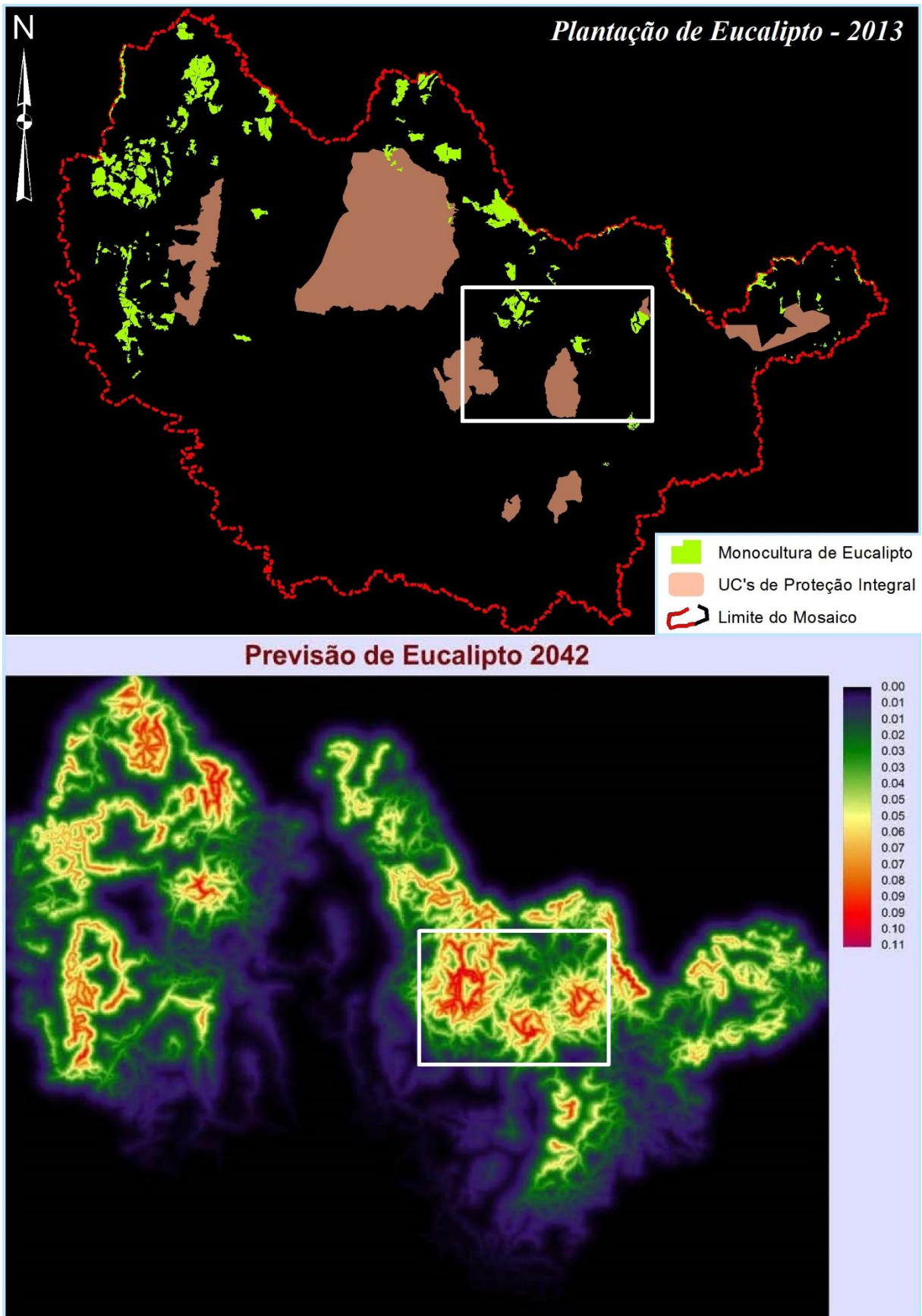


Figura 20 - Cenário de plantações de eucalipto para o ano de 2042

4.4 Conclusão

A análise temporal da expansão da monocultura de eucalipto, permitiu avaliar a crescente tendência dessa tipologia nos limites do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço. A expansão da atividade de monocultura de eucalipto pode vir a representar impactos negativos para a região, sob o ponto de vista ambiental. Dentro desta temática, a redução da biodiversidade e alteração do regime hídrico são os mais preocupantes.

Para viabilizar um melhor ajuste do modelo e a construção de cenários mais realísticos, indica-se a calibração do modelo com utilização de outras variáveis preditoras, tais quais os limites de áreas protegidas, rede de drenagem, dados de estimativa de população, informações acerca de outros tipos de produção agrícola e também de outras atividades industriais, entre outras, que tenham potencial para atuar como determinante espacial na explicação da dinâmica de expansão do eucalipto.

Referências bibliográficas

ASPINALL, R. Modelling land use change with generalized linear models: a multi model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. **Journal of Environmental Management**, v. 72, p. 91-103, 2004.

BONHAM-CARTER, G. **Geographic Information Systems for Geoscientists; modelling with GIS**. Ottawa, Pergamon. 1994.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**. V. 24, p.459-479, 1988.

EASTMAN, J.R. IDRISI Selva: **Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: ClarkLabs. 2011. 327 p.

HOSMER, D.W., LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**, 2nd ed. New York; Chichester, Wiley. 2000

ROUGET, M., RICHARDSON, D.M., MILTON, S.J., POLAKOW, D. Predicting invasion dynamics of four alien Pinus species in a highly fragmented semi-arid shrubland in South Africa. **Plant Ecology** v.152, p. 79-92, 2004.

SCHNEIDER, L., PONTIUS, R.R. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.85, p. 83-94, 2001.

SPEEDING, C. Sustainable agriculture in developed and developing countries in the future. Réduit: **AMAS/Food and Agricultural Research Council**. 1997.

TABACHNICK, B.G., FIDELL, L.S. **Using multivariate statistics**. Boston, Pearson Education, Inc. 2007.

5 ANÁLISE ESPACIAL DAS INCERTEZAS ASSOCIADAS À ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS DE FATORES QUE INFLUENCIAM NA CONECTIVIDADE NA PAISAGEM

Resumo

Identificar locais com potencial para permitir a conectividade entre áreas protegidas, num contexto no qual a matriz circundante possui muitos contrastes de tipologias de uso do solo, tem se tornado uma preocupação no âmbito da tentativa de conservação da biodiversidade. Metodologias que possam auxiliar na identificação destes locais aptos à conectividade são de grande valia para uma gestão mais efetiva das áreas com necessidade de proteção, principalmente em áreas muito extensas, de abrangência regional. O presente estudo foi desenvolvido em um mosaico de áreas protegidas que possui área total de aproximadamente 1.900.000 hectares, englobando 19 áreas protegidas em seu limite. A análise da conectividade estrutural na paisagem envolve o entendimento do relacionamento de um montante considerável de variáveis espacialmente intrínsecas na paisagem. Neste estudo foi aplicada uma Análise de Multicritérios para investigar o relacionamento entre determinadas variáveis selecionadas. Para analisar o quão robusto foi o resultado da análise, foi utilizada uma análise espacial das incertezas por meio do método de Monte Carlo. O presente estudo permitiu a identificação de cinco áreas com melhor adequabilidade para servirem de conectores entre habitats na paisagem.

Palavras-chave: Conectividade Estrutural, Análise de Sensibilidade, Biodiversidade

Abstract

Identifying potential sites to allow connectivity between protected areas, in a context where the surrounding matrix has many contrasting types of land use, has become a concern in the attempt to conserve biodiversity. In this study, structural connectivity in the landscape was evaluated by focusing on spatial arrangements of habitat patches and their connections. Methodologies that assist in identifying locations suited to connectivity are of great worth for a more effective management of areas in need of protection, mainly in very large areas with regional scope. This study was developed in a mosaic of protected areas of approximately 1.9 million hectares, encompassing 19 protected areas within its boundaries. We note that structural connectivity in the landscape analysis involves understanding relationships between considerable amounts of spatially intrinsic variables in the landscape. A Multicriteria Analysis procedure for investigation of relationships among selected variables was applied. To analyze the robustness of the result, a spatial uncertainty analysis using the Monte Carlo method was performed. This investigation allowed the identification of five areas with the ability to serve as connectors between habitats in the landscape.

Keywords: structural connectivity, sensitivity analysis, biodiversity

5.1 Introdução

A preservação de áreas naturais é a forma mais primária para a conservação da diversidade biológica, existindo em todo o planeta, áreas delimitadas com intuito de proteção, haja vista sua singularidade, beleza, nível de ameaça, entre outros parâmetros que caracterizem a necessidade de uma efetiva gestão e manejo sustentável dos recursos naturais ali presentes. De acordo com IUCN (1994) uma área protegida se caracteriza como uma área de terra ou mar especialmente dedicada à proteção e manutenção da diversidade biológica e cultural associadas, sendo gerida por meio de instrumentos legais. Muitas vezes estas áreas protegidas são criadas ou podem vir a se tornar fragmentos isolados em meio a áreas que já sucumbiram à pressão antrópica e pensando num cenário mais realístico, o sucesso para a conservação da biodiversidade no planeta, depende da capacidade de sobrevivência da biota em paisagens fragmentadas com intervenção do homem (BENNETT, 2003). De acordo com Noss et al (1997) em áreas com avançados estágios de fragmentação, devem ser elaborados eficientes modelos de planejamento que busquem conciliar a ocupação humana com a continuidade das comunidades naturais.

Mesmo havendo diversos tipos e categorias de áreas protegidas em todo o planeta, muitas vezes, o estabelecimento destas áreas não é acompanhado por um processo de gestão eficaz, havendo assim a necessidade de atualização dos conceitos de planejamento ou mesmo de uma mudança radical na forma de entender os caminhos da conservação da diversidade biológica. Existe uma tendência atualmente, de que o planejamento e gestão de áreas protegidas sejam coordenados e integrados, em vez de serem tratados de forma isolada. O sucesso em longo prazo das áreas protegidas deve ser visto à luz da busca de padrões mais sustentáveis de desenvolvimento (DAVEY et al., 1998). A gestão de áreas protegidas de forma isolada não é suficiente para a conservação, sendo necessária uma política de gestão de mosaicos de áreas protegidas, visto que estas áreas são enfaticamente influenciadas pela matriz envolvente (METZGER, 2000). Entender as consequências das mudanças ocorridas nos habitats e desenvolver efetivas estratégias para a manutenção da biodiversidade em paisagens modificadas é um dos maiores desafios de cientistas e gestores ambientais na atualidade.

A conectividade na paisagem se exterioriza a partir do arranjo espacial dos fragmentos de habitats (Forman & Baudry, 1984), demonstrando assim a capacidade da paisagem em facilitar os fluxos biológicos e a intensidade da movimentação de organismos entre os habitats. Lang & Blaschke (2009) afirmam que as características estruturais da paisagem são observáveis, descritíveis e quantificáveis, sendo também indicadoras dos processos que contribuíram para a conformação atual da paisagem. A análise da estrutura da paisagem trata do estudo do mosaico da paisagem que aparece como padrão e ordenamento espacial específico das unidades de paisagem numa determinada seção de pesquisa. De forma geral, avaliar a conectividade na paisagem consiste em identificar e caracterizar os aspectos que facilitam ou dificultam a conexão entre os diversos elementos presentes na paisagem, e, de forma crescente, este tipo de análise tem sido empregado no planejamento ambiental e na implantação de políticas de conservação da biodiversidade.

A espacialidade é característica inerente aos sistemas ambientais e neste sentido, métodos de análise espacial podem proporcionar grande eficácia na busca de entendimento e soluções (MCHARG, 1969). Metodologias que combinam a aplicação de SIG com técnicas de Análise Multicritério tem vasta aplicação na área de planejamento ambiental. Esta integração tende a evoluir no sentido de proporcionar ao usuário, métodos para avaliar diferentes alternativas com base em múltiplos critérios, observando assim os conflitos que transitam entre os objetivos (Carver, 1991). Tais metodologias agregam a capacidade do SIG de tratar a relação espacial entre os objetos geográficos e prover uma análise e visualização espacial desta informação, com a grande capacidade e quantidade de técnicas direcionadas à estruturação de decisão proporcionada pela Análise de Multicritérios. A aplicação destas metodologias tem tido grande efetividade em diversas áreas de investigação (Malczewski, 2007) e na literatura se encontram alguns resultados publicados com ênfase em estudos que possuem direcionamento para a análise da conectividade na paisagem (STORE & KANGAS, 2001; MARULLI & MALLARACH, 2005; FERRETTI & POMARICO, 2013). Um processo metodológico conhecido como *Sensitivity Analysis* (SA) tem sido investigado com o objetivo de contabilizar a incerteza inerente ao processo de Análise de Multicritérios apoiado por SIG (LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWSKI, 2008; LIGMANN-ZIELINSKA et al., 2012). Essas incertezas podem ser provenientes de inconsistências nos dados utilizados para a análise, incoerências na

valorização de aspectos ambientais, entre outros. De acordo com Ligmann-Zielinska et al (2012) tais análises devem ser cuidadosamente avaliadas para assegurar a sua robustez sob uma ampla gama de condições possíveis, sendo esta robustez definida como uma resposta mínima do modelo a mudanças nos valores de entrada.

Neste artigo, o foco será a avaliação do arranjo espacial dos fragmentos de habitat, sendo assim, o objetivo é a investigação da conectividade estrutural da paisagem na área de estudo. Buscando alcançar o objetivo será utilizada uma metodologia de Análise de Multicritérios apoiada em SIG para análise e combinação dos critérios que influenciam na conectividade da paisagem e para estimar a robustez dos resultados alcançados nesta análise será aplicada uma SA.

5.2 Revisão Bibliográfica

5.2.1 Conectividade na Paisagem

Em meados da década de 80 tem início às discussões sobre o conceito do termo conectividade (MERRIAM, 1984; FAHRIG & MERRIAM, 1985; FORMAN & GODRON, 1986), desde então o termo vem passando por evoluções conceituais, principalmente no que tange a subdivisão do termo em conectividade estrutural ou funcional. De acordo com Lindenmayer & Fischer (2006) a conectividade representa na paisagem a interligação de processos ecológicos em múltiplas escalas espaciais. A conectividade é também definida como a capacidade de movimento dos organismos entre as manchas de habitats estruturais da paisagem e suas relações funcionais nesse meio (WHIT, 1997). Segundo Taylor et al (1993) a conectividade significa a habilidade de um organismo se movimentar por meio de habitats separados. A conectividade expressa, em muitos aspectos, o oposto da fragmentação (NOSS, 1992). Podemos pensar então na conectividade como sendo a existência de um caminho espacialmente localizado entre duas manchas de habitat, capaz de permitir o trânsito e as relações funcionais da biodiversidade.

Com relação à dissociação entre conectividade estrutural e funcional, existem autores que não acham pertinente esta subdivisão, entendendo que o termo conectividade por si só abrange todas as formas de conexão entre os habitats, diferindo apenas na

maneira de quantificação, ora direcionada para as relações funcionais entre os organismos e ora voltada para o formato estrutural dos elementos da paisagem (TAYLOR ET AL., 1993). Porém, atualmente existe uma tendência nesta dissociação e diversos estudos são realizados com foco na funcionalidade (JÓRDAN et al., 2007; SAURA & TORNÉ, 2009). São estudos que investigam os habitats de uma matriz, juntamente com seus elementos de ligação na paisagem, sob o ponto de vista de espécies alvo. Desta forma analisam o comportamento de determinadas espécies e suas peculiaridades em relação ao habitat, provendo o entendimento da dinâmica e movimentação destas espécies em habitats heterogêneos. De acordo com Lang & Blaschke (2009) apesar de serem estudos fundamentais, dificilmente são aplicados em grande escala, pois normalmente são estudos que analisam apenas uma espécie focal e tendo vista que o planejamento de grandes áreas envolvem diversos elementos da paisagem, esta restrição não é interessante. Buscando alternativas, são desenvolvidos estudos com grupos de populações coexistentes no habitat, como exemplo bem estruturado, temos a Teoria das Metapopulações (HANSKI & GAGGIOTTI, 2004) apontando que, se um determinado remanescente isolado não é capaz de manter uma espécie, um conjunto destes remanescentes bem conectados poderia ser viável.

As pesquisas com enfoque na conectividade estrutural (Hargrove et al., 2004; Goez et al., 2009) são direcionadas para os atributos físicos da paisagem (tamanho, forma, etc.), sem um direcionamento específico para a habilidade de dispersão da biota. Englobam a aplicação de métricas para a análise dos elementos estruturais da paisagem. Fahrig & Merriam (1994) afirmam que o entendimento da estrutura espacial da paisagem tem importância central na compreensão dos efeitos da fragmentação sobre as populações dos diversos habitats, sendo que a estrutura espacial da paisagem consiste na relação espacial entre as partes de habitats e a matriz na qual estão incluídos. Segundo Rouget et al (2006) a conectividade em paisagens fragmentadas ocorre de forma assimétrica, os autores observaram que a direção preferencial do movimento tem relação com a combinação de fatores, tais quais a facilidade de deslocamento em relação a topografia e proximidade do recurso natural prioritário e predileto. Críticas são feitas a este conceito no sentido de que, somente avaliar a conformação estrutural dos elementos da paisagem seria insuficiente para demonstrar a real conexão em termos biológicos.

Uma visão interessante sobre o conceito de conectividade é apresentada por Calabrese & Fagan (2004) ao distinguir as formas de caracterização da conectividade em três formatos, sendo eles: (1) Conectividade Estrutural (levando em conta os atributos físicos da paisagem, sem foco na habilidade de dispersão da biota); (2) Conectividade Potencial (caracterizada como uma combinação dos) atributos físicos da paisagem com informações superficiais sobre a habilidade de dispersão, indicando qual o grau de conectividade propiciada pela paisagem para tais espécies e, por fim (3) Conectividade Atual (baseada na observação individual da dispersão e dinâmica da biota, com concretas estimativas sobre a interatividade entre os elementos da paisagem e as espécies em seus habitats).

A configuração da conectividade na paisagem pode transcorrer sob algumas perspectivas, apresentando níveis diversos de capacidade conectiva, qualidade e padrões espaciais na superfície terrestre. A conectividade pode ser alcançada por meio de algumas estratégias, sendo que a abordagem mais adequada depende do nível de modificação e peculiaridades do habitat na paisagem. Observando os conceitos instituídos dentro do escopo da Ecologia da Paisagem por Forman & Godron (1986) temos que a paisagem possui uma estrutura formada por três elementos, sendo eles a Matriz, a Mancha e o Corredor. A partir destas três formas são perceptíveis padrões estruturais na paisagem capazes de permitir a conectividade entre habitats, tais quais os mosaicos, onde ocorre um emaranhado de tipologias de habitats, tais quais a pastagem, florestas nativas, colheitas, entre outras. Os corredores ecológicos, que podem ser entendidos como grandes avenidas por onde a biodiversidade pode se movimentar entre os habitats e os trampolins de habitat, nos quais a conectividade é atingida por meio de uma sequência de movimentos curtos entre manchas de habitat dispersas na matriz.

5.2.2 Análise de Incertezas

O propósito da análise de incertezas é a descrição e quantificação do risco na escolha de uma determinada opção decisória (CHEN et al., 2011). A finalidade desta análise é estimar a robustez dos resultados alcançados na análise multicritérios, por meio da observação e controle dos efeitos que mudanças nos pesos dos critérios podem gerar

na decisão final. Neste sentido, é possível estimar o grau de influência de cada critério inserido em determinada análise, enriquecendo assim a análise do ambiente em questão.

Um dos métodos mais utilizados e que provê melhores resultados para a avaliação das incertezas em modelos de decisão é a Análise de Sensibilidade. Existem diversos métodos de Análise de Sensibilidade. Saltelli et al (2000) agrupam estes métodos em três classes: (1) métodos de seleção, quando se trata de uma situação onde se tenha um grande número de parâmetros de entrada, mas apenas alguns destes possuem efeito significativo na resposta de saída; (2) métodos locais, quando a análise se concentra em fatores locais e (3) os métodos globais utilizados para a análise de vários parâmetros simultaneamente.

O uso das técnicas de análise sensitiva globais é indicado quando as variáveis de entrada podem ser afetadas por incertezas de diferentes ordens de magnitude (SALTELLI et al., 2000). Para a avaliação do impacto das incertezas nos pesos dos critérios indicados, uma técnica de análise sensitiva global muito utilizada em análises ambientais e que pode oferecer bons resultados é a Análise Monte Carlo (ZHOU et al., 2003; JEANNERET et al, 2003; CARMEL et al., 2009; LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWISKI, 2014; FONSECA et al., 2014).

Segundo Vose (2000) o método de Monte Carlo seleciona valores aleatoriamente de acordo com a distribuição de probabilidade definida. A simulação de Monte Carlo produz intervalos com distribuições de valores de possíveis resultados. Ao jogar com essas possíveis distribuições de probabilidades de ocorrência de certo fenômeno, a incerteza inerente ao processo tende a ser descrita com maior precisão. Neste sentido, entende-se que a simulação de Monte Carlo é um processo de amostragem, no qual o interesse é a observação do comportamento de uma variável em função do desempenho de outras variáveis que remetem a incertezas. De acordo com Moura et al (2014) a análise de incertezas apresenta o grau de certeza e incerteza existente nos resultados da análise multicritérios, inserindo assim maior robustez para a análise baseada em multicritérios.

5.3 Estudo de caso

5.3.1 Área de estudo

No Brasil, país de maior biodiversidade no mundo, a expansão das atividades agrícolas, a exploração dos recursos naturais e o crescente adensamento das manchas urbanas são fatores que vêm impulsionando a transformação da paisagem de forma significativa. O Estado de Minas Gerais, quarta maior unidade da federação brasileira, compreende um território de grande extensão, com aproximadamente 590.000 km², onde estão inseridos três, dos grandes biomas do Brasil, sendo eles a Caatinga, o Cerrado e a Mata Atlântica. O processo de fragmentação e perda de conectividade no Estado é preocupante e avança em passos largos. A paisagem tipicamente sertaneja da região centro-norte do Estado de Minas Gerais tem passado por transformações arquitetadas, principalmente devido à implantação de grandes projetos de pecuária e monocultura para fins siderúrgicos.

