



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

João Flávio Costa dos Santos

**DELINEAMENTO DE CORREDORES ECOLÓGICOS BASEADO EM
RESILIÊNCIA E ECOLOGIA DA PAISAGEM EM PARAÍBA DO SUL,
RJ**

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Novembro – 2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

João Flávio Costa dos Santos

**DELINEAMENTO DE CORREDORES ECOLÓGICOS BASEADO EM
RESILIÊNCIA E ECOLOGIA DA PAISAGEM EM PARAÍBA DO SUL,
RJ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SEROPÉDICA - RJ
Novembro – 2014

**DELINEAMENTO DE CORREDORES ECOLÓGICOS BASEADO EM
RESILIÊNCIA E ECOLOGIA DA PAISAGEM EM PARAÍBA DO SUL, RJ**

JOÃO FLÁVIO COSTA DOS SANTOS

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em ____ de _____ de 2014.

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça
UFRRJ / IF / DS
Orientador

Prof. Emanuel José Gomes de Araújo
UFRRJ / IF / DS
Membro

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado
UFRRJ / IF / DCA
Membro

“Ninguém vence sozinho. Nem no campo, nem na vida”. (Papa Francisco)

AGRADECIMENTOS

Nesta oportunidade manifesto minha gratidão a Deus pela vida, pela família e amigos que me concedeu. Gostaria de deixar meus mais sinceros agradecimentos a minha mãe (Claudinéia) e ao meu pai (Sebastião) que são a minha base forte em tudo o que faço. Sem vocês a vida não teria sentido. Além de ter pais maravilhosos, sou privilegiado pelo irmão (Fábio), primos-irmão (João Emanuel e Maria Paula) e pela tia-mãe (Valdinéia) que tenho e agradeço por estarem sempre junto comigo. Também fica registrado aqui o agradecimento aos meus avós, todos os tios e primos e digo que tenho muito orgulho desta família.

A todos os amigos que me apoiaram durante a graduação, deixo meu muito obrigado. Aos amigos da república que me aturaram durante quase 5 anos (Bibim, Gabriel, Gerhard, Hudson, João Emanuel, Wilbert) posso dizer que formamos uma verdadeira família que me renderá boas lembranças por toda vida. Agradeço muito a todos da turma 2010-II, a minha turma, e com certeza uma das melhores que a “floresta” já teve. Aos amigos Thales Lima, Gabriela Bastos, Uelison, Henos, Tafarel, Ananias, Mateus, Ari, Thamires, Nayra, Amanda, Monstrinho, Parceiro, Marcelle, Priscila, Letícia, Diêgo, Paula, Jéssica, João Paulo, Elyakim, Marília, Caio, Luiza, Karen, Tito, Ana (...) agradeço pelas boas conversas, sugestões e ajudas. Faço também um agradecimento especial aos “bixos”: ao Caio e Iohan pela amizade, boas piadas e a disposição em sempre me ajudar; a Juçara por sempre ouvir minhas reclamações, pela companhia e também por ter revisado esta monografia; a Bia Griffó pela amizade, palha italiana e cantorias na ciclovia; ao Pedro Vaz que sempre esteve disposto em ajudar e contribuiu com a ilustração da monografia; também agradeço a Nayara, João Elvis, Fagner, Luiz, Carol, Ricardo, Bia Rodriguez, Lucas... Aos meus veteranos que me receberam tão bem na UFRRJ, muito obrigado.

Aos professores, que tanto me ensinaram, também sou grato. Muito obrigado Eliane Jacques por me despertar para a ciência e pela amizade; Michele Duarte pela orientação na iniciação científica e pelo o aprendizado em geoprocessamento. Thiago Breier pelo acompanhamento nas atividades do LACON; Ao professor Alexandre Monteiro pela amizade, ensinamentos e tutoria no grupo PET; Ao professor Paulo Leles pela disponibilidade em ajudar e por todos os ensinamentos; Aos professores Rogério e Marco Monte pela dedicação e prestatividade; Ao professor Emanuel Araújo pela amizade, ensinamentos, orientação nas pesquisas e no estágio e por fazer parte da banca desta monografia; Também aos professores Rafael, Hugo e Júnior que aceitaram compor a banca avaliadora desta monografia.