Segundo Ferreira et al. (2004) as iniciativas de uma gestão integrada de áreas protegidas no Brasil foram conduzidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) no final da década de 90 com a criação do Núcleo Regional de Unidades de Conservação (NURUC), sendo considerado por muitos como o instrumento que introduziu as primeiras sementes do que hoje é concebido como a gestão de mosaicos no país. No Brasil existem diversos instrumentos legais direcionados para a proteção de áreas protegidas, dentre estes, levando em conta a busca de uma construção de formas de gestão integrada, podemos destacar, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), criado no ano 2000 pela Lei Federal nº 9.985 e o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (PNAP), criado pelo Decreto nº 5.758 no ano de 2006.

A área do presente estudo é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral, instituído no ano de 2010, possuindo uma área de aproximadamente 1.892.447 ha. Este Mosaico engloba 19 áreas protegidas em seu limite, sendo estas denominadas de Unidades de Conservação (UC's), podendo estas ser de Proteção Integral (com normas mais restritivas, impedindo determinadas atividades antrópicas) ou de Uso Sustentável (aliam a conservação com atividades

antrópicas). O modelo de gestão dos mosaicos trabalha na integração entre as UC's contidas em seu limite, buscando maior efetividade de ações conservacionistas e com isso possibilita, entre outros aspectos, a conectividade entre áreas de florestas (conservadas ou modificadas). O mosaico localiza-se na porção meridional da grande cordilheira denominada Serra do Espinhaço (Figura 21), estando numa porção da Serra que é considerada uma Reserva da Biosfera reconhecida pela UNESCO, sendo esta a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço.

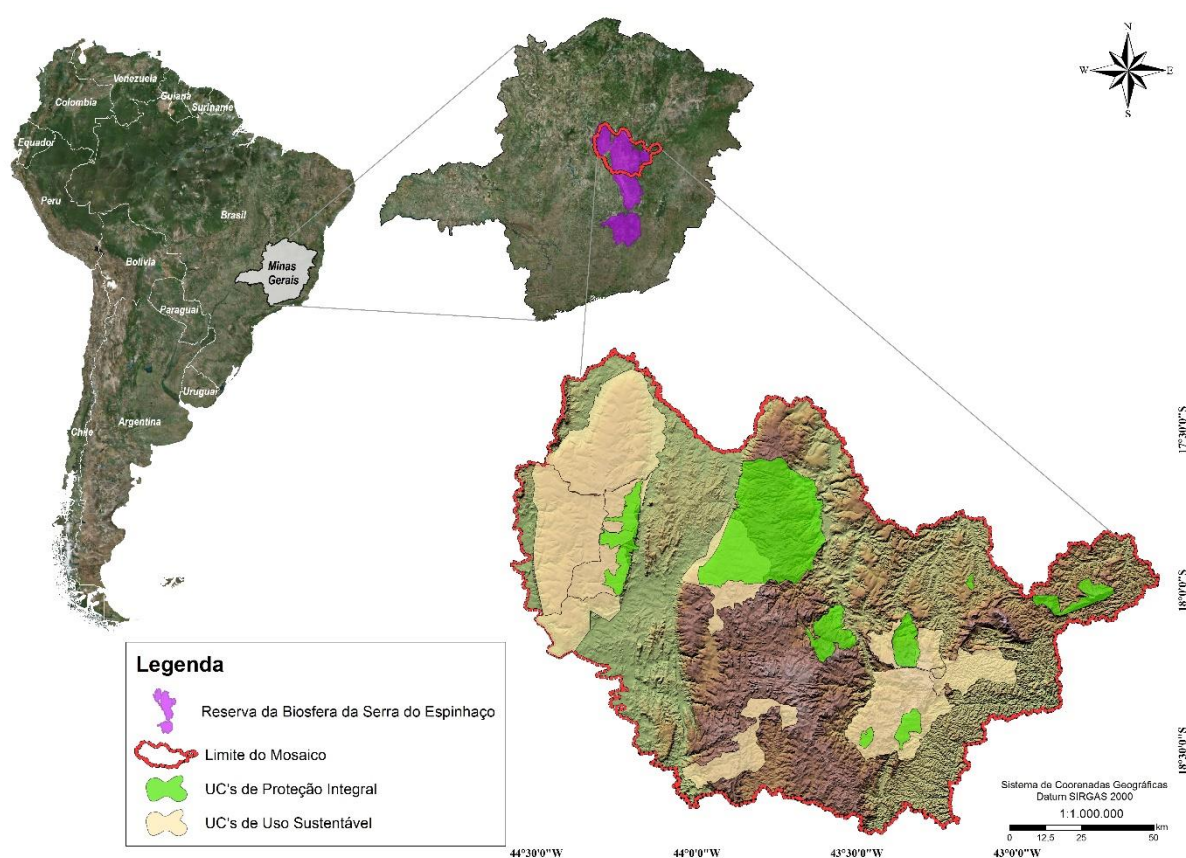


Figura 21 - Mapa de localização

5.3.2 Criação das camadas de mapeamento

O primeiro passo metodológico para se atingir o objetivo da presente análise é a identificação de quais os fatores que influenciam na conectividade da paisagem na área de estudo. Nesta fase de estruturação do problema de decisão foram identificados os grupos e os seus fatores constituintes que irão influenciar na decisão.

Os critérios selecionados foram divididos em 3 (três) grupos, sendo eles, um grupo de fatores bióticos, um outro com componentes do ambiente físico e por fim, um grupo com critérios relacionados às pressões antrópicas. Uma aplicação SIG foi utilizada para produzir, analisar e combinar os dados espaciais. Os critérios (Tabela 4) utilizados neste estudo foram selecionados com base em estudos do autor principal deste artigo e também por meio de indicações feitas por um grupo multidisciplinar de especialistas, que será melhor descrito na seção 6.3.3 deste artigo.

Tabela 4 - Base de dados dos critérios utilizados

Grupo	Critério	Formato	Fonte
Físico	Distância da rede de drenagem	Vetorial	Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)
Biótico	Distância UC's de Proteção Integral	Vetorial	Instituto Estadual de Florestas (IEF)
Biótico	Distância UC's de Usos Sustentável	Vetorial	Mapa Temático (RIBAS, R.P et al. 2014)
Biótico	Distância de fragmentos florestais com maiores áreas núcleo	Vetorial	Mapa Temático (RIBAS, R.P et al. 2014)
Antrópico	Distância de rodovias	Vetorial	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Antrópico	Distância de áreas urbanas	Vetorial	Mapa Temático (RIBAS, R.P et al. 2014)
Físico	Declividade	Raster	<i>United States Geological Survey</i> (USGS)

De acordo com Moura et al (2014) os dados espaciais podem ser organizados em camadas que representam uma superfície potencial de distribuição do fenômeno ou ocorrência espacial. Para a criação desta superfície potencial, o primeiro passo é a reclassificação do dado, para a criação de uma matriz indicando a presença ou ausência do tema, com a definição de um tamanho de pixel comum para todas as camadas a serem criadas. Neste estudo foi utilizado o pixel com 90 metros de resolução espacial, tendo em vista a grande extensão da área analisada e o grande gasto computacional necessário. Num segundo momento foi realizada uma suavização das bordas de contato entre diferentes classes, considerando desta forma a influência da vizinhança nas áreas de transição. Para tal operação os dados foram convertidos do formato matricial para o vetorial, sendo então aplicado o estimador de densidade de Kernel com raio de busca de 450 metros. Apenas o dado de declividade,

cuja informação já se configurava originalmente em formato matricial, utilizou-se um filtro de vizinhança com máscara de 9 x 9 células.

5.3.3 Normalização dos dados e definição dos pesos para os critérios

No processo de normalização dos dados, os valores originais de cada critério (expressos em sua particular unidade de medida) são convertidos para um intervalo uniforme de mensuração. Este processo permite que valores de critérios não comparáveis entre si sejam normalizados para uma mesma escala, viabilizando a agregação entre eles. A maior parte dos processos de normalização utiliza o valor máximo e mínimo para a definição de uma escala. Neste estudo, a normalização foi realizada por meio de uma função linear, visto que esta função assume a existência de um relacionamento linear de impacto na escala de valores atribuída aos critérios. Este método de normalização oferece a vantagem de manter uma relação de razão entre os valores originais e os valores normalizados. O intervalo de variação para os valores dos critérios foi definido numa escala de 0 a 1. Para normalizar os dados também é necessário definir um valor de custo (*cost*) ou benefício (*benefit*) das variáveis. Os valores de benefício ocorrem quando os valores mais altos da variável são os mais positivos e em contrapartida, os valores de custo ocorrem quando os valores mais baixos da variável são os mais positivos. Dentre os critérios utilizados neste estudo (Figura 22) apenas a distância de rodovias e de áreas urbanas foram definidos como custo.

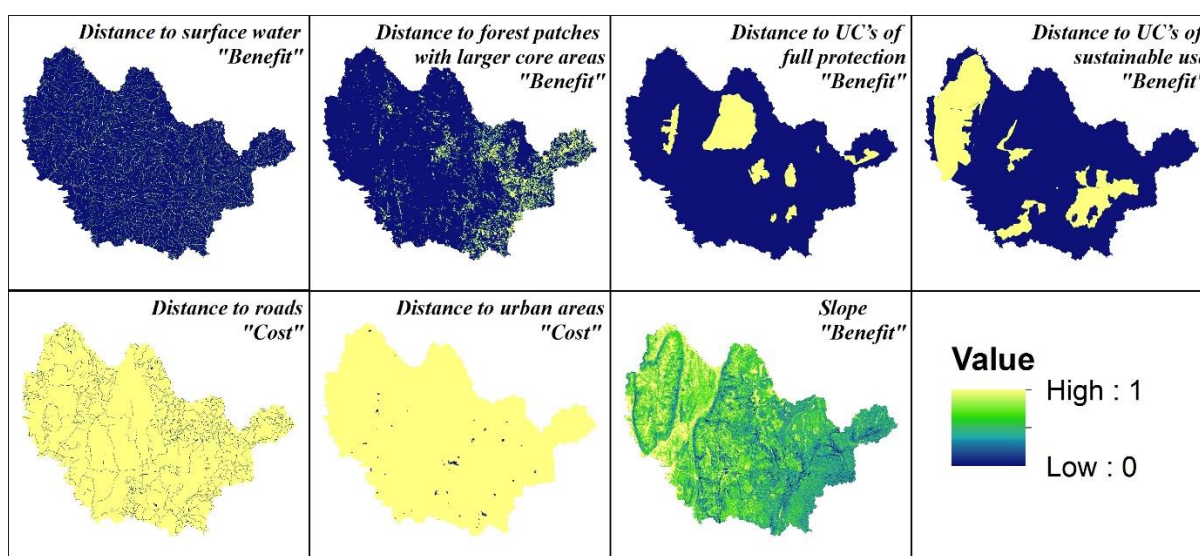


Figura 22 - Critérios normalizados

A definição de pesos para os critérios é um procedimento que pode ser alcançado por meio do nível de conhecimento de especialistas em determinada área e conceito ou pode derivar de aproximações por métodos estatísticos. Para a definição dos pesos dos critérios que serão utilizados no processo decisório foi aplicado o método *Delphi*. De acordo com Bonham-Carter (1994) esta forma de definição de pesos é conhecida como *knowledge-driven evaluation*. O método *Delphi* teve grande repercussão no início dos anos 60, com base em trabalhos desenvolvidos por Norman Dalkner e Olaf Helmer (ESTES & KUESPERT, 1976). Segundo Moura (2007) a aplicação do método *Delphi* para obtenção de pesos baseia-se na formação de um grupo multidisciplinar de especialistas que conheçam bem o fenômeno e a realidade espacial onde ele se localiza.

O procedimento adotado foi a formação de um grupo multidisciplinar de 15 especialistas para a aplicação de um questionário (Apêndice 1) com perguntas relacionadas ao objetivo. O grupo em questão foi composto por gestores de unidades de conservação da região do mosaico, pesquisadores cuja linha de pesquisa envolve a biodiversidade da região em foco, especialistas em análise espacial com métodos multicritério e pesquisadores com foco em estudos geomorfológicos. Os integrantes receberam um questionário on-line contendo um resumo do projeto, seus objetivos e perguntas sobre os critérios e sua importância na conectividade da paisagem. De acordo com a metodologia *Delphi*, o grupo de especialistas permaneceu anônimo, para que as respostas não fossem influenciadas por determinados integrantes dos grupos.

6.3.4 Mapeamento da adequabilidade para a conectividade

Para gerar o mapa de adequabilidade para a conectividade na paisagem foi realizada uma avaliação multicritérios utilizando a caixa de ferramentas desenvolvida para o ambiente do SIG ArcGIS, *Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options* de autoria do Professor Piotr Jankowski da *San Diego State University* (LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWSKI, 2012; LIGMANN-ZIELINSKA et al, 2012). A ferramenta *Weighted Sum for Feature Class* realiza a avaliação multicritérios por meio de arquivos vetoriais de

pontos. Observando esta característica da ferramenta criou-se um grid de pontos vetoriais com a mesma dimensão de colunas e linhas das camadas normalizadas em formato *raster*, permitindo assim a extração dos valores de cada pixel das camadas *raster* para pontos vetoriais. Os pesos utilizados (Tabela 2) para cada critério na presente avaliação multicritérios corresponderam a média extraída das ponderações dos 15 especialistas entrevistados. O resultado da avaliação multicritério fornecido pela ferramenta *Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options* em arquivo vetorial foi convertido para *raster*, permitindo a criação do Mapa de adequabilidade para a conectividade (Figura 23).

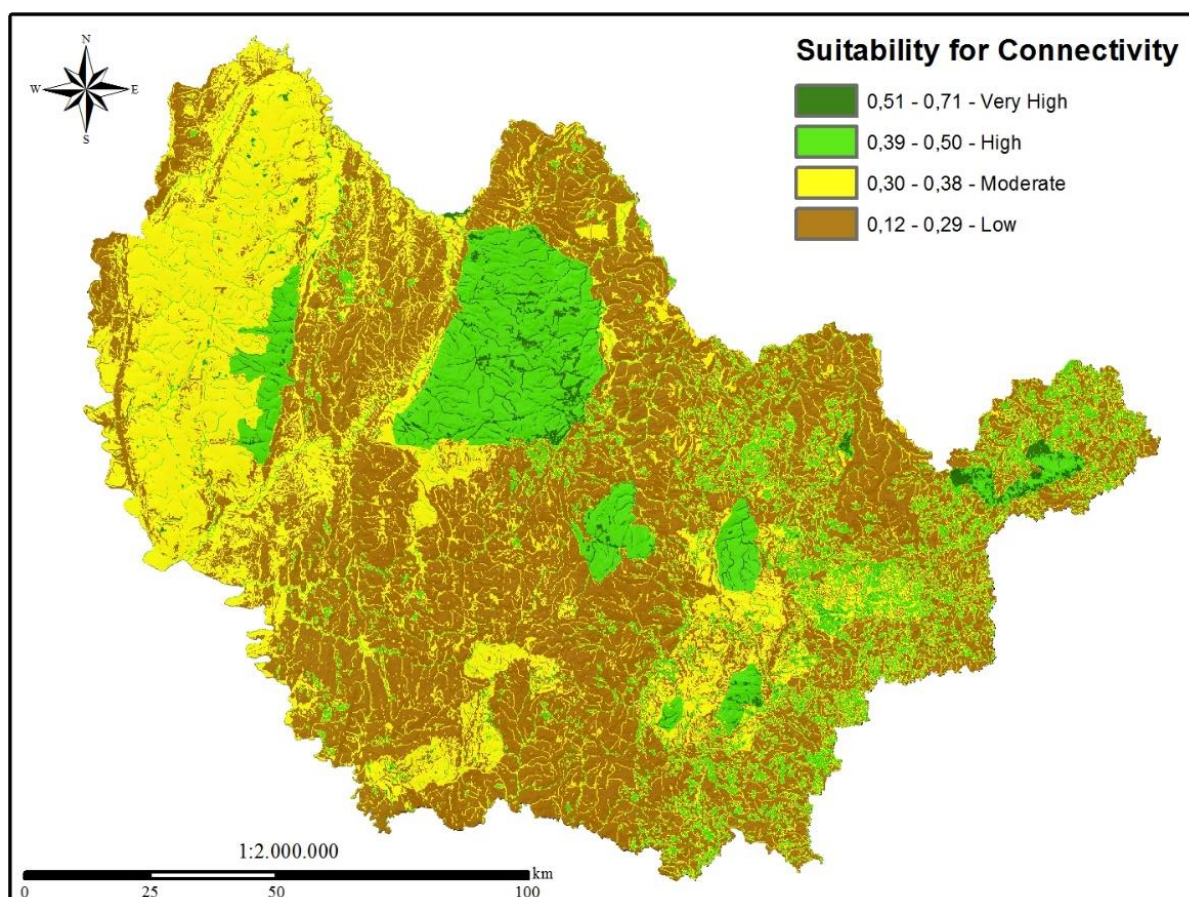


Figura 23 - Mapa de adequabilidade para a conectividade

6.3.5 Análise de Incertezas e Análise de Sensibilidade

Para a análise das incertezas inerentes ao procedimento de avaliação de multicritérios utilizado para gerar o mapa de adequabilidade para a conectividade, também foi

utilizada a caixa de ferramentas *Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options* de autoria do Professor Piotr Jankowski da *San Diego State University*, por meio do processo denominado de *Sensitivity Analysis to Land Suitability Evaluation* (LIGMANN-ZIELINSKA & JANKOWSKI, 2012; LIGMANN-ZIELINSKA et al, 2012). O método estatístico aplicado foi o Monte Carlo, utilizando a ferramenta *Monte Carlo Weighted Sum*. A análise é baseada na construção de possíveis resultados, por meio da atribuição de diferentes intervalos de valores mínimos e máximos em relação ao peso médio atribuído para cada critério. Os intervalos são conjuntos de valores aleatórios gerados por uma *Probability Density Function* (PDF), sendo definidos a partir do desvio padrão (DP) em relação à média. Essa distribuição é simétrica e os valores mais próximos da média apresentarão maior probabilidade de ocorrência.

Uma simulação de Monte Carlo com maior número de iterações terá uma resposta mais confiável, porém irá demandar maiores recursos computacionais. Neste estudo foram realizadas 100 iterações entre os intervalos de pesos indicados. O intervalo de pesos mínimos e máximos atribuídos a cada critério variaram em função dos pesos atribuídos pelos especialistas (Tabela 5). Conforme proposto por Moura et al (2014) pode-se observar a diferença entre o menor e o maior valor sugerido entre os especialistas, sendo que, se a variação de opiniões a respeito do critério for baixa e viável optar por utilizar 1 desvio padrão para cada um dos lados do valor médio, porém, se houver grande variação na opinião dos especialistas a respeito de um determinado critério, utiliza-se 2 vezes o desvio padrão para cada um dos lados do valor médio, pois dessa forma uma faixa maior será analisada para os critérios que geraram maiores dúvidas.

Tabela 5 - Critérios para a definição do intervalo de análise

Critério	Média	Desvio	PDF	Intervalo de Análise
Distância da rede de drenagem	0.25	0.028	1 x DP	0.222 – 0.278
Distância UC's de Proteção Integral	0.20	0.047	1 x DP	0.153 – 0.247
Distância UC's de Usos Sustentável	0.05	0.020	2 x DP	0.010 – 0.090
Distância de fragmentos florestais com maiores áreas núcleo	0.20	0.023	2 x DP	0.153 – 0.247
Distância de rodovias	0.05	0.009	1 x DP	0.041 – 0.059

Distância de áreas urbanas	0.10	0.009	1 x DP	0.091 – 0.109
Declividade	0.15	0.016	2 x DP	0.118 – 0.182

5.4 Resultados e Discussões

A análise das incertezas por meio do método de Monte Carlo produz um resultando que indica a ordenação dos valores classificados da média *Rank AVG* e a ordenação obtida do desvio padrão *Rank STD*, sendo que, os valores mais altos, são aqueles que possuem as primeiras colocações no *Rank* (Figura 24).

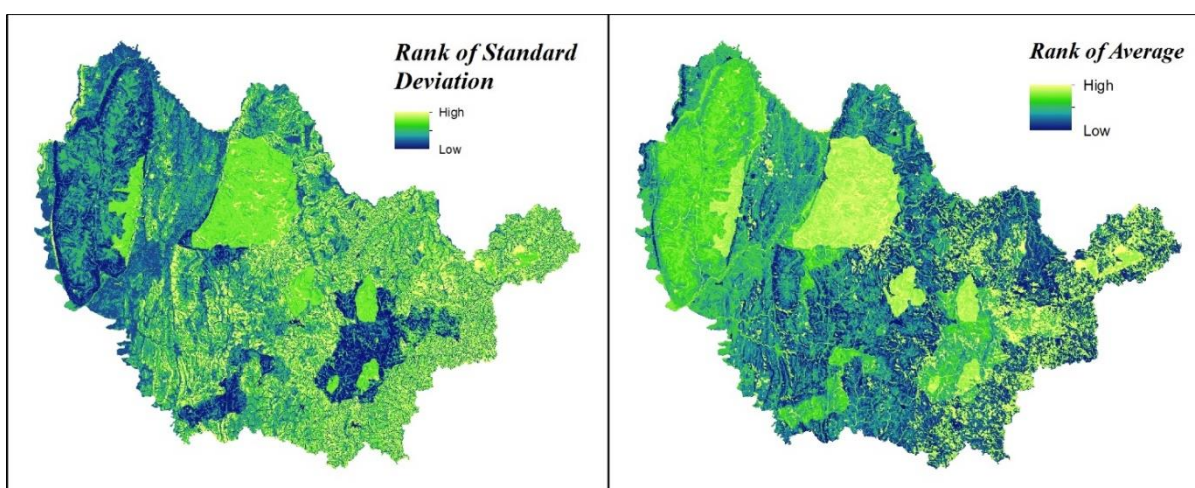


Figura 24 - Rank extraído da Análise de Monte Carlo

De acordo com Ligmann-Zielinska & Jankowski (2012) esse resultado permite a realização de uma análise sobre o nível de aptidão da área e também da incerteza relacionada a esta aptidão, sendo possível uma combinação de regras para uma análise exploratória do resultado. As regras propostas pelos autores são as seguintes:

1. Alta posição no ranking da média e baixa posição no ranking do desvio padrão indica os locais mais adequados, com menos incertezas em relação a aptidão.
2. Baixa posição no ranking da média e baixa posição no ranking do desvio padrão indica os locais menos adequados, pois possuem baixa aptidão e baixa incerteza com relação a essa situação.

3. Alta posição no ranking da média e alta posição no ranking do desvio padrão indica os locais com grande potencial de adequação, porém necessitam de melhores estudos haja vista a alta incerteza relacionada.

4. Baixa posição no ranking da média e alta posição no ranking do desvio padrão indica os locais com baixa aptidão, porém possuem muita incerteza relacionada, sendo passível de mais análises.

Com o objetivo de permitir uma melhor análise dos resultados, foi realizada a combinação dos resultados num mapa temático demonstrando as possibilidades simuladas para a adequabilidade para a conectividade na paisagem (Figura 25).

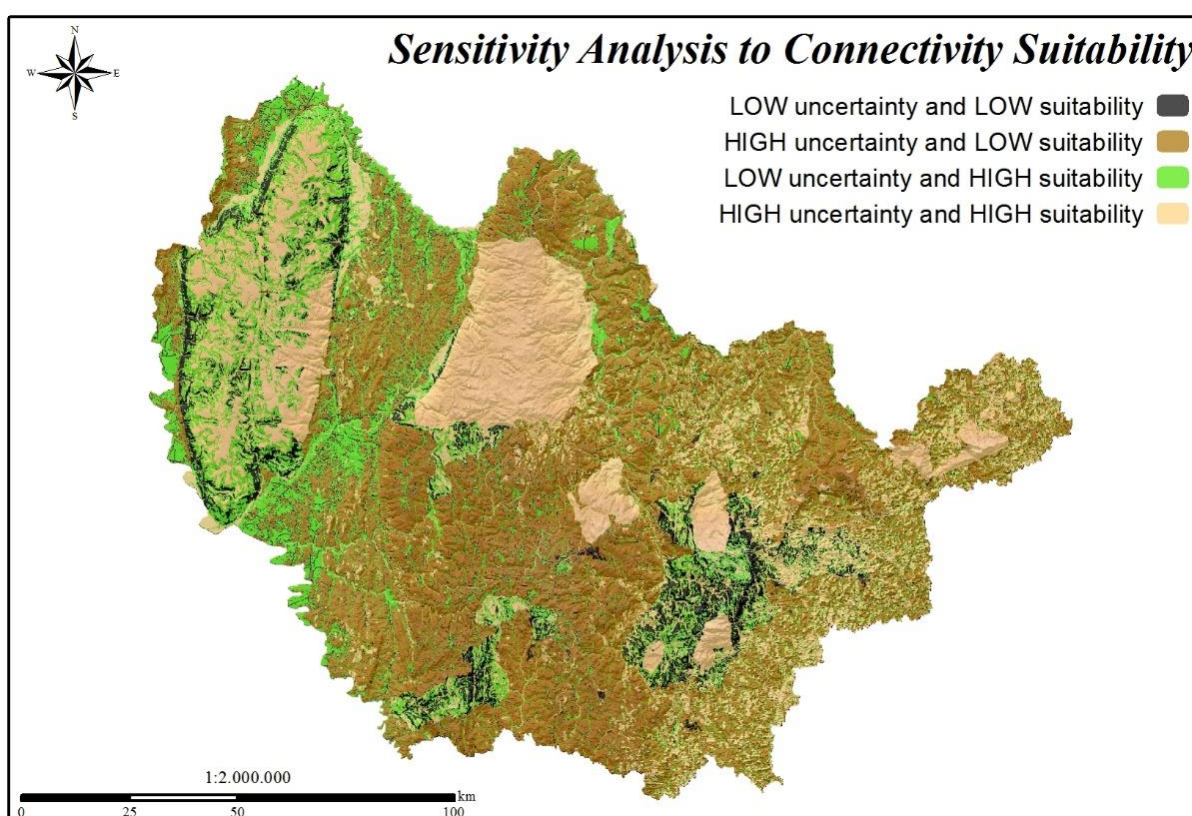


Figura 25 - Análise de sensibilidade da adequabilidade à conectividade

As áreas que apresentam a melhor adequabilidade para promover a conectividade entre as áreas protegidas são as que possuem uma baixa posição do *ranking* do desvio padrão (*low uncertainty*) e uma alta posição no ranking da média (*high suitability*), conforme indicado na regra 1. Essas áreas correspondem a 19,82 % da área total do mosaico (Tabela 6). As áreas que possuem alta adequabilidade, porém possuem alta incerteza associada, também podem ser consideradas como

importantes para promover a conectividade, necessitando de uma análise mais detalhada das incertezas associadas. Essas áreas correspondem a 28,73 % da área total do mosaico.

Tabela 6 - Análise de sensibilidade da adequabilidade à conectividade

Sensitivity Analysis	Regra	Area (ha)	Percentual (%)
LOW uncertainty and LOW suitability	Low STD - Low AVG	150,82	7,97
HIGH uncertainty and LOW suitability	High STD - Low AVG	822,69	43,48
LOW uncertainty and HIGH suitability	Low STD - High AVG	375,06	19,82
HIGH uncertainty and HIGH suitability	High STD - Low AVG	543,63	28,73

As áreas que apresentam baixa adequabilidade, porém possuem alta incerteza associada representam a matriz da paisagem, com 43,48 % da área total do mosaico. São áreas nas quais existem diversas tipologias de uso do solo e, conseqüentemente, habitats coexistindo. Nestas áreas é necessária uma maior investigação dos habitats e de suas respectivas espécies, buscando uma análise mais aprofundada da real funcionalidade dos fragmentos para servir como conectores na paisagem.

É interessante notar que as próprias áreas protegidas de proteção integral apresentam alta incerteza associada a sua capacidade conectiva, demonstrando assim, que pode existir dúvida com relação a função destas áreas por parte de alguns atores envolvidos na análise multicritérios, sendo um indicativo de pouco consenso entre os especialistas na valoração dos critérios em análise. Levando em consideração as áreas com maior adequabilidade, ou seja, que possuem baixa posição do ranking do desvio padrão (*low uncertainty*) e uma alta posição no ranking da média (*high suitability*) foram identificados 5 principais locais (Figura 26) que demonstram padrões capazes de permitir a conectividade entre os habitats na paisagem.

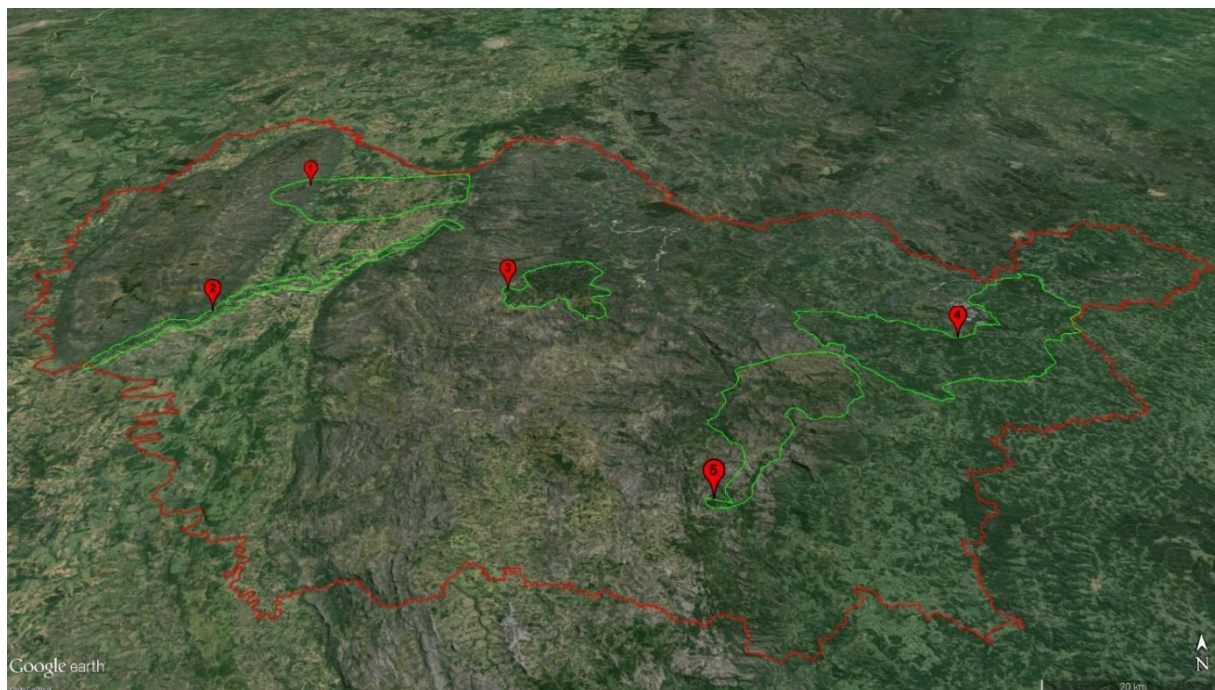


Figura 26 - Locais com padrão capaz de permitir a conectividade

Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor

Na área 1, localizada na porção noroeste do mosaico, existem grandes manchas de vegetação de porte arbóreo na paisagem, apresentando um padrão de trampolins de habitat, que pode vir a permitir a conectividade entre a região norte da Serra do Cabral e a face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas. A área 2, na porção oeste do mosaico, o formato com potencial para permitir a conectividade é um típico corredor de biodiversidade formado pela mata ciliar do rio Curimataí, permitindo a conexão entre a região sul da Serra do Cabral e a face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas. As áreas 3, 4 e 5 apresentam um padrão de mosaico na paisagem, no qual diferentes formatos de fragmentos de habitats tem potencial para permitir a conectividade na paisagem. Estas áreas são melhor descritas no capítulo 6.

5.5 Conclusão

Uma das características dos métodos de análise de multicritérios é permitir que a opinião de tomadores de decisão seja considerada e expressa por meio dos critérios e de seus pesos. Entretanto, observamos que no decorrer do processo de definição de

critérios e pesos, algumas incertezas foram identificadas, situação essa que foi satisfatoriamente resolvida neste estudo por meio da aplicação da análise de sensibilidade pelo método de Monte Carlo. Essa análise confere robustez a metodologia, visto que permite a análise do relacionamento entre os pesos, os critérios e o método de proposição dos mesmos.

O Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço responde por uma área de dimensão regional, o que muitas vezes cria situações complicadas em termos de gestão do território, seja por falta de conhecimento técnico ou mesmo do próprio território em si. Sob este aspecto concluímos que a metodologia aqui apresentada foi muito satisfatória, pois permitiu a identificação de áreas com grande adequabilidade para o tema estudado, neste caso a conectividade em habitats na paisagem.

Observando as 5 áreas propícias para a conectividade, identificadas por meio do roteiro metodológico apresentado, deixamos como proposta para continuação do estudo que seja realizada uma investigação em detalhe de cada área detectada com a utilização de imagens provenientes de sensores com maior resolução espacial. Indica-se também uma revisão do questionário realizado para a efetivação do método Delphi, com a inserção de perguntas mais específicas, visto que a escala de estudo tende a ser refinada.

Tendo em vista a capacidade de integração do método em ambiente SIG e da possibilidade de análise em escalas distintas, acreditamos que este método pode agregar na tarefa de gestão de áreas protegidas, tendo em vista a definição de áreas de aptidão ou vulnerabilidade para determinadas atividades, auxiliando assim na busca de soluções que venham a somar na conservação da biodiversidade.

Referências bibliográficas

BENNETT, A. F. **Linkages in the landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom: The World Conservation Union (IUCN) Forest Conservation Programme, 2, 262. 2003

BONHAM-CARTER, G. **Geographic Information Systems for Geoscientists; modelling with GIS**. Ottawa, Pergamon. 1994.

FONSECA, B.M., MOURA, A. C. M., HADDAD, M. Definição de áreas prioritárias para conservação na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero por meio da análise de multicritérios em ambiente SIG com vistas ao processo de Geodesign In. **anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**, Gramado. 2014

CALABRESE, J.M., FAGAN, W.F. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. **Front. Ecol. Environ.**, v. 2, p. 529–536. 2004.

CARMEL, Y., PAZ, S., JAHASHAN, F., SHOSHANY, M. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. **Forest Ecol. Manage.** v. 257, p. 370–377. 2009.

CARVER, S. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 5, p. 321–339. 1991.

CHEN, H., WOOD, M.D, LINSTED, C., MALTBY, E. Uncertainty analysis in a GIS-based multicriteria analysis tool for river catchment management. **Environmental modelling and software**, v. 26 (4), p. 395-405. 2011.

DAVEY, A.G. **National System Planning for Protected Areas**. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 71pp. 1998.

ESTES, G., KUESPERT, D. Delphi in industrial forecasting. **Chemical and Engineering News**, EUA. 40-47. 1976.

FAHRIG, L., MERRIAM, G.. Habitat patch connectivity and population survival. **Ecology** v. 66, p. 1762-1768. 1985

FAHRIG L., MERRIAM, G. Conservation of fragmented populations. **Cons. Biol.** v. 8, p. 50–59. 1994.

FERREIRA, I.V., PRATES, A. P. L., KARAM, K.F., COELHO, B. H. (2004). Mosaicos de Unidades de Conservação no Brasil: os casos de Santa Catarina, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. Curitiba, **anais do IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação**. 187-197.

FERRETTI, V., POMARICO, S. An integrated approach for studying the land suitability for ecological corridors through spatial multicriteria evaluations. **Environ. Dev. Sustain.** v. 15(3), p. 859-885. 2013.

FORMAN, R.T., BAUDRY, J. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. **Environ. Manage.** v. 8, p. 499- 510. 1984.

FORMAN, R.T., GODRON M. **Landscape Ecology**. New York, John Wiley & Sons, 1986. 619p.

GOEZ, S.J., JANTZ, P., JANTZ, C.A. Connectivity of Core Habitat in the Northeastern United State: Parks and Protected Areas in a Landscape Context. **Remote Sensing of Environment**. v.113, p. 1421-1429. 2009.

HANSKI, I., GAGGIOTTI, O.E. Metapopulation biology: past, present and future. Ecology, Genetics and Evolution of Metapopulations (eds I.Hanski & O.E.Gaggiotti). 3–22. **Elsevier Academic Press**, San Diego. 2004.

HARGROVE, W.W., HOFFMAN, E.M., EFROYMSON, R.A. A Practical Map-analysis Tool for Detecting Potential Dispersal Corridors. **Landscape Ecology**. v. 20, p. 361-373, 2004.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Guidelines for protected area management categories**. IUCN Commission on National Parks and Protected Areas with the assistance of the World Conservation Monitoring Centre. IUCN, Gland. 1994.

JEANNERET, P., SCHÜPBACH, B., LUKA, H. Quantifying the impact of landscape and habitat features on biodiversity in cultivated landscapes. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 98, p. 311–320. 2003.

JÓRDAN, F., MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B., VASA, V., KÖDÖBÖCZ, V. Carabids (Coleoptera: Carabidae) in a Florest Patchwork: a Connectivity Analysis of the Bereg Plain Landscape Graph. **Landscape Ecology**. v. 22, p. 1527-1539. 2007.

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

LINDENMAYER, D.B., FISCHER, J. **Landscape Change and Habitat Fragmentation**. Island Press, Washington, DC. 2006.

LIGMANN-ZIELINSKA A., JANKOWSKI P. A Framework for Sensitivity Analysis in Spatial Multiple Criteria Evaluation, Lecture Notes in Computer Science No. 5266, Eds. T.J., Cova, H.J. Miller, K. Beard, A.U. Frank, **Proceedings of 5th International Conference, GIScience 2002**, Park City, Utah, USA, September 2008, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 217-233. 2008.

LIGMANN-ZIELINSKA. A., JANKOWSKI, P. Impact of proximity-adjusted preferences on rank-order stability. in geographical multicriteria decision analysis. **Journal of Geographical Systems** v. 14, p. 167-187. 2012.

LIGMANN-ZIELINSKA, A., JANKOWSKI, P., WATKINS, J. Spatial Uncertainty and Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Land Suitability Evaluation. **Journal of Geographical Systems** v. 13, p. 2–5. 2012.

LIGMANN-ZIELINSKA, A., JANKOWSKI, P. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software**, DOI: 0.1016/j.envsoft.2014.03.007. 2014.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: Wiley. 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20(7), p. 703–726. 2007.

MARULLI, J., MALLARACH, J. M. A GIS methodology for assessing ecological connectivity: Application to the Barcelona Metropolitan area. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, p. 243–262, 2005.

MCHARG, I. L. **Design with nature**. New York: Wiley. 1969.

MERRIAM, G. Connectivity: a fundamental ecological characteristic of landscape pattern. In Proceedings of the first International Seminar on Methodology in Landscape **Ecological Research and planning**. V. 1, p. 5-15. Edited by Brandt and P. Agger. Roskilde Universitetsforlag GeoRuc., Roskilde, Denmark. 1984.

METZGER, J.P. Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. **Ecological Applications**. v. 10 (4), p.1147-1161. 2000.

MOURA, A.C.M. Reflexões metodológicas como subsídios para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. Anais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2899-2906. 2007.

MOURA, A. C. M., JANKOWSKI, P., COCCO, C. Contribuições aos estudos de Análises de Incertezas como complementação às Análises Multicritérios - “Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. In XXVI **Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado**. 2014.

NOSS, R.F. **The Wildlands Project: land conservation strategy**. Wild Earth (Special Issue):10-25. 1992.

NOSS, R.F., CSUTI, B., Habitat fragmentation. In: Meffe, G.K.,Carroll, R.C. (Eds.), **Principles of Conservation Biology**, v.2, p. 269-304. 1997.

RIBAS R.P., GONTIJO, B.M. Análise multitemporal da evolução estrutural da paisagem por meio de técnicas de sensoriamento remoto e métricas de paisagem. **Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes** v. 5(1), p.39-44. 2014.

ROUGET, M., COWLING, R.M., LOMBARD, A.T., KNIGHT, A.T., KERLEY, G.I.H. Designing Large-scale Conservation Corridors for Pattern and Process. **Conservation Biology**. V. 20(2), p. 549-561. 2006.

SALTELLI, A., TARANTOLA, S., CHAN, K. A quantitative, model independent method for global sensitivity analysis of model output. **Technometrics**. V. 41 (1), p. 39-56. 2000.

SAURA, S., TORNÉ, J. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. **Environmental Modelling and Software** v. 24, p. 135–139, 2009.

STORE, R., KANGAS, J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. **Landscape Urban Plann.** V. 55 (2), p. 79–93. 2001.

TAYLOR P.D. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, v. 68, p. 571-572. 1993.

VOSE, D. **Risk analysis: a quantitative guide**. 2. Ed Susses: John Wiley & Sons Ltd. 2000

WITH K.A., GARDNER R.H., TURNER M.G. Landscape connectivity and population distribution in heterogeneous environments. **Oikos** v. 78, p.151-169. 1997.

ZHOU, G., ESAKI, T., MITANI, Y., XIE, M., MORI J. Spatial probabilistic modelling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. **Eng Geol** v. 68(3–4), p.373–386. 2003.

6 APRESENTAÇÃO DAS ÁREAS COM MELHOR ADEQUABILIDADE PARA A CONECTIVIDADE NA PAISAGEM

6.1 Conector 1 - Trapolins Cabral Vivas

Esta área, de 65.017,5 ha de extensão, localizada na porção noroeste do mosaico (Figura 27) e a oeste da face principal da Serra do Espinhaço possui todo o contexto ambiental peculiar do Cerrado.