Deixo também um agradecimento ao meu orientador, professor Bruno, que foi fundamental para o encaminhamento e conclusão deste trabalho. Bruno, muito obrigado pela paciência, dedicação, incentivo e por todos os ensinamentos.

A todos os funcionários do Instituto de Florestas, muito obrigado. Ao Tião por me receber tão bem no viveiro, pela amizade e por todo o ensinamento. Ao PC pelas excepcionais aulas práticas e por compartilhar seu bom humor e sua experiência.

Por fim, a UFRRJ por esta experiência única que foi cursar Engenharia Florestal no campus mais lindo do mundo.

RESUMO

Os ciclos do ouro e principalmente do café legaram um quadro de degradação ambiental para Paraíba do Sul, RJ. A Mata Atlântica remanescente no município apresenta-se como um mosaico de fragmentos e a conexão destes é de grande importância para a conservação dos recursos naturais. A Ecologia da Paisagem é uma ciência que utiliza feições espaciais observáveis e mensuráveis, tendo aplicação na caracterização dos fragmentos florestais e as implicações nos processos ecológicos. Determinados locais da paisagem têm maior facilidade de se recuperar após um distúrbio e a regeneração natural, por exemplo, pode ser favorecida. Este trabalho quantificou os fragmentos florestais remanescentes no município de Paraíba do Sul a partir da classificação supervisionada por máxima verossimilhança de imagem *Landsat-8*; verificou a influência de atributos do terreno (face de exposição, radiação solar, declividade e perfil de curvatura) na regeneração natural; obteve métricas da paisagem para os fragmentos remanescentes; e apontou, com base nos resultados obtidos, através de pertinência *fuzzy*, áreas com maior potencial para alocação de corredores ecológicos. As pastagens predominam no município, sendo considerada a matriz. 31% do território é coberto por vegetação em diferentes estágios de regeneração. Foram contabilizados 1.251 fragmentos florestais em estágio médio ou avançado de regeneração. A maior parte deles (62,7%) tem área inferior a 5 *ha*. Apenas 8 fragmentos superam 100 *ha* mas tem baixo grau de isolamento sendo prioritários para a conservação. Os fragmentos em estágio de regeneração médio-avançado estão preferencialmente nas vertentes sudeste, sul e sudoeste, as quais recebem menor quantidade de radiação solar global por ano, e em declividades superiores a 20%. O ajuste de funções *fuzzy* permitiu identificar 23.775 *ha* de território que tendem a facilitar a recuperação florestal e são, portanto, áreas estratégicas para aplicação e otimização de recursos e programas conservacionistas.

Palavras chave: Regeneração natural; métricas da paisagem; fragmentação florestal.

ABSTRACT

The gold cycle and especially the coffee cycle bequeathed environmental degradation framework for the Paraíba do Sul, RJ. The remaining Atlantic Forest in the city presents itself as a mosaic of fragments and the connection of these is of great importance for the conservation of natural resources. The Landscape Ecology is a science that uses spatial features observable and measurable, and application in the characterization of forest fragments and the implications for ecological processes. Certain landscape sites have much easier to recover after a disturbance and the natural regeneration, for example, can be favored. This study quantified the remaining forest fragments in the Paraíba do Sul city from the supervised classification by maximum likelihood Landsat-8 image; verified the influence of terrain attributes (face exposure, solar radiation, slope and curvature profile) natural regeneration; obtained landscape metrics for the remaining fragments; and pointed, based on the results obtained through fuzzy membership, areas with the greatest potential for allocation of ecological corridors. Pastures predominate in the city, is considered the matrix. 31% of the territory is covered by vegetation in different stages of regeneration. Were recorded 1.251 forest fragments in middle or advanced stage of regeneration. Most of them (62.7%) has an area of less than 5 *ha*. Only 8 fragments exceed 100 *ha* but has low degree of isolation, so this patches are a priority for conservation. The fragments in medium-advanced stage of regeneration are preferably in southeast, south and west parts, which receive the least amount of global solar radiation per year, and over 20% slope. The adjustment of fuzzy functions identified 23.775 *ha* of territory so as to facilitate recovery of the forest and are therefore strategic areas for implementation and optimization of resources and conservation programs.