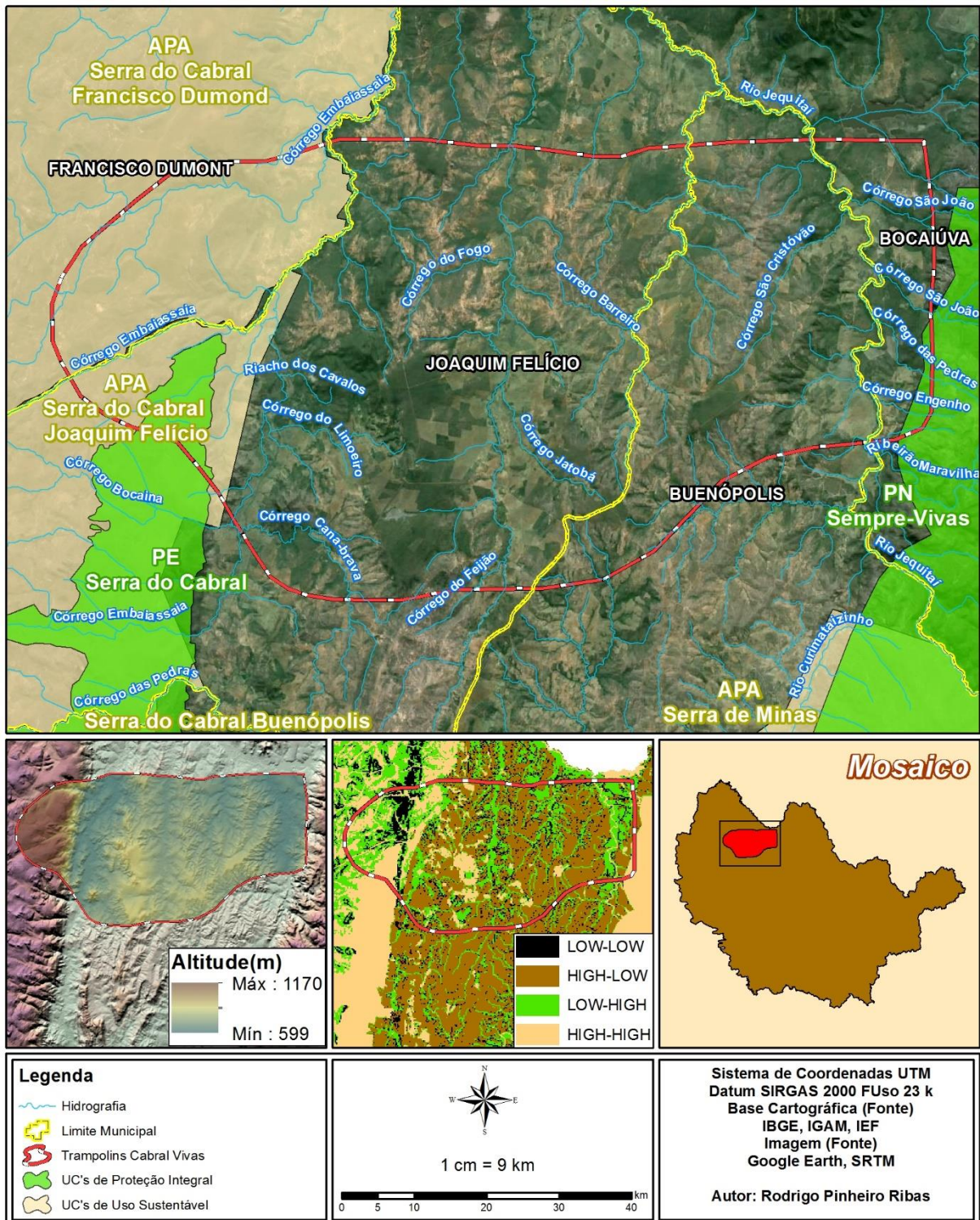


Figura 27- Conector 1 - Trampolins Cabral Vivas

Observa-se grandes manchas de vegetação de porte arbóreo na paisagem (Cerradão), apresentando um padrão de trampolins de habitat que pode vir a permitir a conectividade entre a região norte da Serra do Cabral, nas proximidades Parque

Estadual Serra do Cabral e a face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas. A Serra do Cabral, apesar de fazer parte da Serra do Espinhaço, devido as características geoambientais peculiares, não se encontra no mesmo maciço, estando distante cerca de 40 km a oeste da parte mais próxima do maciço principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas. A Serra do Cabral é um divisor de águas entre os rios das Velhas e Jequitaí, afluentes do rio São Francisco e abriga uma vegetação nativa composta de fitofisionomias do Cerrado, Veredas e capões de mata.

Entre estas duas estruturas está a bacia do rio Curimataí, cujo o vale encontra-se em altitudes que variam entre 600 e 1100 metros e abrigam fauna e flora típica do Cerrado. Nessa região de intermédio, ocorre a interface geológica entre as formações típicas quartzíticas das Serras e os calcários do grupo Bambuí, que influenciam e caracterizam o substrato pedológico da região. A existência de calcários nessa região tem possibilitado a descoberta de diversas formações espeleológicas na região de Buenópolis e Augusto de Lima, com descobertas de sítios arqueológicos e pinturas rupestres na região.

As características do solo aliadas a pequenos investimentos em irrigação tornam este cenário propício para a implantação de diversos tipos de culturas. Observa-se, exceto em se tratando da monocultura do eucalipto, que a maioria das culturas são de pequeno porte, para subsistência das comunidades da região. Há de se destacar também a grande riqueza de espécies nativas comestíveis, que fazem parte do cotidiano típico do Sertão.

A região possui também grandes rebanhos de gado, com destaque para o município de Bocaiúva, e desta atividade decorrem algumas práticas de manejo, como atear fogo para a rebrota e a substituição de áreas com fitofisionomias nativas por áreas de pastagem com capim. São atividades históricas, positivas para o manejo da cultura, porém também são gatilhos para a fragmentação de habitats de diversas espécies.

O eucalipto é outro gatilho, que há tempos foi acionado e vem produzindo munição para perda da biodiversidade na região e também a perda da conectividade na

paisagem. Na região da Serra do Cabral e na bacia do rio Curimataí existem grandes empresas instaladas, produzindo e explorando os subprodutos derivados do eucalipto.

6.2 Conector 2 – Corredor Curimataí

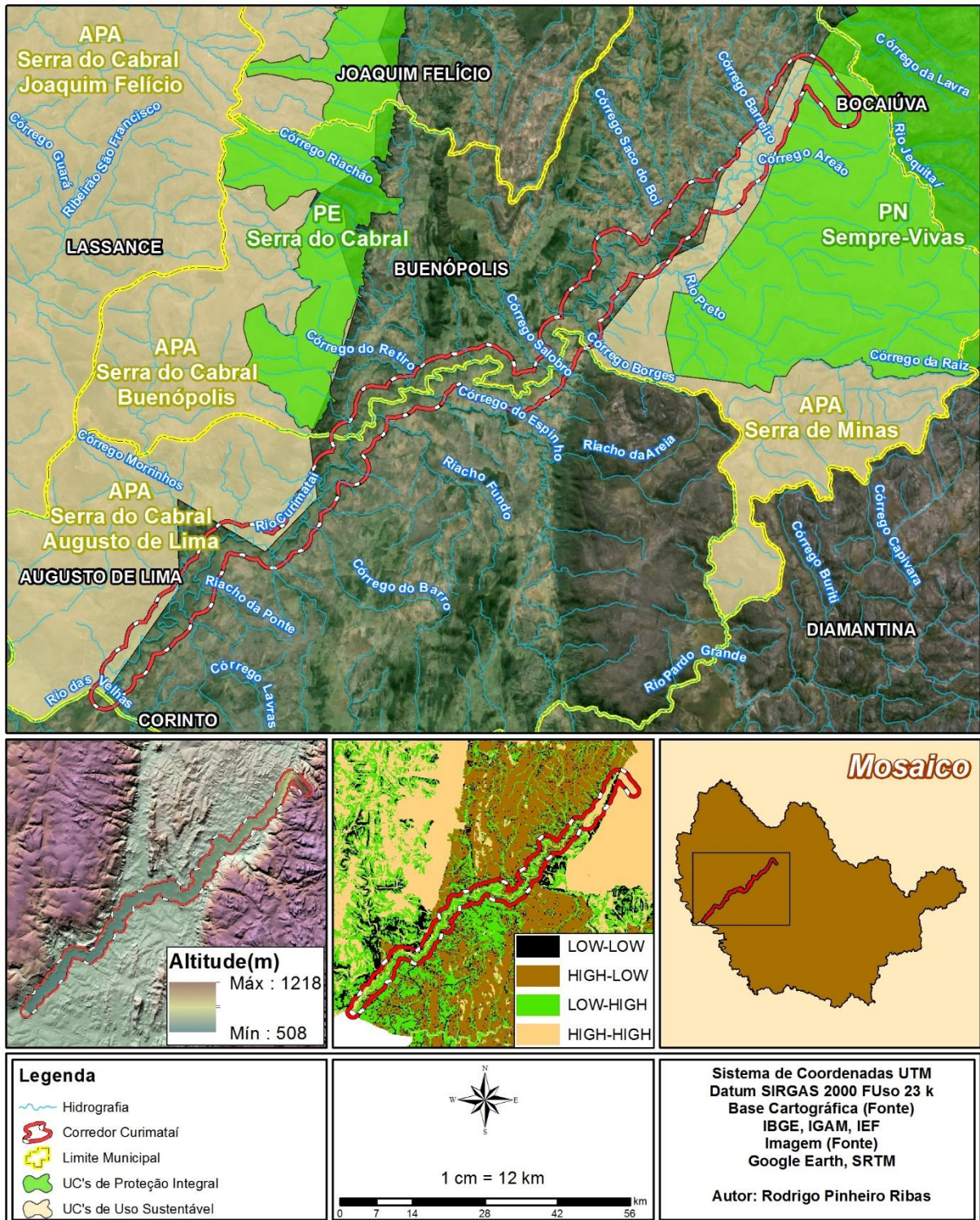


Figura 28 - Conector 2 – Corredor Curimataí

Esta área, de 21.299,02 ha de extensão, localizada na porção oeste do mosaico (Figura 28), estando a oeste da face principal da Serra do Espinhaço, possui todo o contexto ambiental peculiar do Cerrado.

Foi identificado um formato com potencial para permitir a conectividade, de um típico corredor de biodiversidade, formado pela mata ciliar do rio Curimataí, possuindo potencial para permitir a conexão entre a região sul da Serra do Cabral e a face principal da Serra do Espinhaço, nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas. O rio Curimataí possui uma extensão de aproximadamente 145 Km e encontra-se encaixado em um vale situado entre a Serra do Cabral e maciço principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas. Sua bacia hidrográfica drena uma área total de aproximadamente 200.000 hectares.

Na proximidade do deságue no rio das Velhas, o rio Curimataí possui em média 20 metros de largura, exigindo assim 50 metros de APP em cada margem. Nas áreas mais próximas da cabeceira, próximo a face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas, o rio não ultrapassa os 10 metros de largura, sendo então a distância para APP de 30 metros. A vegetação ciliar do rio encontra-se relativamente bem preservada em algumas poucas áreas, inclusive perpassando a distância permitida pelo Código Florestal (atualizado pela Lei nº 12.727/12) para Área de Preservação Permanente (APP). Estas áreas mais bem preservadas encontram-se na parte baixa do rio, próximo a foz no rio das Velhas. Nas partes mais altas, nas proximidades da cabeceira, as áreas de APP são mais reduzidas e encontram-se extremamente cerceadas por grandes áreas de pastagem e culturas agrícolas.



Fotografia 3 - Veredas na Serra do Cabral



Fotografia 4 - Palmeira do Buriti (*Mauritia flexuosa*) na fitofisionomia Vereda



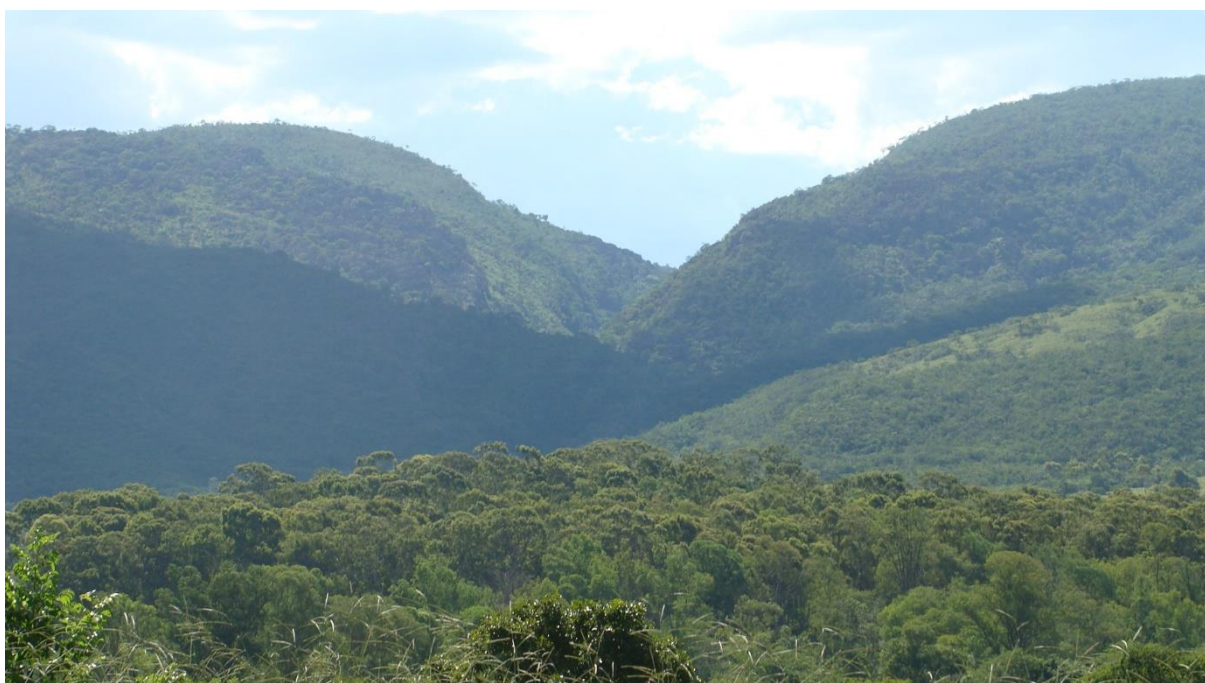
Fotografia 5 - Ema (Rhea americana) na região da Serra do Cabral



Fotografia 6 - Gado em meio a fitofisionomia do Cerrado na região da Serra do Cabral



Fotografia 7 - Foto tirada da Serra do Cabral. Em 1º plano a cidade de Buenópolis, a Serra localizada na formação calcária e ao fundo a Serra do Espinhaço nas proximidades do PN Sempre-Vivas



Fotografia 8 - Vegetação de porte arbóreo na bacia do rio Curimataí



Fotografia 9 - Eucalipto em meio a vegetação nativa



Fotografia 10 – Eucalipto e vegetação natural em uma das estradas de ligação entre a Serra do Cabral e face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional das Sempre-Vivas.



Fotografia 11 - Manchas de vegetação de porte arbóreo na região da Serra do Cabral



Fotografia 12 - Plantações de eucalipto se confundindo com a vegetação nativa na região da Serra o Cabral



Fotografia 13 - Plantação de eucalipto na bacia do rio Curimataí

6.3 Conector 3 – Vivas Biribiri

Esta área, de 21.296,40 ha de extensão, esta localizada na porção central do mosaico (Figura 29).

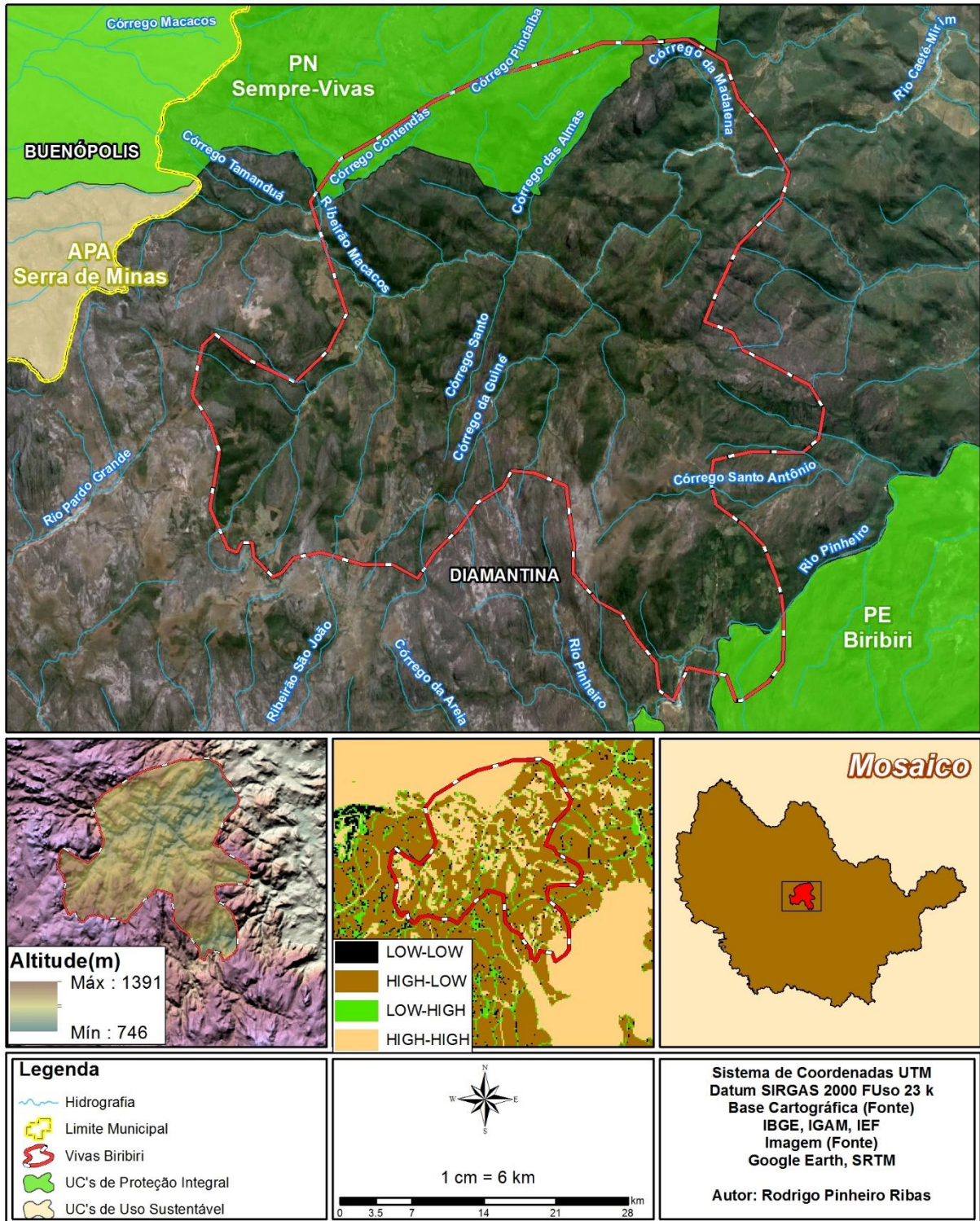


Figura 29 - Conector 3 – Vivas Biribiri

Esta área situa-se na região do Alto Vale do Rio Jequitinhonha estando também situada entre o Parque Nacional Sempre Vivas e o Parque Estadual Biribiri a cerca de 15 km da sede do município de Diamantina. A cobertura vegetal característica é o Campo Rupestre e o Cerrado Rupestre, porém existem diversas manchas de floresta estacional semidecidual espalhadas pela região, principalmente inseridas nos canyons que se formam devido a estrutura geológica característica da área. As rochas quartzíticas influem também na formação pedológica da área, apresentando solos rasos e arenosos com muito quartzo em sua composição. Um fator que condicionou a adequabilidade desta região foram as grandes áreas de mata preservadas em meio aos campos rupestres, perfazendo um conjunto extenso de vegetação nativa entre duas importantes unidades de conservação da área. Porém nota-se grandes áreas com alta incerteza pela análise de sensibilidade, devido as altas declividades encontradas na região.

6.4 Conector 4 - Mosaico Preto Negra

Esta área, de 79.803,50 ha de extensão, localiza-se na porção leste do mosaico (Figura 30)

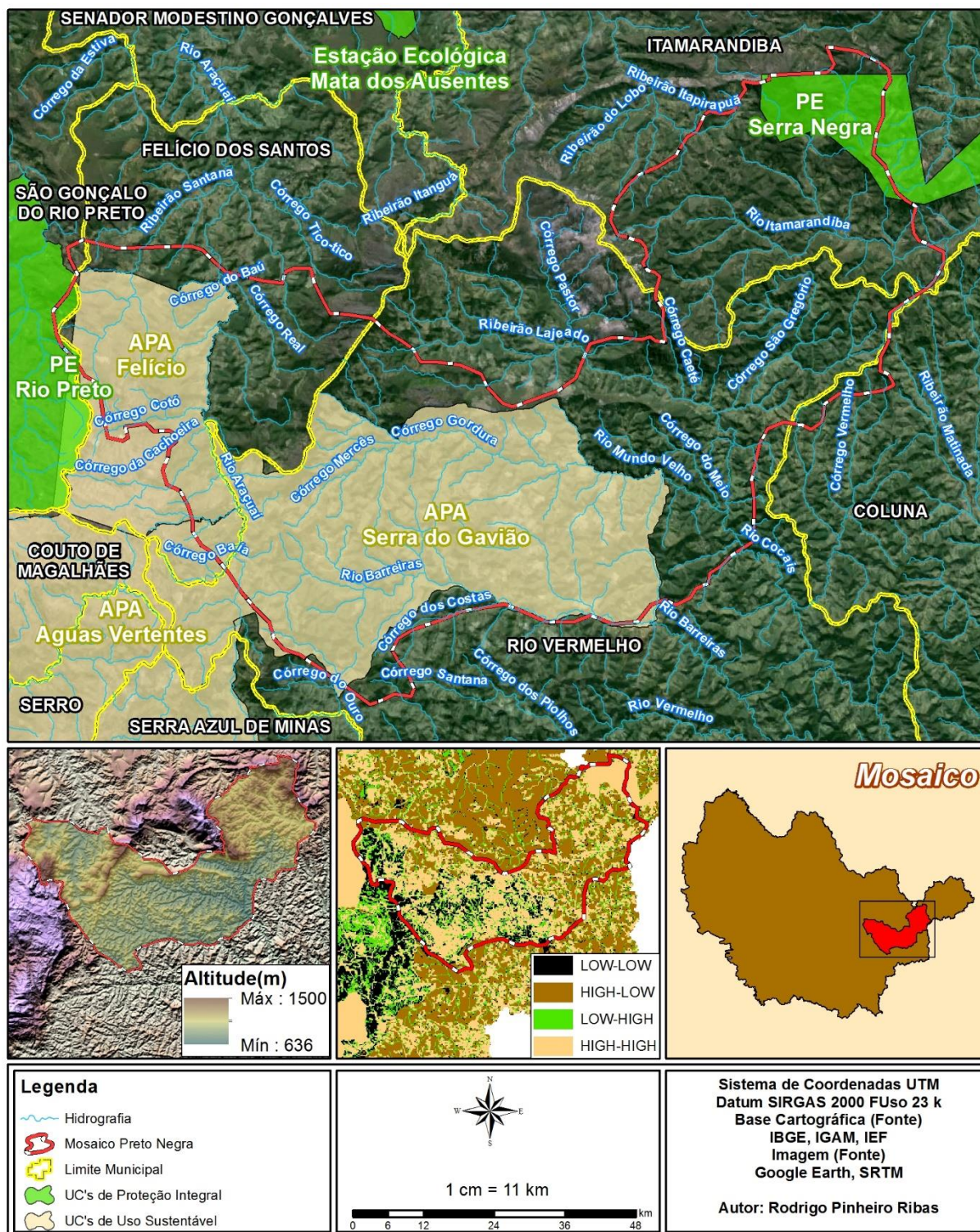


Figura 30 - Conector 4 - Mosaico Preto Negra

Esta área, na região leste do mosaico possui predominância das fitofisionomias típicas do bioma Mata Atlântica. Está situada no interstício entre o Parque Estadual do Rio Preto e o Parque Estadual Serra Negra perpassando pelas APA's Felício e Serra do Gavião. Caracteriza-se como um grande mosaico de tipologias onde existem grandes manchas de vegetação de porte arbóreo de florestas estacionais semidecíduais bem preservadas, sendo algumas de grande extensão, com cerca de 1500 hectares. Na área observa-se também grandes áreas de pastagem e extensas áreas com monocultura de eucalipto e pequenas culturas agrícolas. Este grande emaranhado de tipologias de uso e ocupação do solo contribuiu para a indicação de grandes áreas de alta incerteza, porém também alta adequabilidade.

6.5 Conector 5 - Raio Itambé Preto

Esta área, de 39.254,60 ha de extensão, localiza-se na porção sudeste do mosaico (Figura 31)

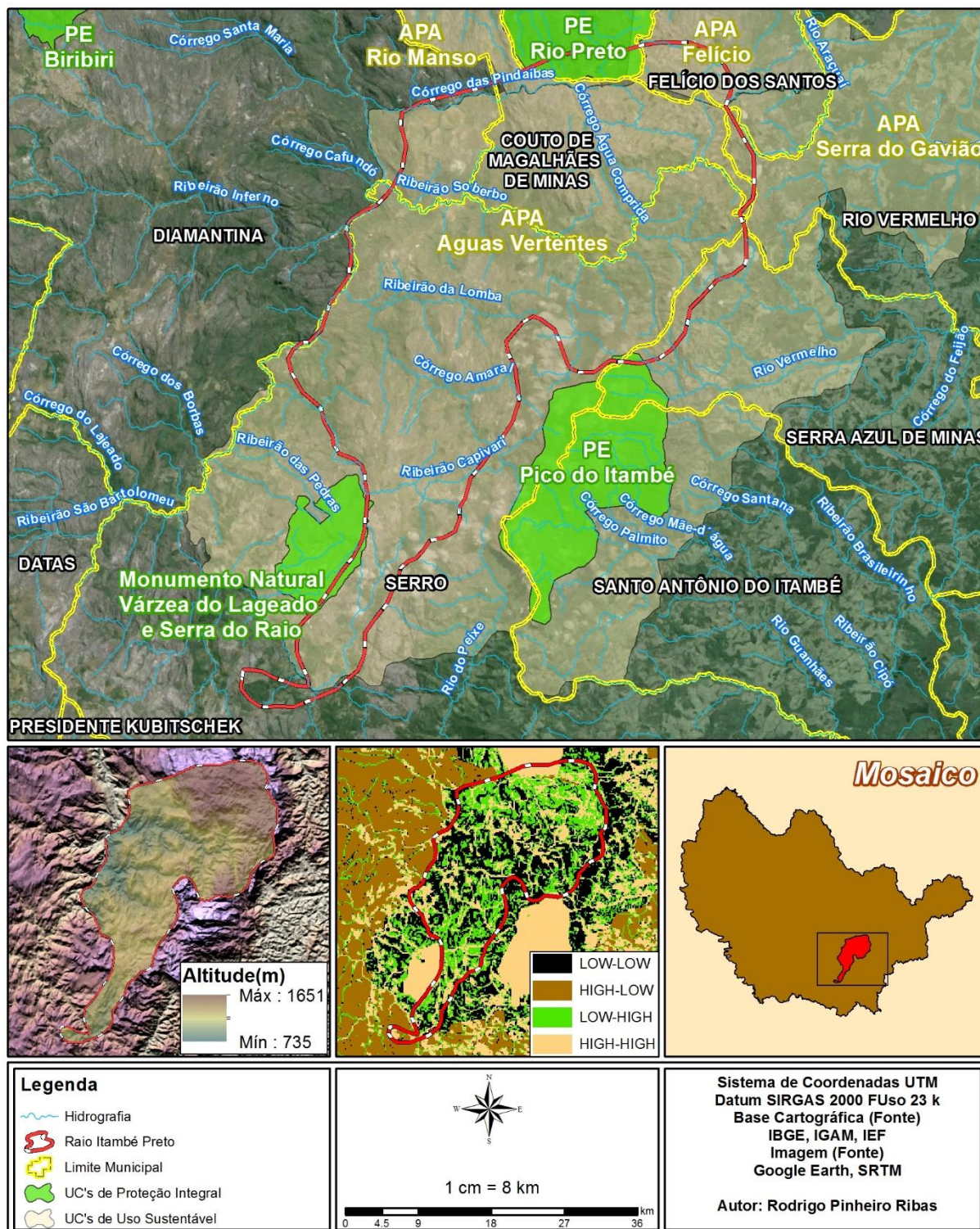


Figura 31 - Conector 5 - Raio Itambé Preto

Esta área localiza-se na borda leste da Serra do Espinhaço, possui cobertura vegetal característica de Campo Rupestre, Cerrado Rupestre, e também existem diversas manchas de floresta estacional semidecidual espalhadas pela região, principalmente inseridas nos canyons e vales encaixados que se formam devido a estrutura geológica característica da área. As rochas quartzíticas influem também na formação pedológica da área, apresentando solos rasos e arenosos com muito quartzo em sua composição. Um fator que condicionou a adequabilidade desta região foram as grandes áreas de mata preservadas em meio aos campos rupestres, perfazendo um conjunto extenso de vegetação nativa inserida na APA das águas vertentes em quase sua totalidade, numa região de interstício entre os Parques Estaduais do Rio Preto, do Pico do Itambé e do Monumento Natural Várzea do Lageado e Serra do Raio. Porém nota-se grandes áreas com alta incerteza pela análise de sensibilidade, devido as altas declividades encontradas na região.



Fotografia 14 – Remanescente de Mata Atlântica nas proximidades do Pico do Itambé



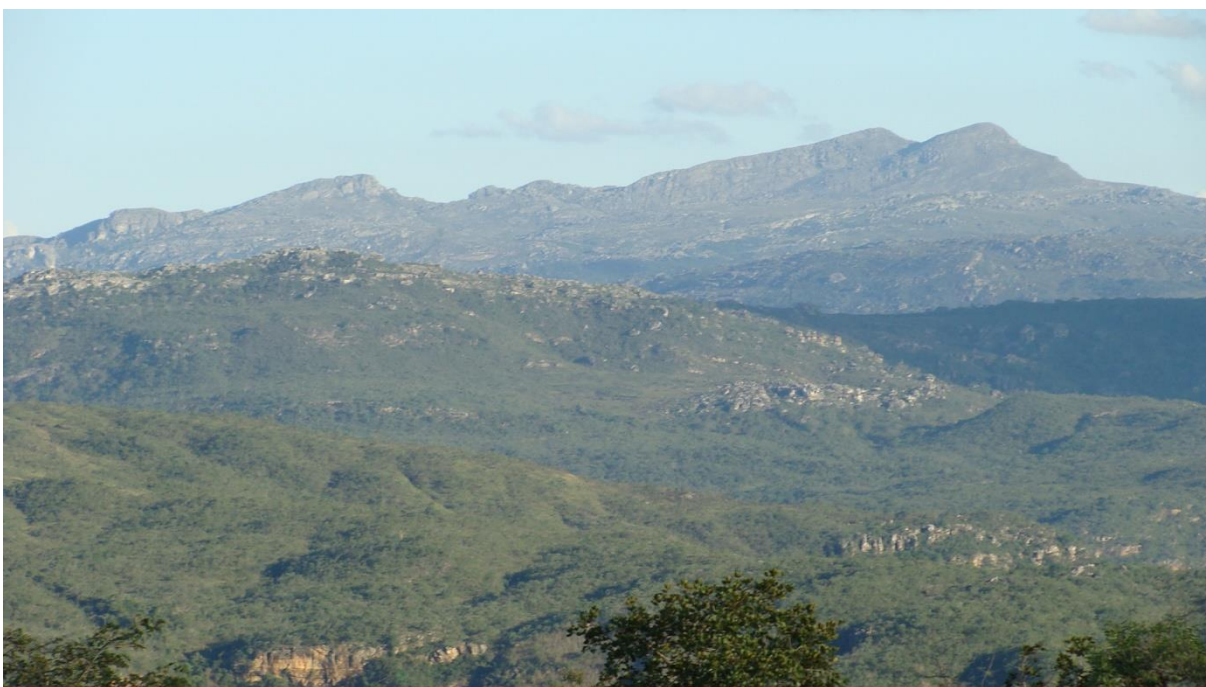
Fotografia 15 - Remanescente de Mata Atlântica preservado. Ao fundo o município de Serra Azul de Minas



Fotografia 16 - Serra da Bicha vista do alto do Pico do Itambé



Fotografia 17 - Campo rupestre de altitude na subida ao Pico do Itambé



Fotografia 18 - Serra dos dois irmãos nas proximidades de São José do Rio Preto



Fotografia 19 - Grande área com remanescente de Cerrado nas proximidades da E.E Mata dos Ausentes. Ao fundo a Serra do Gavião.



Fotografia 20 – Canela de Ema (família das Velloziaceas) na região do Parque Estadual Serra Negra



Fotografia 21 - Grande remanescente de Mata Atlântica na região do Buracão nas proximidades da Serra Negra



Fotografia 22 - Grandes plantações de Eucalipto nas proximidades da Serra Negra no município de Itamarandiba

7 ANÁLISE DA CONECTIVIDADE NA PAISAGEM: UMA APLICAÇÃO UTILIZANDO CADEIAS DE MARKOV, AUTÔMATOS CELULARES E A TEORIA DOS GRAFOS

Resumo

A conectividade representa na paisagem o oposto da fragmentação, em linhas gerais, indica a magnitude da conexão entre os habitats e a respectiva capacidade de dispersão das espécies no espaço. As paisagens são dinâmicas, estando em constante mudança segundo a interação entre os componentes abióticos, bióticos e antrópicos presentes. O entendimento e a percepção sobre a atual conformação da paisagem, juntamente com as possibilidades de interpretação de um cenário passado e a previsão de uma situação futura no espaço, incrementam as possibilidades de ações de planejamento e gestão dos sistemas ambientais. Este estudo procura avaliar uma área em relação ao seu potencial para permitir a conectividade entre fragmentos de habitats na paisagem. A detecção da dinâmica da paisagem foi realizada entre os anos de 2010 e 2012, por meio da avaliação de mapas de uso e ocupação do solo produzidos a partir de uma classificação multitemporal de imagens do satélite RapidEye, e a projeção e análise de um cenário futuro foi modelado para o ano de 2014 por meio da aplicação de algoritmos de Cadeia de Markov e Autômatos Celulares. Para a criação da rede de interligação entre os fragmentos foi utilizado um modelo de quantificação do caminho de menor custo baseado na Teoria dos Grafos e para a análise dos fragmentos situados em posições mais centrais na rede sob uma perspectiva de conectividade na paisagem foi aplicada uma análise de Centralidade de Intermediação. Os resultados demonstraram satisfatoriamente a dinâmica do uso e ocupação do solo no período analisado e as projeções tiveram boa assertividade, levando em conta a validação *in loco* realizada. Tendo em vista o padrão de trampolins de habitat observado na área de estudo, as metodologias baseadas na Teoria dos Grafos tiveram grande adequabilidade e produziram uma avaliação do local com grande capacidade para potencializar o entendimento e a conservação da biodiversidade na área de estudo, podendo também servir de modelo para a aplicação em outras áreas

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Análise Espacial, Conectividade, Biodiversidade

Abstract

Connectivity represents the opposite of fragmentation in the landscape and in general indicates the scope of connection among habitats and its respective capacity for species to disperse in the space. Landscapes are dynamic and under constant change due to interaction between their abiotic, biotic and anthropic elements. Understanding and perceiving the present shape of the landscape together with possibilities for interpreting a past scenario and forecasting a future situation in the space, increment possibilities for environmental systems' planning and management actions. This study strives to assess an area regarding its potential to allow for connectivity between habitat fragments in the landscape. Detection of landscape dynamics was done between 2010 and 2012 via evaluation of land use and occupation maps produced from a multitemporal classification of RapidEye satellite images and a future scenario projection and analysis was modeled for 2014 using Markov Chain and Cellular Automaton algorithms. To create a network of interconnections among fragments a least-cost path model was used based on Graph Theory and to analyze more centrally located fragments under a landscape connectivity perspective a Betweenness Centrality analysis was applied. Results satisfactorily demonstrate land use and occupation dynamics in the period analyzed and projections had good assertiveness taking the in loco validation done into consideration. Due to the habitat stepping stone pattern observed in the study area, methodologies based on Graph Theory were highly adequate and produced an assessment of the site that greatly empowers gains in biodiversity knowledge and conservation actions in the study area as well as being a model for application in other areas.

Keywords: Remote Sensing, Spatial Analysis, Connectivity, Biodiversity

7.1 Introdução

Atualmente observa-se que em diversos contextos paisagísticos, a cobertura vegetal nativa vem sendo substituída por outras formas de uso e ocupação da terra, sendo que em alguns locais pode ocorrer maior intensidade de transformação, haja vista o contexto socioambiental preponderante. Esta tendência de transformação da paisagem tem grande potencial para colocar em risco a biodiversidade, sendo muitas vezes imprescindível a criação de áreas protegidas com o intuito de resguardo da diversidade biológica. Muitas vezes estas áreas protegidas são criadas ou podem vir a se tornar fragmentos isolados em meio a áreas que já sucumbiram à pressão antrópica e pensando num cenário mais realístico, o sucesso para a conservação da biodiversidade no planeta depende da capacidade de sobrevivência da biota em paisagens fragmentadas com intervenção do homem (BENNETT, 2003). A gestão de áreas protegidas de forma isolada não é suficiente para a conservação, sendo necessária uma política de gestão de mosaicos de áreas protegidas, visto que estas áreas são enfaticamente influenciadas pela matriz envolvente (METZGER, 2000). Entender as consequências das mudanças ocorridas nos habitats e desenvolver efetivas estratégias para a manutenção da biodiversidade em paisagens modificadas é um dos maiores desafios de cientistas e gestores ambientais na atualidade.

Este artigo propõe uma análise, em escala de mais detalhe, de uma das áreas previamente identificadas em estudo anterior dos mesmos autores (RIBAS et al., 2014), como potencial para permitir a conectividade na paisagem. Neste artigo o enfoque será na conectividade estrutural (Hargrove et al., 2004; Goez et al., 2009) com direcionamento para os atributos físicos da paisagem (tamanho, forma, etc.) de fragmentos de tipologias de uso do solo. A presente investigação consistirá da realização de mapeamentos do uso e ocupação do solo em épocas distintas (passado e presente), tendo como base imagens de alta resolução espacial do satélite *Rapideye*. Estes mapeamentos, além de apresentar a tendência das tipologias de uso no período analisado, permitem a observação da realidade atual com grande precisão de detalhes, servindo também de base para a modelagem de um cenário futuro. Esta etapa do estudo foi desenvolvida com suporte de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográfica, no qual foram implementados procedimentos de análise e simulação espacial por meio de algoritmos de Cadeia de

Markov e Autômatos Celulares. Foi também realizada uma análise visando a identificação dos fragmentos com melhor potencial para permitir a conectividade na paisagem. Essa avaliação foi baseada na Teoria do Grafos, com a representação da paisagem a partir de uma estrutura de rede com ligação entre diversos vértices.

7.2 A investigação da paisagem e sua dinâmica

De acordo Christofolletti (1999) os sistemas ambientais representam entidades organizadas na superfície terrestre, de modo que a espacialidade representa uma de suas características inerentes e sua organização está vinculada aos elementos que os constituem.

A dinâmica de evolução das paisagens no espaço apresenta cenários distintos periodicamente e avaliação destes cenários, levando em conta, além do próprio espaço em si, a influência do tempo na alteração dos processos naturais e antrópicos, produz uma investigação menos limitada das condições do ambiente. Um modelo é designado como dinâmico no momento em que possui uma dimensão temporal explícita, ou seja, apresenta entradas e saídas que variam em função do tempo e se seu estado presente tem dependência de um estado anterior (WEGENER et al., 1986).

A avaliação e criação de cenários é uma abordagem na qual a paisagem, que é o objeto de estudo, deve ser previamente investigada em suas peculiaridades. Segundo Para a elaboração de perspectivas para um de cenário da paisagem, os fluxos e forças que impulsionam o desenvolvimento natural dos elementos abióticos e bióticos dos geossistemas e ecossistemas precisam ser conhecidos, assim como a influência dos elementos antrópicos que estimulam a transformação da paisagem.

7.2.1 Cadeia de Markov e Autômato Celular

Os procedimentos de Cadeia de Markov e Autômato Celular são indicados para a análise da dinâmica espacial e possuem grande aplicação em investigações dos sistemas ambientais (MONDAL & SOUTHWORTH, 2010; SANG et al., 2011). A simulação por Cadeia de Markov é um processo estocástico, visto que podem ser

agregadas uma ou mais variáveis aleatórias para o desenvolvimento de um modelo para o entendimento de um dado fenômeno. A Cadeia de Markov tem grande aplicação na simulação de sistemas dinâmicos, principalmente em estudos que visam detectar alterações no uso e ocupação do solo (MULLER & MIDDLETON, 1974). Em sistemas ambientais, este algoritmo tem a capacidade de simular um cenário futuro para uma determinada paisagem, baseando-se nos seus estados precedentes, ou seja, o tempo t_{2014} depende dos valores medidos nos tempos t_{2010} e t_{2012} . Este procedimento se torna interessante para o estudo de mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo, visto não ser um algoritmo muito complexo e por possuir grande interoperabilidade de implementação em ambiente SIG, assim como pelo fato de admitir como fonte de dados produtos provenientes de Sensoriamento Remoto.

Uma limitação da Cadeia de Markov é a sua característica de não relacionar a informação de uma célula ou pixel com as células vizinhas e também, a impossibilidade da inclusão de variáveis catalisadoras do fenômeno estudado, como por exemplo a inclusão de uma camada de rodovia para a explicação do fenômeno de desmatamento ou a espacialização de um dado socioeconômico que pode estar direcionando determinado fluxo de migração entre regiões, neste sentido, percebe-se que este modelo consegue indicar onde e qual a quantidade de mudança ocorrida, porém não consegue aprimorar a análise com respostas sobre o porquê da ocorrência da situação.

Um modelo dinâmico que pode ser acoplado à Cadeia de Markov buscando amenizar essa sua limitação é o Autômato Celular. Neste algoritmo, a situação atual de uma célula irá depender do estado precedente das células vizinhas a esta, seguindo uma regra de transição para a atribuição do novo valor.

Segundo Wolfram (1983; 1984) os autômatos são malhas com células regulares, nas quais cada célula possui um valor discreto e um tempo definido, podendo estes serem alterados em função do valor das células vizinhas. Para cada célula do modelo são inseridas regras de transição que indicam o momento e a justificativa para alteração do valor de determinada célula.

A combinação dos algoritmos de Cadeia de Markov com Autômato Celular constitui uma metodologia com grande sintonia para investigações da dinâmica da paisagem, tendo em vista a característica de inter-relacionamento entre os elementos formadores e atuantes no meio ambiente.

7.2.2 Análise de Rede e Teoria dos Grafos

A avaliação da conectividade na paisagem para a conservação da biodiversidade é uma das áreas inseridas no escopo da Ecologia da Paisagem que tem observado um grande crescimento no número de pesquisas nas últimas décadas. Provendo suporte a estas pesquisas diversas metodologias vem sendo desenvolvidas e validadas no sentido de mensurar a conectividade na paisagem. Em particular, temos os procedimentos de análise de redes provendo aplicações robustas para pesquisas científicas direcionadas ao estudo da complexidade dos sistemas ambientais e dos mosaicos de paisagem (CANTWELL & FORMAN, 1993).

A modelagem matemática de uma estrutura de rede é bem representada em sua topologia por um grafo, que é um diagrama formado por um conjunto de vértices interconectados por linhas de ligação entre os mesmos. Neste sentido, uma analogia com o formato presente nas paisagens fragmentadas é possível, sendo os vértices a representação das manchas de fragmentos e as linhas de interligação, representando os corredores ecológicos capazes de permitir a dispersão da biodiversidade na matriz.

A análise de redes e a teoria dos grafos disponibilizam uma grande quantidade de ferramentas e métodos para a análise de sistemas complexos, possuindo diversas aplicações sob a perspectiva dos estudo da paisagem e das interações entre as espécies e seus habitats (Fall et al., 2007; Urban et al., 2009), assim como também oferece grande suporte para a avaliação, planejamento e gestão para a criação de áreas protegidas sob a perspectiva de manutenção da conectividade na paisagem (BUNN et al., 2000; URBAN & KEITT, 2001; MINOR & URBAN, 2007). Em publicação recente, Dale & Fortin (2010) apresentam um revisão interessante sobre a aplicação da teoria dos grafos em estudos relacionados à Ecologia de Paisagens.

7.3 Materiais e Métodos

7.3.1 Área de estudo

A área de estudo abrange um total de aproximadamente 65.000 hectares, interceptando os limites dos municípios de Francisco Dumont, Joaquim Felício, Buenópolis e Bocaiúva no estado de Minas Gerais. Conforme apresentado no mapa da (Figura 32), a área está localizada na porção noroeste do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral. Na área de estudo existem grandes manchas de vegetação com porte arbóreo na paisagem, apresentando um padrão de trampolins de habitat (*stepping stones*) que tem potencial para permitir a conectividade entre a região norte da Serra do Cabral e a face principal da Serra do Espinhaço nas proximidades do Parque Nacional Sempre Vivas.