Keywords: natural regeneration; landscape metrics; forest fragmentation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1 ECOLOGIA DA PAISAGEM.....	2
3.2 VARIAÇÕES AMBIENTAIS NO TERRENO E RESILIÊNCIA.....	5
3.3 CORREDORES ECOLÓGICOS.....	7
3.4 HISTÓRICO DO DESMATAMENTO EM PARAÍBA DO SUL E REGIÃO..	8
4. MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1 ÁREA DE ESTUDO	9
4.2 BASE DE DADOS	11
4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS	12
4.3.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	12
4.3.2 MÉTRICAS DA PAISAGEM	14
4.3.3 DERIVADAS DO TERRENO	16
4.3.4 DELIMITAÇÃO DE CORREDORES	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	18
5.2 MÉTRICAS DA PAISAGEM.....	20
5.3 RESILIÊNCIA NO TERRENO	28
5.4 DELINEAMENTO DE CORREDORES.....	32
6. CONCLUSÃO	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
8. ANEXOS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Representação de uma paisagem e sua estrutura, com aplicação na avaliação da fragmentação florestal	3
Figura 2:	I-Representação da variação do movimento aparente do sol ao longo do ano no hemisfério sul. II – Incidência direta de raios solares na vertente norte.	6
Figura 3:	Localização, hidrografia e rodovias principais do Município de Paraíba do Sul, RJ.	10
Figura 4:	Climograma para o município de Paraíba do Sul.	10
Figura 5:	Fluxograma demonstrativo das ações tomadas para classificação supervisionada e validação da imagem <i>Landsat-8</i>	13
Figura 6:	Exemplos de funções editáveis fornecidas pelo ArcSIE.	18
Figura 7:	Distribuição em porcentagem de área das classes de uso e cobertura do solo no município de Paraíba do Sul, RJ.	20
Figura 8:	Mapa com resultado da classificação supervisionada apresentando classes de uso e cobertura do solo no município de Paraíba do Sul, RJ.	21
Figura 9:	Métricas da paisagem calculadas pelo <i>Patch Analyst</i> para classes de tamanho de fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração no município de Paraíba do Sul, RJ.	26
Figura 10:	Espacialização do isolamento, tamanho e distância da área urbana dos fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração no município de Paraíba do Sul, RJ.	30
Figura 11:	Distribuição de frequência de fragmentos florestais em estágio inicial de regeneração segundo classes de radiação solar global em Paraíba do Sul, RJ	30
Figura 12:	Distribuição em porcentagem de área dos fragmentos florestais em estágio inicial e médio-avançado de regeneração nas classes de orientação de vertente no município de Paraíba do Sul, RJ.	30
Figura 13:	Distribuição de frequência de fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração segundo classes de radiação solar global em Paraíba do Sul, RJ.	30
Figura 14:	Ocorrência de queimada na vertente voltada para norte e presença de fragmento na vertente sul no município de Paraíba do Sul, RJ	31