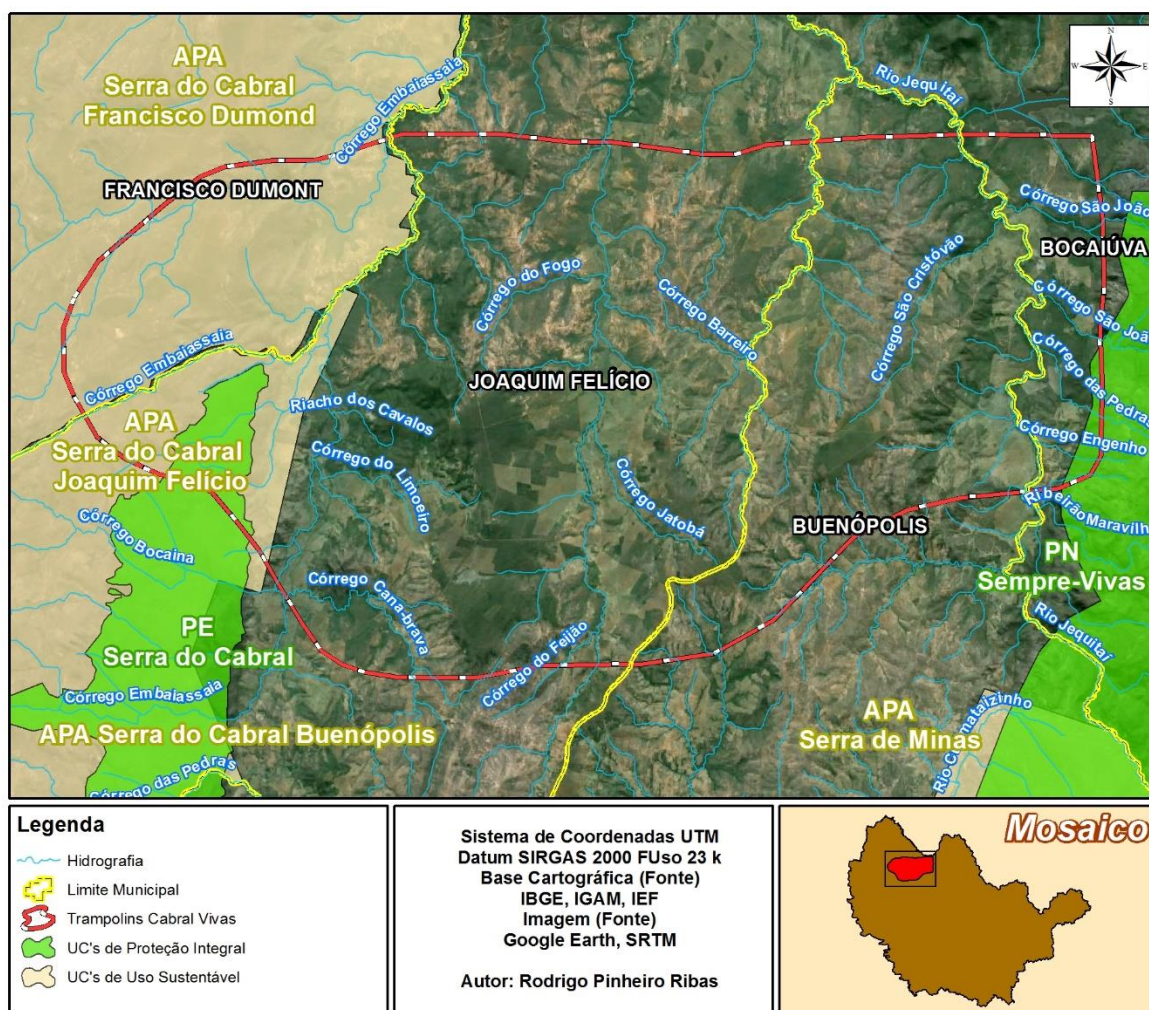


Figura 32 - Localização da área de estudo

7.3.2 Base de dados

Para a análise da dinâmica temporal da estrutura da paisagem foram utilizadas imagens do mês de setembro nos anos de 2010 e 2012, provenientes da constelação de satélites alemã *RapidEye*. Esta constelação possui 5 satélites equipados com sensor multiespectral capaz de capturar imagens em 5 bandas espectrais e com 5 metros de resolução espacial após ortorretificação. O *RapidEye* possui a banda *Red-Edge* propícia para monitoramento da atividade fotossintética da vegetação, sendo assim muito indicado para o mapeamento da cobertura vegetal.

7.3.3 Processamento das imagens de satélite

O pré-processamento, realce da imagem e posterior classificação da imagem foram realizados no *software* SPRING. Na fase de pré-processamento as imagens foram reprojatadas para o datum utilizado no estudo (SIRGAS 2000 - Fuso 23k Sul) e para a correção atmosférica foi utilizado o método Dark Object Subtraction (DOS) (CHAVEZ, 1988). Para o realce da imagem foi aplicado um realce linear de histograma. O realce de contraste produz uma ampliação do intervalo original dos níveis de cinza, de forma que eles são exibidos num intervalo maior. Este processo não aumenta a quantidade de informação contida na imagem, o objetivo é apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete. Para o total recobrimento da área em análise foi necessário a realização do procedimento de mosaico entre 2 cenas do satélite, sendo estas as imagens com os identificadores 2330918 e 2330919.

Para a classificação das imagens neste estudo, foi utilizado um classificador supervisionado por máxima verossimilhança (MAXVER). Na classificação supervisionada, o usuário seleciona amostras representativas para cada uma das classes que se deseja identificar na imagem. Inicialmente foram selecionadas 2 classes para esta classificação sendo elas, vegetação de porte arbóreo e matriz (incluindo vegetação rasteira, pastagem entre outras tipologias desta natureza). Foram adquiridas 30 amostras de treinamento para cada classe.

Após a classificação foi realizada a interpretação visual da imagem, procedimento de pós-classificação no qual um especialista humano extrai as informações baseando-se na inspeção visual da imagem. Este procedimento foi realizado com apoio de um SIG, o programa ArcGIS 10.1. Esta etapa foi realizada para a inserção da classe temática eucalipto, campo rupestre, água e estradas. Justifica-se esta etapa pelas seguintes razões: a classe vegetação arbórea inclui as espécies nativas da região e também as exóticas de porte arbóreo, tais quais o eucalipto. A classificação da água e estradas por métodos automáticos muitas vezes não reproduz essa tipologia de forma fiel. A tipologia Campo Rupestre é específica em suas características espectrais, sendo facilmente confundida com áreas de solo exposto.

Levando em conta que o formato espacial proveniente das plantações do eucalipto é peculiar, foi possível realizar a distinção de tais áreas para um mapeamento manual. Para a classe Campo Rupestre partiu-se do pressuposto sustentado por diversas investigações científicas, de que esta tipologia ocorre principalmente acima de 900 m de altitude, em montanhas cujas rochas são de origem pré-cambriana que foram remodeladas por movimentos tectônicos, estando associados, principalmente, a afloramentos de quartzito, arenito e minério de ferro. Para as classes água e rodovias foi realizado um ajuste das bases oficiais em escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) baseado em interpretação visual das imagens *RapidEye*.

7.3.4 Modelagem da dinâmica espacial

A análise e modelagem da dinâmica espacial foi realizada com suporte do programa computacional IDRISI Selva (EASTMAN, 2011). Foram utilizados os mapeamentos do uso e ocupação do solo nos anos de 2010 e 2012 para a detecção e análise das mudanças ocorridas na paisagem. Após a identificação e análise das mudanças ocorridas neste período, foi realizada a simulação da paisagem para o ano de 2014. Esta data foi especificada para a simulação, visto que o intervalo entre os mapeamentos reais provenientes das imagens *Rapideye* disponíveis, também é de 2 anos. Outro fato que incentivou a realização de uma projeção para o ano de 2014 é a possibilidade metodológica de validação em campo da probabilidade que será demonstrada.

A matriz de transição de área gerada pelo algoritmo de cadeia de Markov, será a regra utilizada para guiar a mudança dos estados no modelo dos autômatos celulares. Foram realizadas 2 iterações no modelo de autômato celular e foi aplicado o filtro de 5x5 para análise da vizinhança.

O erro proporcional considerado para o mapeamento de uso e cobertura do solo foi de 0,15 %, segundo indicação de Pontius (2000), tendo em vista que a classificação teve ajustes manuais. Foram introduzidas no modelo 4 variáveis catalisadoras do processo de transformação da paisagem, sendo elas a distância das estradas, a distância de focos de incêndio (Base de Monitoramento do INPE), as características pedológicas da região (Mapeamento Pedológico da Universidade Federal de Lavras) e também a proximidade de monoculturas de eucalipto já existentes na área.

7.3.5 Análise de rede

Para a análise de rede foi utilizado o programa MatrixGreen Bodin & Zetterberg (2010), este aplicativo possui uma extensão customizada no ambiente SIG do ArcGIS. Para a criação da rede de conexão na paisagem foram utilizados como manchas de referência os fragmentos com maior área núcleo, selecionados a partir da tipologia arbórea, obtida por meio do mapeamento categórico de uso e ocupação do solo.

Inicialmente é necessária a criação da rede (linhas) de conexão entre os fragmentos e para isso o MatrixGreen dispõe de três formas de cálculo: utilizando a distância euclidiana entre as manchas; efetuando o cálculo a partir da proximidade entre as bordas das manchas e, por fim; utilizando um modelo de quantificação do caminho de menor custo *least-cost path analysis* (LCPA). Neste estudo foi utilizado a LCPA para a criação da rede, sendo para isso necessário a criação de um dado matricial no qual os valores dos pixels representassem a magnitude da resistência da matriz para a dispersão das espécies. Esta imagem foi criada atribuindo-se valores para as tipologias de uso mapeadas, sendo os valores mais altos, aqueles que proporcionam maior dificuldade de locomoção, como por exemplo, as rodovias, que obtiveram o valor mais elevado. A ordem (do valor mais alto para o mais baixo) utilizada foi a seguinte: rodovias; eucalipto; água; matriz; campo rupestre e arbórea.

Também é necessário informar qual a distância máxima de deslocamento possível e neste ponto, tendo em vista este estudo possuir uma abordagem sob o foco da conectividade estrutural e não da conectividade funcional (a partir do conhecimento da capacidade de dispersão dos organismos da região), uma alternativa para a falta de dados primários sobre a dispersão de espécies na paisagem analisada é a busca de informações em publicações científicas sobre o tema em áreas similares ao estudo. Tendo em vista a análise de alguns estudos (RODRIGUES & MARINHO-FILHO, 1999, 2001; TROVATI & BRITO, 2009; SANTOS JUNIOR, 2013) envolvendo espécies similares a da área em questão foi definida 5.000 metros, como sendo a distância máxima de deslocamento.

Após a criação da rede de conexão de menor custo entre os fragmentos foi realizada uma análise da conectividade na paisagem com foco em cada mancha de fragmento individualmente, aplicando-se o conceito de Centralidade de Intermediação (*Betweenness Centrality*). Este algoritmo, proposto por (Freeman, 1977) está implementado no MatrixGreen e tem como objetivo principal indicar a influência de um vértice nos seus pares em um grafo desconexo. Esta análise é uma forma de identificar os fragmentos que estão situados em posições mais centrais na rede sob uma perspectiva de conectividade entre os mesmos, sendo assim esta métrica se torna adequada para a identificação dos trampolins de habitat (*stepping stones*) na paisagem.

7.4 Resultados e Discussões

A (Figura 33) apresenta os ganhos e perdas em área hectares (ha) por categoria de uso e ocupação do solo, apresenta também o saldo final por categoria, indicando se uma classe ganhou ou perdeu mais em área no período analisado e também apresenta quais foram as classes catalisadoras das mudanças nas classes que sofreram transformações significativas. Percebe-se que as classes eucalipto e vegetação arbórea foram as únicas que obtiveram saldo positivo no período. Um fato que pode estar relacionado a esta tendência é a aprovação da Lei Estadual 18.365 em 2009, que definiu como meta a redução do consumo de carvão de vegetação de origem nativa até o limite máximo de 5% do consumo total por ano a partir de 2019,

criando uma expectativa de crescimento de plantações de eucalipto para suprir a demanda e em contrapartida a conservação de espécies nativas já pode estar sendo estabelecida como uma medida para adequação por empresas do setor.

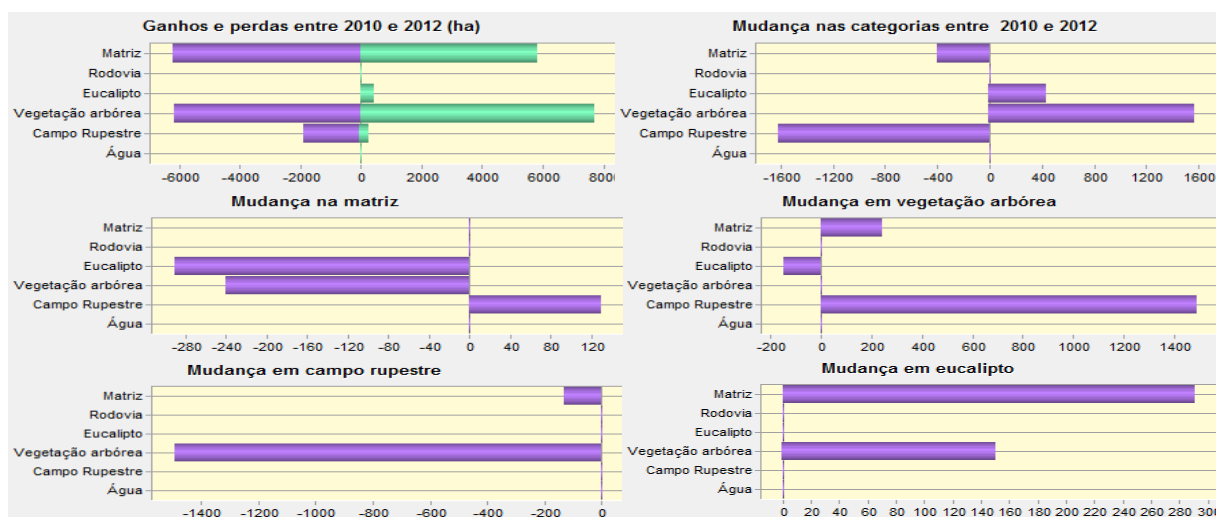


Figura 33 - Quantitativos extraídos do uso e ocupação do solo

A matriz de probabilidade apresentada na (Tabela 7) foi o resultado obtido pela aplicação da cadeia de Markov nos mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 2010 e 2012. Esta matriz representa a probabilidade de uma determinada classe se modificar e tornar-se outra. Analisando as informações contidas na tabela, temos na diagonal principal a probabilidade existente das classes não sofrerem transformações.

Tabela 7 - Matrix de probabilidade de transição para as classes

	<i>Água</i>	<i>Rupestre</i>	<i>Arbórea</i>	<i>Eucalipto</i>	<i>Rodovia</i>	<i>Matriz</i>
<i>Água</i>	0.8500	0.0000	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Rupestre</i>	0.0000	0.6132	0.3816	0.0000	0.0000	0.0052
<i>Arbórea</i>	0.0000	0.0289	0.5875	0.0098	0.0000	0.3738
<i>Eucalipto</i>	0.0000	0.0000	0.0285	0.8492	0.0000	0.1223
<i>Rodovia</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8500	0.0000
<i>Matriz</i>	0.0000	0.0000	0.0135	0.2747	0.0000	0.7117

Observa-se assim que a classe arbórea possui a menor probabilidade entre as demais classes de não sofrer modificações, com aproximadamente 59%, sendo que, a classe

com maior possibilidade de vir a se tornar arbórea é a classe matriz, possuindo cerca de 37% de chance. Esta constatação é totalmente pertinente com a realidade que vem ocorrendo não só na área de estudo, mas em diversas partes do país, onde a vegetação nativa é substituída por pastagens, culturas entre outras tipologias relacionadas ao uso antrópico.

A classe campo rupestre apresenta aproximadamente 61% de probabilidade de não se modificar, e é interessante notar que a classe arbórea responde por cerca de 38% dessa chance de mudança. Esta situação pode ser explicada por uma tendência de aumento da vegetação ciliar de porte arbóreo nas margens das drenagens que cortam os campos rupestres. A classe matriz possui alta probabilidade de não sofrer mudança, porém em suas áreas que possuem chance de ocorrência de transformações, a maior probabilidade é que estas se transformem em eucalipto. Essa situação pode ser sustentada devido à melhor condição pedológica para o desenvolvimento desta monocultura nos cambissolos existentes na matriz e também à presença de melhor infraestrutura viária.

Além da matriz de transição, a aplicação da cadeia de Markov produz um mapa de probabilidade de transformação para cada categoria do mapeamento e também realiza uma projeção estocástica de cada célula ou pixel pertencer a uma classe diferente da atual, conforme apresentado na (Tabela 8).

Tabela 8 – Matriz de probabilidade de cada pixel pertencer a outra classe

	<i>Água</i>	<i>Rupestre</i>	<i>Arbórea</i>	<i>Eucalipto</i>	<i>Rodovia</i>	<i>Matriz</i>
<i>Água</i>	92118	0	16257	0	0	0
<i>Rupestre</i>	0	814330	506809	0	0	6960
<i>Arbórea</i>	0	246787	5022921	83556	0	3196140
<i>Eucalipto</i>	0	0	18205	541785	0	78019
<i>Rodovia</i>	0	0	0	0	198185	0
<i>Matriz</i>	0	0	205031	4162210	2	10782697

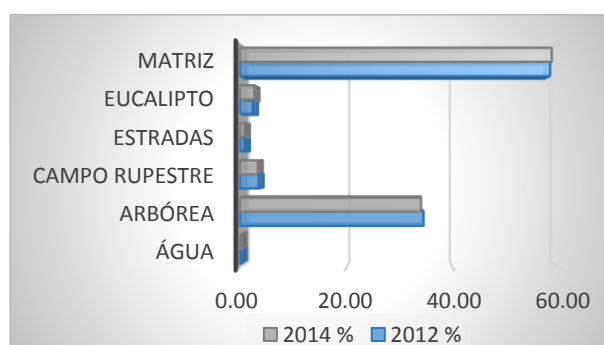
Constatou-se, conforme valores quantitativos de área por classe em 2012 e 2014 apresentados na Tabela 3. O aumento da classe Matriz e da classe Eucalipto de forma mais expressiva, com um incremento de 203,97 e 196,69 hectares respectivamente.

De forma mais discreta foi verificada uma possível tendência no aumento do número de estradas.

As classes Campo Rupestre e Vegetação Arbórea tiveram diminuição em quantidade no período analisado, com perda de 107,86 e 295,95 hectares respectivamente. Dentre essas análises percebemos que as classes Eucalipto e Campo Rupestre mantiveram a tendência mapeada entre 2010 e 2012, da qual foi extraída a matriz de probabilidade de transição, ocorrendo o ganho em área do Eucalipto e a perda do Campo Rupestre.

Na (Tabela 9) apresenta-se os valores quantitativos de área por classe em 2012 e a imagem proveniente da simulação para o ano de 2014. Constatou-se o aumento da classe Matriz e da classe Eucalipto de forma mais expressiva, com um incremento de 203,97 e 196,69 hectares respectivamente. De forma mais discreta foi verificada uma possível tendência no aumento do número de estradas. As classes Campo Rupestre e Vegetação Arbórea tiveram diminuição em quantidade no período analisado, com perda de 107,86 e 295,95 hectares respectivamente. Dentre essas análises percebemos que as classes Eucalipto e Campo Rupestre mantiveram a tendência mapeada entre 2010 e 2012, da qual foi extraída a matriz de probabilidade de transição, ocorrendo o ganho em área do Eucalipto e a perda do Campo Rupestre.

Tabela 9 - Quantitativos de área por classe



Além da comparação entre o mapeamento realizado em 2012 e simulação para 2014, foi realizada uma verificação da situação real de uso do solo e cobertura vegetal também no ano de 2014. Esta verificação in loco foi realizada no mês de novembro

de 2014, sendo realizada nas áreas onde foram detectadas as mais expressivas possibilidades de alterações em virtude da simulação realizada. Foram vistoriadas 7 áreas em campo, conforme demonstrado na (Figura 34). Foi observado que em 4 áreas validadas (áreas 2, 3, 4, 5) a tendência realmente se consolidou, com um aumento da classe eucalipto ocorrendo nas áreas, seguindo inclusive o formato previsto. Nas áreas 1 e 6 não foi observado o avanço do eucalipto, mantendo-se na paisagem a vegetação de porte arbóreo típica de cerrado presente na região. A área 7, que apontou uma tendência de avanço da matriz em detrimento de vegetação de porte arbóreo, também não se consolidou, visto que a área se manteve com a vegetação natural, porém verifica-se no entorno grande influência da matriz por meio de pastagens, o que acaba tornando esta área susceptível a fragmentação.

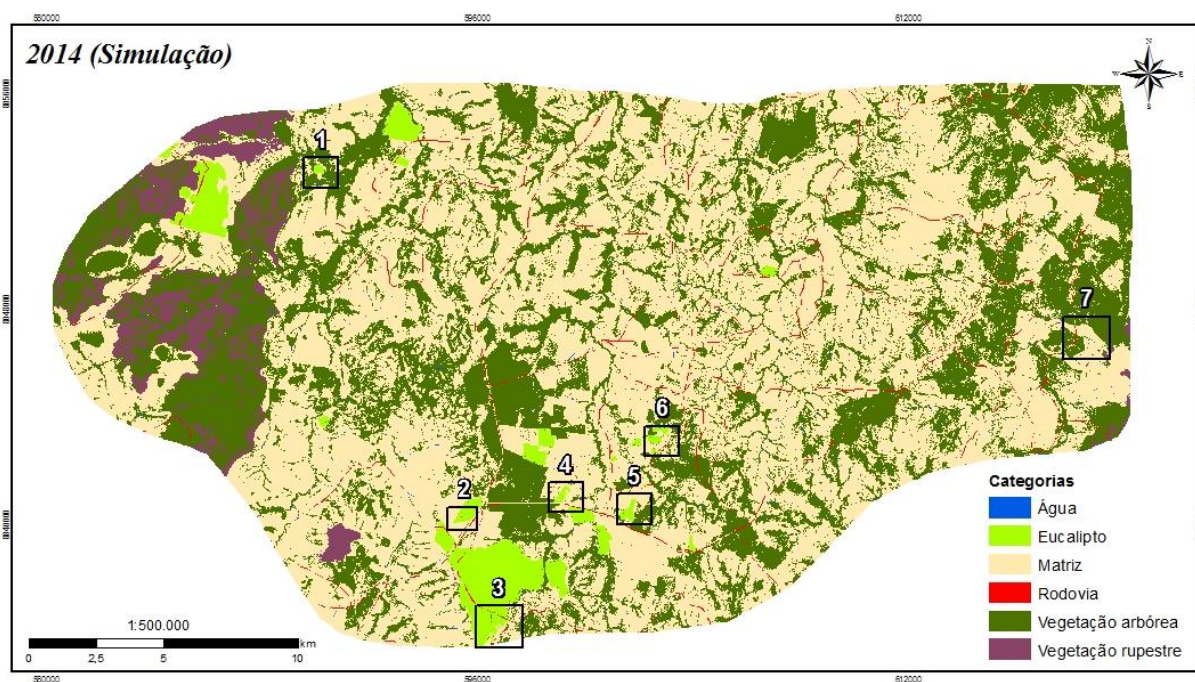


Figura 34 - Áreas de validação em campo

A aplicação da análise de rede pelo método do caminho de menor custo possibilitou a criação de uma rede interligando os fragmentos de forma satisfatória, conforme apresentado na (Figura 35). Foi possível a modelagem de um corredor capaz de interligar os fragmentos por um caminho que perpassa o centro da área de estudo, capaz de permitir o trânsito desde o oeste nas proximidades da Serra do Cabral até a leste próximo as redondezas do Parque Nacional Sempre Vivas.

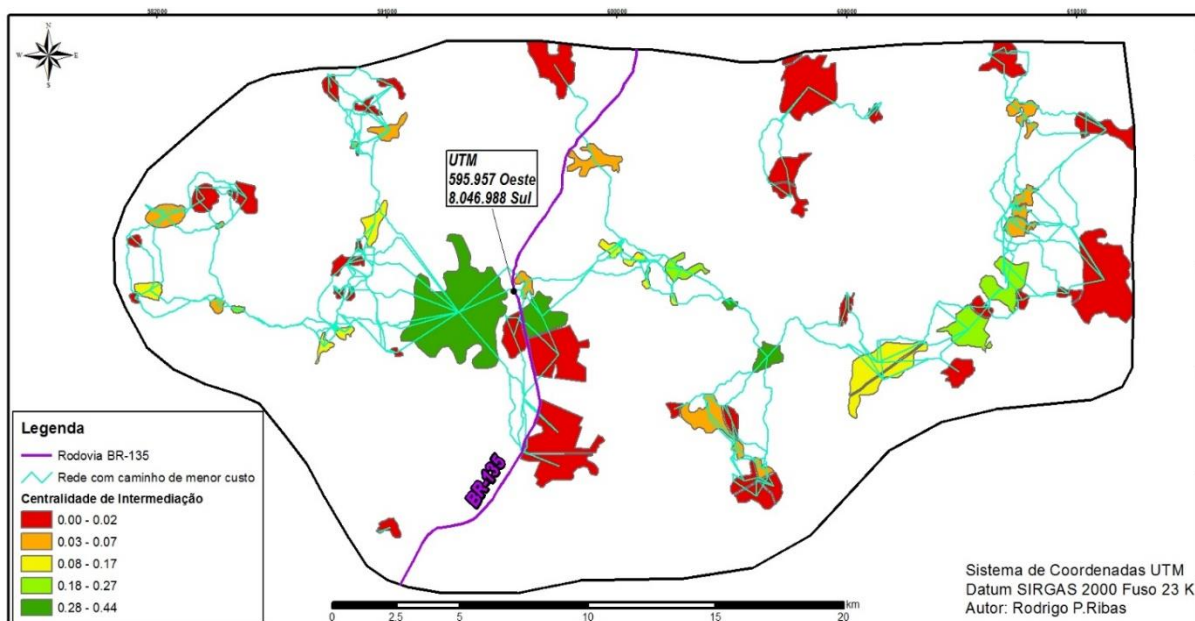


Figura 35 - Rede com caminho de menor custo e centralidade dos fragmentos

Neste caminho com menor resistência, a maior barreira para a conectividade entre os fragmentos é a BR-135, que corta perpendicularmente a área de estudo e a respectiva rota modelada. Uma opção para transpor esta barreira ou pelo menos amenizar os efeitos desta no trânsito da biodiversidade seria a aplicação dos conceitos de travessia de biodiversidade (*Wildlife Crossings*). Neste conceito, a construção de estruturas arquitetônicas podem vir a permitir a viabilização da interligação entre habitats e diminuição da mortalidade de fauna com a realização de obras de arte ao longo das estradas para a facilitação do trânsito das espécies presentes na região. Este conceito vem sendo pesquisado no meio acadêmico, com destaque para a publicação *Road Ecology: Science and Solutions* (FORMAN et al., 2003) que apresenta um capítulo dedicado a Análise de Rede para a implantação de rodovias ecológicas. A partir da análise do mapeamento apresentado na Figura 4, entendemos que uma local ótimo para a criação de uma travessia para biodiversidade seria nas proximidades das coordenadas UTM 595.957 Oeste e 8.046.988 Sul.

A análise de importância dos fragmentos em função de sua centralidade na rede criada, realizada por meio da análise de centralidade de intermediação, permitiu a identificação dos fragmentos que devem ser observados com mais cuidado em termos de conservação. Uma interpretação ecológica do índice de centralidade de intermediação é a sua potencial capacidade de indicar os fragmentos da rede que

possuem maior proporção de caminhos mais curtos de dispersão entrecortando sua área e, com isso, essa mancha tem probabilidade de possuir maior variedade genética de longo prazo. A centralidade de intermediação se caracteriza como um índice que varia entre 0 e 1, onde os valores mais altos indicam maior relevância do fragmento ou maior centralidade, sendo estes os fragmentos mais importantes para garantir a conectividade na paisagem.

No mapa da (Figura 35) aparecem os fragmentos mapeados de acordo com o respectivo valor do índice de centralidade de intermediação. Os fragmentos com valores mais altos são as peças fundamentais a serem consideradas para a busca da conectividade e formam um padrão de trampolins de habitat.

Este índice se mostra importante também na avaliação da fragmentação, visto que indica fragmentos ou regiões mais susceptíveis ao isolamento. É importante ressaltar que tais fragmentos são importantes em virtude de sua centralidade, sendo que os demais fragmentos não devem ser simplesmente descartados por não terem centralidade para a conexão, pois estes podem ser relevantes segundo outros aspectos, como por exemplo, possuir grandes áreas núcleo.

7.5 Considerações Finais

Concluimos que a vantagem em se aplicar modelos na investigação da dinâmica da paisagem é a capacidade de trânsito em vários cenários temporais. Entendemos que o benefício de um modelo de simulação ocorre quando este é conjugado com uma boa análise *in loco* da área em foco, de forma que uma imersão na realidade atual seja capaz de instigar a um aprofundamento no conhecimento das engrenagens que dinamizam o espaço, permitindo assim a produção de boas pesquisas sobre o presente, com apoio no percurso originado no passado e com propostas produtivas para acompanhar a tendência num possível cenário futuro.

O *software* IDRISI Selva por meio do módulo CA-MARKOV se mostrou uma ferramenta de útil para o desenvolvimento da análise da dinâmica da paisagem, possuindo boa performance para o trabalho com dados *raster*. O resultado obtido na previsão do cenário utilizando cadeia de Markov e Autômato Celular foi bastante

coerente com a realidade observada em campo, podendo assim ser considerada uma metodologia robusta para o entendimento e previsão de tendências na forma de uso e ocupação do solo.

A manutenção ou reestabelecimento da conectividade na paisagem pode evitar a extinção de espécies, principalmente aquelas que continuam sobrevivendo em paisagens alteradas e possivelmente encontram dificuldades para a dispersão num ambiente fragmentado. A análise de rede baseada na teoria dos grafos por meio do programa MatrixGreen se mostrou uma aplicação robusta e de fácil implementação, capaz de criar um cenário para dar subsídio a novos formatos de planejamento ambiental com foco na conectividade.

Referências Bibliográficas

BENNETT, A.F. **Linkages in the landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom: The World Conservation Union (IUCN) Forest Conservation Programme, 2 ed. 2003. 262 p.

BODIN, Ö., ZETTERBERG, A. **MatrixGreen User's Manual: Landscape Ecological Network Analysis Tool**. Stockholm University and Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2010.

BUNN, A., URBAN D.L., KEITT, T. Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. **J Environ Manag.** v. 59, p. 265–278, 2000.

CANTWELL, M. D., FORMAN, R. T. T. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes. **Landscape Ecology.** v. 8, p. 239-255, 1993.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment.** v. 24: p.459-479, 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blücher, 1999. 236 p.

DALE, M.R.T., FORTIN, M.J. From graphs to spatial graphs. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics.** v. 41 (1), p. 21-38, 2010.

EASTMAN, J.R. IDRISI Selva: **Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark Labs. 2011. 327 p.

FALL, A., FORTIN, M.-J., MANSEAU, M., O'BRIEN, D. Spatial Graphs: Principles and Applications for Habitat Connectivity. **Ecosystems**. v. 10, p. 448-461, 2007.

FORMAN, R.T.T., SPERLING, D., BISSONETTE, J.A., CLEVINGER, A.P., CUTSHALL, C.D., DALE, V.H., FAHRIG, L., FRANCE, R., GOLDMAN, C.R., HEANUE, K., JONES, J.A., SWANSON, F. J., TURRENTINE, T., WINTER. T.C. **Road Ecology Science and Solutions**. Island Press, Washington, D.C., 2003.

FREEMAN, L.C. A set of measures of centrality based on betweenness. **Sociometry**. V. 40, p. 35-41, 1977.

GOEZ, S.J., JANTZ, P. & JANTZ, C.A. Connectivity of core habitat in the northeastern united states: parks and protected areas in a landscape context. **Remote sensing of environment**. v. 113, p. 1421-1429, 2009.

HARGROVE, W.W., HOFFMAN, E.M. & EFROYMSON, R.A. A practical map-analysis tool for detecting potential dispersal corridors. **Landscape Ecology**. v.20, p.361-373, 2004.

METZGER, J.P. Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. **Ecological Applications**, v. 10 (4), p. 1147-1161, 2000.

MINOR, E.S., URBAN, D.L. Graph theory as a proxy for spatially explicit population models in conservation planning. **Ecological Applications**. v.17, p. 1771–1782, 2007.

MONDAL,P., SOUTHWORTH, J. Evaluation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 1716-1725, 2010.

MULLER, M.R., MIDDLETON, J. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. **Landscape Ecology**, v.9 (2), p. 151-157, 1974.

PONTIUS, R.G. JR. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. **Photogramm Eng Remote Sensing**, v.66, p.1011-1016, 2000.

RODRIGUES, F.H.G., MARINHO-FILHO, J. Translocation of two species of small wild cats in Central Brazil: A preliminary report. **Cat News**. v. 30, p.28, 1999.

RODRIGUES, F.H.G., MARINHO-FILHO, J., SANTOS, H.G. Home ranges of translocated lesser anteaters *Tamandua tetradactyla* in the cerrado of Brazil. **Oryx**, v. 35, p. 166-169, 2001.

SANG, L., ZHANG, CH., YANG, J., ZHU, D. AND YUN, W. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, p. 938-943, 2011.

SANTOS JUNIOR, T.S. **Mamíferos do Cerrado de Mato Grosso, com ênfase no uso do espaço por *Cerdocyon thous* (Carnivora, Canidae) e *Mazama***

gouazoubira (Artyodctyla, Cervidae). Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, 2013. 86p.

TROVATI, R.G; BRITO, B.A. Nota sobre deslocamento e área de uso de tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*) translocado no Cerrado brasileiro. **Neotropical Biology and Conservation**. v. 4, p.144-149, 2009.

URBAN, D.L., KEITT, T. Landscape connectivity: a graphtheoretic perspective. **Ecology**. v. 82, p. 1205–1218, 2001.

URBAN, D.L., MINOR, E.S., TREML, E.A., SCHICK, R.S. Graph models of habitat mosaics. **Ecol. Lett.** v. 12 (3), p. 260–273, 2009.

WEGENER, M.; GNAD, F.; VANNAHME, M. The time scale of urban change. In: HUTCHINSON, B.; BATTY, M. (Ed.). **Advances in urban systems modelling**. Amsterdam: Elsevier. v. 17, p. 175-197, 1986.

WOLFRAN, S. The statistical mechanics of cellular automata. **Review of Modern Physics**, v. 55, p. 601-643, 1983.

WOLFRAM, S. Universality and complexity in cellular automata. **Physica**. v. 10, p. 1–35, 1984.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi construída uma proposta metodológica com auxílio das geotecnologias para a análise da conectividade estrutural na paisagem, sendo esta proposta embasada por conceitos teóricos e práticos constituídos no escopo da Geografia e Ecologia da Paisagem. A característica marcante de integração entre os saberes de várias disciplinas presente na Geografia e na Ecologia, permitiu uma abordagem e respectivas análises de maneira integrada, permitindo uma contextualização mais abrangente da área de estudo a partir do foco de pesquisa proposto.

É fato que a natureza vem sendo apropriada pelo homem, ocasionando a transformação da paisagem em função da forma como se orienta a relação entre as comunidades antrópicas e o meio natural. A tendência de fragmentação dos habitats naturais prevalece na grande maioria das paisagens naturais em todo o planeta e, por meio da presente investigação, constatou-se que essa situação também ocorre na área de estudo desta tese. Percebe-se atualmente, que a Geografia tem ficado cada vez mais especializada, os profissionais tendem a criar um foco de pesquisa numa determinada vertente, seja ela numa linha mais humana, física ou tecnológica e, ao enveredar por este caminho a abordagem sistêmica pode vir a perder força nas análises. É claro que não se pode generalizar esta situação, visto existirem geógrafos utilizando a abordagem sistêmica em suas pesquisas, principalmente aqueles que se dedicam à área da Geografia Física, e é importante nesse ponto ressaltar que essa própria divisão entre Geografia Física e Humana, já caracteriza uma forma de especialização.

Não vamos aqui entrar no mérito da dicotomia existente entre a Geografia Física e Humana e se tal divisão pode enfraquecer ou permitir a evolução da ciência, o que constata-se é a capacidade de aglutinação de abordagens da Ecologia da Paisagem, com um ramo de pesquisa com foco nas espécies e outro na espacialidade. Esta característica permite uma análise integradora entre estrutura e função da paisagem. Percebe-se também que a grande maioria dos estudos que tem embasamento nos conceitos da Ecologia da Paisagem se orientam sob a perspectiva de conservação da biodiversidade e tendem a incluir a força antrópica na transformação da paisagem em

conjunto com as causas naturais. Neste sentido, entende-se que seria interessante que esta característica integradora entre os meios se fortalecesse em estudos de disciplinas como a Geomorfologia, Biogeografia, Climatologia, entre outras.

Logo no início deste estudo, o primeiro desafio vencido foi a delimitação do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço - Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral e desta forma duas situações foram resolvidas, sendo estas: a necessidade de definição de um recorte espacial para o prosseguimento deste estudo; e o estabelecimento de uma área com limites bem definidos, com fins de auxiliar no planejamento das ações oficiais em torno da gestão do Mosaico do Espinhaço. Entende-se que a criação deste limite obteve sucesso, principalmente em função de sua criação ter sido orientada partindo primordialmente da observação dos aspectos ambientais da região e também por ter sido realizada de forma participativa, aliando as expertises do pesquisador desenvolvedor deste estudo em geografia física e geotecnologias com as expertises de outros membros do conselho consultivo em questões relacionadas à gestão ambiental, política e territorial. É importante ressaltar que esta delimitação vem sendo também utilizada como recorte de estudo em outros trabalhos de cunho acadêmico ou citada em estudos com outros recortes de análise que estejam inseridos ou interceptem o Mosaico do Espinhaço (ÁVILA, 2014; SOUZA, 2014). Existe também a tendência que esta delimitação seja também utilizada em trabalhos realizados em nível governamental e também por meio de parcerias com empresas privadas e terceiro setor.

Investigar mudanças na paisagem numa área de grande extensão territorial, tal qual a do Mosaico do Espinhaço exigiu uma metodologia escalar, que fosse capaz de ser continuada sob um outro ponto de vista, sendo neste caso um ponto de vista de outra escala. Os resultados obtidos a respeito da evolução estrutural da paisagem não foram realizados com parcimônia, tendo em vista que nem sempre a primeira resposta ou a mais simples pode ser esclarecedora de todo o contexto. Neste estudo optou-se por iniciar a análise por uma escala menor, abrangendo todos os quase 2 milhões de hectares de área do Mosaico, o que, agora ao fim do trabalho podemos afirmar ter sido adequado, pois permitiu a constatação do avanço do processo de fragmentação na área de estudo e desta forma impulsionou a busca de outras maneiras de aprofundamento na investigação. Importante ressaltar o apoio de técnicas

direcionadas para a análise e processamento de imagens de satélite multitemporais, das métricas de paisagem e também dos métodos de modelagem estatística, ferramental indispensável para a o estudo das tendências de formas de uso e ocupação do solo.

A percepção da perda da conectividade estrutural na paisagem entre os anos de 1984 e 2013, atentou para o entendimento deste processo e para a necessidade de reestabelecimento desta conectividade, visando a conservação da biodiversidade. Um fato que despertou atenção foi a constatação da expansão e crescente tendência de crescimento da monocultura de eucalipto nos limites do Mosaico do Espinhaço. Esta propensão observada orientou a elaboração do estudo para o dimensionamento da taxa de crescimento do eucalipto e elaboração de previsões de um cenário futuro para área de estudo apresentado no capítulo 4.

De acordo com o Dr. Geraldo Wilson Fernandes, Professor Titular do Departamento de Biologia Geral da UFMG o cultivo dessa espécie representa um desastre no estado sob o ponto de vista ambiental, sendo a essência do problema a limitação do sistema à monocultura, pois a biodiversidade fica limitada, sendo que poucas espécies conseguem se desenvolver ao redor do eucalipto, existindo diversas plantas e animais que não se adaptam a este ambiente e neste sentido esta invasão compromete todo o sistema (GAZETA, 2007). Ainda de acordo com o professor, o eucalipto encontra-se na lista de plantas invasoras mais nocivas do mundo (Comunicação pessoal, 2015).

Muitos especialistas, principalmente com formação em engenharia florestal, contestam que o eucalipto represente um risco ambiental, questionando a insuficiência de estudos que comprovem a absorção em excesso de água e nutrientes do solo ou mesmo a redução da biodiversidade. Normalmente são ressaltados alguns aspectos positivos, principalmente a redução da pressão na exploração das espécies nativas, o desenvolvimento econômico proporcionado pelo cultivo e as normas ambientais exigidas para o cultivo do eucalipto.

É fato que o plantio do eucalipto não é permitido em áreas de preservação permanente, tais quais os topos de morros e áreas com declividade acentuada, as margens de cursos d'água e o entorno de nascentes, porém existem sim plantações

em áreas de preservação permanente e também se observa substituição de áreas nativas para a implantação da monocultura, conforme observou-se em algumas regiões do Mosaico, principalmente na região da Serra do Cabral e nas proximidades do município de Itamarandiba. A ocorrência deste fato indica a falta de fiscalização neste âmbito ou mesmo uma fiscalização ineficaz ou realizada de forma incorreta.

A aprovação da Lei Estadual 18.365 no ano de 2009, conhecida como Lei Florestal, que definiu como meta a redução do consumo de carvão de vegetação de origem nativa até o limite máximo de 5% do consumo total por ano a partir de 2019, pode representar um auxílio na fragmentação de habitats de mata nativas, porém cria também uma expectativa de crescimento ainda maior neste setor. De acordo com dados do Instituto Estadual de Florestas (2012) em 2008 o consumo de carvão de mata nativa em Minas Gerais era de 8.252.160,97 de metros cúbicos. Em 2011 esse consumo baixou para 3.160.981,10 metros cúbicos. Em 2009 o consumo foi de 6.278.903,29 e em 2010 de 4.325.823,95 metros cúbicos de carvão de mata nativa. Em 2011, do total de carvão produzido e consumido no Estado de Minas, apenas 4,4% foi de origem nativa, demonstrando uma contínua redução da fração produzida no Estado.

Nesta corrida para comprovação de consumo a taxas de 95% de matéria-prima proveniente de florestas plantadas, a intenção de preservação das matas nativas é louvável, mas fica o receio da existência de fiscalização eficaz. Existirão áreas para a recuperação de mata nativa? Ou qualquer gleba será identificada como potencial para a introdução de florestas plantadas. Entende-se que uma gestão por um modelo integrado, tal que se propõe o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço tem grande potencial para inibir o crescimento da fragmentação dos habitats na paisagem da região, assim como direcionar locais menos danosos para a implantação de monoculturas de eucalipto. Sabemos também das grandes barreiras políticas e econômicas que de outrora entravam a conservação da biodiversidade, porém vislumbramos no Mosaico do Espinhaço mais uma possibilidade.

O Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço responde por uma área de dimensão regional, o que muitas vezes cria situações complicadas em termos de gestão do território, seja por falta de conhecimento técnico e instrumentalização em métodos de

Geoprocessamento ou pelo desconhecimento da realidade de campo do próprio território. Observando esta situação, buscou-se uma maneira de refinar a escala de análise, de forma a permitir a identificação de regiões inseridas nos limites do mosaico com maior adequabilidade para o tema estudado, neste caso a conectividade entre habitats na paisagem.

Observando a tendência de fragmentação e pensando num cenário mais realístico, entende-se que para existir maior efetividade na conservação da biodiversidade na área de estudo, sejam criados, modelos de gestão que funcionem de forma integrada, buscando o melhor entendimento entre os anseios da população local, governo, terceiro setor e setor privado, buscando assim melhores maneiras para a conservação da biodiversidade, sob uma abordagem ecossistêmica. Sendo assim, além do próprio modelo de gestão de Mosaico, considera-se viável a criação de novas formas de gestão, observando os conceitos instituídos dentro do escopo da Ecologia da Paisagem, inicialmente apresentado por Forman & Godron (1986), nos quais a paisagem possui uma estrutura formada por três elementos, sendo eles a Matriz, a Mancha e o Corredor. A partir deste conceito poderiam ser criados modelos de gestão baseados nos padrões estruturais da paisagem, atentando para uma maior eficiência na conservação da biodiversidade.

Em locais com padrão típico de mosaico de paisagem, áreas onde se sobressai uma matriz na paisagem, porém ocorre um emaranhado de tipologias de habitats, tais quais a pastagem, florestas nativas, monoculturas, entre outras, seria necessário a criação de políticas para a compatibilização do crescimento econômico com a conservação da biodiversidade e para isso seria crucial o desenvolvimento de estudos de permeabilidade da matriz, contemplando as espécies endêmicas e a sua capacidade de trânsito por entre a matriz. Em locais com padrão de trampolins de habitat, nos quais a conectividade é atingida por meio de uma sequência de movimentos curtos entre manchas de habitat dispersas na matriz, um modelo para tomada de decisão seria o desenvolvimento de pesquisas sobre Metapopulações, com estudos sobre o grau de isolamento das manchas, sobre a eficiência das áreas núcleo das manchas, sobre a verificação da real funcionalidade da mancha como habitat, sobre a forma como se dá a coexistência das espécies no habitat, entre outras. Em locais com padrão de corredores ecológicos, que podem ser entendidos como

grandes avenidas por onde a biodiversidade pode se movimentar entre os habitats, a criação e verificação da real funcionalidade de políticas existentes para a conservação das matas ciliares, visto que, a rede hídrica com sua mata ciliar preservada é um eficiente corredor ecológico. Além disso, a constante análise de possíveis locais para a interligação entre habitats deve ser verificada com auxílio de imagens orbitais e equipe de campo.

De acordo com Ávila (2014) entende-se como sendo de fundamental importância que o planejamento do mosaico e sua execução, se apoiem nas experiências existentes, que na maioria das vezes são referentes à UC's individuais e que trazem preciosos dados a serem utilizados no planejamento regional proposto pelos mosaicos, mas também que os trabalhos sejam integrados entre diferentes UC's, de diferentes esferas de gestão e também envolvendo outras agências com atuação no território. Assim como o planejamento do mosaico também deve-se equacionar com os demais planos pertinentes, já existentes no seu território, como os próprios planos de manejo das UC's, planejamentos municipais, de bacias hidrográficas, dentre outros.

Tendo em vista a capacidade de todo o procedimento metodológico apresentado nos artigos que compõem esta tese, ser desenvolvido em ambiente SIG e da possibilidade de análise em escalas distintas, acredita-se que a metodologia apresentada nesta tese vem agregar na tarefa de gestão de áreas protegidas, tendo em vista a definição de áreas de aptidão ou vulnerabilidade para determinadas atividades, auxiliando assim na busca de soluções que venham a somar na conservação da biodiversidade. Espera-se que a partir deste estudo novas formas de gestão integrada de áreas protegidas sejam efetivadas, de forma que a conservação da biodiversidade tenha mais possibilidades. Deixa-se neste estudo, indicação para outros autores em continuar o aprofundamento da escala de análise, analisando cada uma destas cinco áreas delimitadas sob diferentes pontos de vista.

Normalmente, a captação de recursos para a conservação dos recursos naturais não é tarefa simples e os trâmites para esta empreitada renderia assunto para outra tese, porém uma situação que tem sido bastante discutida ultimamente, haja vista a percepção da diminuição da qualidade ambiental pela sociedade, seja por meio da mídia, de informações científicas geradas por entidades governamentais, por

empresas privadas ou do terceiro setor, é a respeito do pagamento por serviços ambientais. Serviços esses, que vem sendo há tempos prestados com gratuidade e por observação do cenário atual entende-se a necessidade de um retorno financeiro a quem se comprometa com a sua conservação em detrimento de apenas almejar o ganho econômico com a utilização de determinado recurso natural. O pagamento pelos serviços ambientais pode trazer à racionalidade de curto prazo usualmente adotada nas ações humanas, a racionalidade de longo prazo, mais desejável nas questões ambientais (FEARNSIDE, 1997).

A compensação ambiental por parte de empreendimentos de grande potencial poluidor, prevista no SNUC e que vem sendo alvo de diversas críticas por parte de empresários, com alegação de inconstitucionalidade seria uma forma de auxílio bastante necessária para a gestão de áreas protegidas, não fosse a ganância exagerada e os entraves e brigas na justiça que trouxeram o valor máximo desta compensação para apenas 0,5 % do valor total do custo do empreendimento.

A constituição federal de 1988 prevê que 25% do valor arrecado pelo Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) seja repassado aos municípios. Dentre esse montante direcionado aos municípios, 1% deve ser direcionado à retribuição por serviços ambientais realizados por estes. Essa distribuição deve ocorrer segundo à observação de índices relacionados à qualidade ambiental. Este modelo de repasse de recursos é conhecido como o ICMS Ecológico.

Atualmente no estado de Minas Gerais, a Lei Estadual no 18.030 do ano de 2009, dispõe sobre os critérios para a distribuição do ICMS ecológico. Segundo esta Lei 1,1 % do ICMS é repassado aos municípios em função do Índice de Meio Ambiente (IMA). O IMA é composto por três subcritérios, ponderados pelos respectivos pesos, a saber: Índice de Conservação (IC), com peso de 45,45%, referente às Unidades de Conservação e outras áreas protegidas; Índice de Saneamento Ambiental (ISA) com peso de 45,45%, referente aos aterros sanitários, estações de tratamento de esgotos e usinas de compostagem e, mais recentemente, o Índice de Mata Seca (IMS), com peso de 9,1%, referente à presença e proporção em área da fitofisionomia Mata Seca no município.

O Instituto Estadual de Florestas (IEF) é o órgão responsável pelo IC e pelo IMS. Para determinação do IC são levados em consideração a área da unidade de conservação (UC) e/ou área protegida, a área do município e também parâmetros relacionados a um fator de conservação e de qualidade, que recebem notas a partir de avaliação anual realizada pelos responsáveis pelas UC's. Tais procedimentos para o cadastramento das UC's estão dispostos na Deliberação Normativa COPAM nº 86 de 17/07/2005 e na Resolução da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) nº 318/2005. O IMS considera a área de mata seca existente no município, cujo valor encontra-se disponível na versão mais atual do Inventário Florestal de Minas Gerais que possui duas vertentes: I) Mapeamento e monitoramento periódico da cobertura florestal natural das florestas produtivas do território mineiro; II) Inventário Florestal, propriamente dito, que gera uma série de informações em relação às florestas naturais, inclusive relacionadas à determinação do estoque de carbono e ao acompanhamento contínuo do desenvolvimento das florestas, por meio de medições em parcelas permanentes estabelecidas nas fitofisionomias florestais presentes no estado de Minas Gerais (SEMAD, 2014). Num levantamento do recebimento do ICMS Ecológico pelos município do Mosaico (Apêndice 2) percebe-se valores de recebimento significativos, e mesmo tendo em vista as diversas necessidades que os municípios possuem em setores como saúde, educação, segurança entre outros, não é muito distante da realidade a aplicação de alguns destes recursos na preservação e recuperação do ambiente natural, constituindo assim a esfera municipal como mais um aliado na conservação.

Referências Bibliográficas

ÁVILA, G. C. **Mosaico de Áreas protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha – Serra do Cabral, Minas Gerais e os desafios para sua efetividade**. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Geografia do IGC/UFMG. 2014.

FEARNSIDE, P.M. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. **Ecological Economics**, v. 20, p. 53-70, 1997.

FORMAN, R.T., GODRON M. **Landscape Ecology**. New York, John Wiley & Sons, 1986. 619p.

GAZETA MERCANTIL. Disponível em <<http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2007/01/29/avan%C3%A7o-do-eucalipto-amea%C3%A7a-meio-ambiente>>. Acesso em 10 de janeiro. 2015.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. IEF. Disponível em <<http://www.ief.mg.gov.br/noticias/1/1354-consumo-de-carvao-vegetal-de-origem-nativa-cai-61-em-minas->>. Acesso em 25 março. 2014.

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M. Mapeamento dos limites oficiais do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Interatividade entre o geoprocessamento e a gestão integrada do território. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014, Gramado. **Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**, 2014a.

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M. Análise multitemporal da evolução estrutural da paisagem por meio de técnicas de sensoriamento remoto e métricas de paisagem. **Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes**, v. 5, p. 38-44, 2014b.

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M. Detecção e previsão da expansão de eucalipto em mosaico de áreas protegidas utilizando técnicas de sensoriamento remoto e regressão logística. In: XVI Simpósio Internacional Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER), 2014, Medellín. **Memórias SELPER - Capítulo Colombia**, 2014c.

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M. Paisagem Percebida: Evolução e Perspectivas sob a ótica da Geografia e Ecologia. **Anais do XV Encuentro de Geógrafos de América Latina**. Havana, Cuba, 2015a.

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M., MOURA, A.C.M. Análise da dinâmica espacial de um potencial conector de paisagem utilizando cadeias de Markov e Autômatos Celulares. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa, Paraíba. 2015b.

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M. Mapeamento dos limites oficiais do Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Interatividade entre o geoprocessamento e a gestão integrada do território. **Revista Brasileira de Cartografia**. No prelo(a).

RIBAS, R. P., GONTIJO, B. M., MOURA, A.C.M. Geodesign for Landscape Connectivity Planning. Conference Book: **Cartography – Maps Connecting the World: 27th International Cartographic Conference**. Springer Publishing Co. Rio de Janeiro. No prelo(b).

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. SEMAD. Disponível em <<http://www.semad.mg.gov.br/icms-ecologico>>. Acesso em: 13 novembro. 2014.

SOUZA, D.E. **Aspectos socioambientais e a gestão da APA estadual das Águas Vertentes**. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Geografia do IGC/UFMG. 2014.

STEINITZ C. **A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design**. 1. ed.
Redlands, CA: ESRI Press,2012. 360p.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Questionário Delphi

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

Prezado(a)

O presente questionário faz parte de uma etapa metodológica de uma tese de doutorado em desenvolvimento no Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sendo que, a área de estudo da pesquisa é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral. O objetivo central da pesquisa é a análise das características peculiares da região e a investigação das possibilidades de conectividade na paisagem, utilizando para isso determinadas metodologias e ferramentas de análise espacial.

O questionário a seguir, o qual peço a gentileza de sua colaboração, é baseado no método Delphi. De forma simples e eficaz, o método Delphi baseia-se na formação de um grupo multidisciplinar de especialistas que conheçam bem o fenômeno e a realidade espacial onde ele se localiza, que neste caso é o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral.

Neste sentido, o referido grupo de especialistas é formado por gestores de unidades de conservação da região do mosaico, pesquisadores cuja linha de pesquisa envolvam a biodiversidade da região em foco, especialistas em análise espacial e pesquisadores com foco em estudos geológicos e geomorfológicos.

O processo de aplicação do método Delphi segue as seguintes etapas:

1ª) Envio do questionário aos especialistas selecionados para participar (Primeira rodada).

Obs: Nesta etapa eu irei enviar o questionário em formato digital para o seu e-mail.

2ª) Espera do retorno do questionário preenchido pelos especialistas.

Obs: O questionário é de simples preenchimento, sendo feito no próprio computador e reenviado para o meu e-mail.

3ª) Observação e processamento das informações obtidas na primeira rodada de perguntas.

Obs: Nesta etapa eu irei analisar as respostas de todos os participantes da primeira rodada.

4ª) Reenvio do questionário com as mesmas perguntas, porém agora informando o valor da média das respostas dos outros especialistas (Segunda rodada).

5ª) Espera do retorno do questionário preenchido na segunda rodada.

6ª) Observação e processamento das informações obtidas na segunda rodada de perguntas.

7ª) Conclusão do método Delphi e envio de um relatório para os participantes com os resultados alcançados.

É muito importante ressaltar que será mantido o sigilo de nomes, informações pessoais e das respostas preenchidas no questionários. Não havendo, em hipótese alguma, a identificação destes itens a terceiros.

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

Sendo assim, solicitamos a sua valiosa colaboração no desenvolvimento científico e visto que se trata de um processo dinâmico, pedimos a maior agilidade possível no preenchimento do questionário.

Desde já agradecemos a sua participação e nos colocamos a disposição para qualquer esclarecimento, por meio dos contatos abaixo:

Dados para contato:

Pesquisador: Rodrigo Pinheiro Ribas

E-mail: ribasgeo@gmail.com

Telefone: (31) 8875-2999

***Obrigatório**

Perfil do Especialista

1. Qual o seu nome? *

A resposta será mantida em sigilo.

2. Qual o seu telefone pra contato?

Não é necessário responder. Caso responda, será mantido em sigilo.

3. Qual o seu e-mail para contato? *

Seu e-mail será mantido em sigilo. É necessário para retorno sobre a pesquisa.

4. Qual o maior nível de sua formação acadêmica concluída? *

Marcar apenas uma oval.

- Fundamental
- Médio
- Graduação
- Especialização
- Mestrado
- Doutorado

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

5. **Qual o tempo total de sua experiência profissional? ***

Marcar apenas uma oval.

- 1 à 3 anos
- 4 à 6 anos
- 7 à 14 anos
- Acima de 15 anos

6. **Sobre a gestão de áreas protegidas, assinale as opções de acordo com a sua vivência. ***

Para respostas positivas, clique nas caixinhas ao lado dos itens, para respostas negativas não selecione o item. Podem ser marcados mais de 1 item.

Marque todas que se aplicam.

- Gerencia alguma área protegida.
- Realiza ou realizou algum projeto de pesquisa em áreas protegidas.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso nacional na área.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso internacional na área.
- Publicou artigo na área.
- Não realizou atividades na área.

7. **Sobre a biodiversidade da região do mosaico, assinale as opções de acordo com a sua vivência. ***

Para respostas positivas, clique nas caixinhas ao lado dos itens, para respostas negativas não selecione o item. Podem ser marcados mais de 1 item.

Marque todas que se aplicam.

- Realiza ou realizou pesquisa com alguma espécie na área do mosaico.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso nacional na área.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso internacional na área.
- Publicou artigo na área.
- Não realizou atividades na área.

8. **Sobre a utilização de ferramentas de geoprocessamento, assinale as opções de acordo com a sua vivência. ***

Para respostas positivas, clique nas caixinhas ao lado dos itens, para respostas negativas não selecione o item. Podem ser marcados mais de 1 item.

Marque todas que se aplicam.

- Atua em algum projeto de pesquisa com foco em geoprocessamento na região do mosaico.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso nacional na área.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso internacional na área.
- Publicou artigo na área.
- Não realizou atividades na área.

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

9. **Sobre os aspectos fisiográficos (Geomorfologia, Geologia, Pedologia, Hidrografia, etc...), assinale as opções de acordo com a sua vivência. ***

Para respostas positivas, clique nas caixinhas ao lado dos itens, para respostas negativas não selecione o item. Podem ser marcados mais de 1 item.

Marque todas que se aplicam.

- Atua em algum projeto de pesquisa com foco nos aspectos fisiográficos na região do mosaico.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso nacional na área.
- Participou de algum seminário, simpósio ou congresso internacional na área.
- Publicou artigo na área.
- Não realizou atividades na área.

Fatores e os elementos que exercem influência na conectividade da paisagem

10. **Na sua opinião, levando em conta os fatores do meio biótico, qual a ordem de prioridade na qual os elementos abaixo podem facilitar a conectividade da paisagem? ***

Para cada elemento do fator biótico, clique na coluna correspondente a sua respectiva ordem de prioridade. Sendo o 1° o de mais relevância e o 4° o de menos relevância. Se você tiver sugestão de algum outro elemento, poderá usar o campo "outros" para ordená-lo. Após a listagem dos elementos no quadro abaixo, existe um espaço para você identificar o item outros. Caso não considere nada no item "outros" clique na coluna 4 do mesmo e deixe o campo abaixo vazio.

Marcar apenas uma oval por linha.

	1°	2°	3°	4°
Proximidade de UC's de Proteção Integral	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proximidade de UC's de Uso Sustentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proximidade de grandes fragmentos de vegetação nativa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. **OUTROS: Caso queira sugerir algum elemento do meio biótico que também influencie na conectividade, após ordená-lo no item "Outros" do quadro acima, informe o que você deseja considerar no quadro de resposta abaixo. Utilize o espaço abaixo para informar o elemento e comentar o porque da escolha.**

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

12. **Na sua opinião, levando em conta os fatores do meio físico, qual a ordem de prioridade na qual os elementos abaixo podem facilitar a conectividade da paisagem? ***

Para cada elemento do fator físico, clique na coluna correspondente a sua respectiva ordem de prioridade. Sendo o 1° o mais importante e o 4° o menos importante. Se você tiver sugestão de algum outro elemento, poderá usar o campo "outros" para ordená-lo. Após a listagem dos elementos no quadro abaixo, existe um espaço para você identificar o item outros. Caso não considere nada no item "outros" clique na coluna 4 do mesmo e deixe o campo abaixo vazio.

Marcar apenas uma oval por linha.

	1°	2°	3°	4°
Proximidade da rede de drenagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Declividade do terreno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elevação do terreno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. **OUTROS: Caso queira sugerir algum elemento do meio físico que também influencie na conectividade, após ordená-lo no item "Outros" do quadro acima, informe o que você deseja considerar no quadro de resposta abaixo. Utilize o espaço abaixo para informar o elemento e comentar o porque da escolha.**

14. **Na sua opinião, levando em conta os fatores do meio antrópico, qual a ordem de prioridade na qual os elementos abaixo podem dificultar a conectividade da paisagem? ***

Para cada elemento do fator antrópico, clique na coluna correspondente a sua respectiva ordem de prioridade. Sendo o 1° o mais importante e o 6° o menos importante. Se você tiver sugestão de algum outro elemento, poderá usar o campo "outros" para ordená-lo. Após a listagem dos elementos no quadro abaixo, existe um espaço para você identificar o item outros. Caso não considere nada no item "outros" clique na coluna 6 do mesmo e deixe o campo abaixo vazio.

Marcar apenas uma oval por linha.


	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Proximidade da malha viária	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proximidade de centros urbanos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Densidade urbana	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proximidade à monocultura de eucalipto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proximidade à focos de incêndio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Questionário - Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral

15. **OUTROS: Caso queira sugerir algum elemento do meio antrópico que também influencie na conectividade, após ordená-lo no item "Outros" do quadro acima, informe o que você deseja considerar no quadro de resposta abaixo. Utilize o espaço abaixo para informar o elemento e comentar o porque da escolha.**

16. **Você teria alguma sugestão sobre elementos que influenciem na conectividade da paisagem que poderiam ser considerados nesta pesquisa?**

17. **Caso tenha alguma informação a complementar sobre o tema ou mesmo se deseja fazer alguma observação pertinente sobre o tema, utilize o espaço abaixo:**

Powered by
 Google Forms

Apêndice 2 – Arrecadação ICMS nos municípios do Mosaico

Ano	Repassse (R\$) ICMS Ecológico / Municípios														
	Bocaiúva	Buenópolis	Francisco Dumont	Joaquim Felício	Augusto de Lima	Coluna	Couto de Magalhães de Minas	Diamantina	Felício dos Santos	Itamarandiba	Rio Vermelho	São Gonçalo do Rio Preto	Serra Azul de Minas	Serro	
2002	84239.11	177460.87	0	123155.39	21716.03	168166.97	21623.94	27359.77	535.55	24351.62	317.28	166768.06	24087.21	8300.11	
2003	74274.47	187395.68	0	101809.76	35603.19	139020.59	64921.07	38069.76	442.67	20130.72	91686.94	137862.78	19912.92	6861.49	
2004	90042.55	219365.14	76515.04	96561.11	33767.73	131853.56	61574.19	51987.84	52623.20	19092.92	89704.71	130755.46	18886.32	6507.76	
2005	101491.05	247256.34	114743.85	108838.38	38061.12	148618.07	69403.04	58597.85	59655.70	21520.47	101110.21	147380.33	21287.63	7335.19	
2006	120802.17	294302.79	136576.63	129547.47	45303.15	176896.23	82608.62	69747.49	71006.65	25615.26	26482.00	193729.32	24232.73	9485.50	
2007	177948.87	490182.35	251617.54	244332.69	48106.60	233861.63	128175.13	95929.82	75107.58	20536.70	180.76	366305.87	22479.15	7797.00	
2008	132010.91	579455.40	328039.68	348575.24	35658.44	246652.40	161459.21	91919.44	55671.95	9907.85	133.62	477561.59	20442.69	6786.45	
2009	59558.35	494532.45	284492.30	334807.23	31481.92	214996.82	112564.91	73352.94	49245.67	0	173.91	414165.50	22001.30	7601.45	
2010	111681.40	573708.40	213228.02	289891.36	42915.53	204605.41	71507.09	135737.51	56005.29	11.18	261.69	542809.21	47803.93	15368.14	
2011	139169.24	577643.36	145376.68	261861.25	35934.50	151480.99	62217.42	181511.49	43512.77	8888.59	276.92	641441.99	63704.62	20846.67	
2012	128692.97	561254.15	162776.64	286760.99	36303.00	152697.68	45680.10	151760.11	70601.26	24015.36	422.59	646594.12	66634.78	162899.67	
Total	1219911.09	4402556.93	1713366.38	2326140.87	404851.21	1968850.35	881734.72	975974.02	534408.29	174070.67	310750.63	3865374.23	351473.28	259789.43	
Média	110901.01	400232.45	190374.04	211467.35	36804.66	179986.40	80157.70	88724.91	48582.57	17407.07	28250.06	351397.66	31952.12	23617.22	