Figura 15:	Distribuição, em porcentagem de área, dos fragmentos florestais em estágio inicial e médio- avançado de regeneração nas classes de declividade no município de Paraíba do Sul, RJ.	32
Figura 16:	Distribuição em porcentagem de área dos fragmentos florestais em estágio inicial e médio-avançado de regeneração nas classes de perfil de curvatura no município de Paraíba do Sul, RJ.	32
Figura 17:	Demonstração do ajuste de curvas para derivadas do terreno.	33
Figura 18:	Mapa de pertinência <i>fuzzy</i> para alocação de corredores ecológicos no município de Paraíba do Sul, RJ, considerando apenas as variáveis ambientais.	34
Figura 19:	Corredor Ecológico “Salutaris-Tocaia” delimitado a partir do mapa de pertinência <i>fuzzy</i> no município de Paraíba do Sul, RJ.	35
Figura 20:	Mapa de pertinência fuzzy para conexão entre fragmentos mais isolados no município de Paraíba do Sul, RJ.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Parâmetros técnicos das imagens do satélite <i>Landsat-8</i>	11
Tabela 2:	Parâmetros para avaliação da qualidade do índice Kappa.	14
Tabela 3:	Critérios adotados para divisão dos fragmentos florestais em classes de tamanho em Paraíba do Sul, RJ.	14
Tabela 4:	Métricas da paisagem calculadas pelo <i>Patch Analyst</i>	15
Tabela 5:	Classificação da declividade pelos critérios de EMBRAPA (1979).	16
Tabela 6:	Matriz de confusão utilizada para validação da classificação supervisionada da imagem <i>Landsat-8</i> referente ao município de Paraíba do Sul, RJ.	19
Tabela 7:	Índices de Validação e interpretação da classificação supervisionada da imagem <i>Landsat-8</i> para o município de Paraíba do Sul, RJ.	19
Tabela 8:	Isolamento de fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração, divididos por classes de tamanho, no município de Paraíba do Sul, RJ.	27
Tabela 9:	Índices de área central calculados pelo <i>Patch Analyst</i> para fragmentos em estágio médio- avançado de regeneração no município de Paraíba do Sul, RJ.	28
Tabela 10:	Quantidade média de radiação solar global recebida em diferentes faces de exposição (vertentes) no ano de 2013 em Paraíba do Sul, RJ.	29

1. INTRODUÇÃO

O domínio da Mata Atlântica abrange 15% do território brasileiro e é representado por diferentes fitofisionomias que se distribuem do Rio Grande do Sul ao Piauí. Esta área abriga mais da metade da população nacional e é responsável por movimentar 70% do produto interno bruto do país (RODRIGUES et al., 2009). Os números atuais estimam que a formação original do bioma está reduzida a 12,5% (SOS MATA ATLÂNTICA, 2013). A vegetação remanescente é extremamente fragmentada em função do uso e ocupação desordenada do território, bem como pela exploração descontrolada dos recursos naturais provocada por diferentes ciclos econômicos (RIBEIRO et al., 2009). Nesta ótica, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* mundial, ou seja, uma das áreas mais ricas em biodiversidade e, ao mesmo tempo, mais ameaçadas do planeta (RODRIGUES et al., 2009).

Além de reduzir a área de conservação dos recursos, o processo de fragmentação por ação antrópica interfere nas bordas dos fragmentos e altera as condições de umidade do ar, temperatura e radiação solar (BORGES et al., 2004). Desta forma as condições de equilíbrio são modificadas e uma série de respostas ecológicas podem ser observadas: ocorrência de espécies invasoras (BORGES et al., 2004); modificações na abundância e composição da biodiversidade e, dependendo da intensidade, a extinção de espécies (MURCIA, 1995).

Nesse sentido, a avaliação da estrutura da paisagem é um importante passo no diagnóstico dos problemas atuais e serve para estimar influências futuras e apontar as mudanças necessárias para manter o equilíbrio natural (CALEGARI et al., 2010). A fragmentação florestal pode ser estudada pela Ecologia da Paisagem através do uso de feições espaciais, observáveis e mensuráveis, para caracterizar as condições, desenvolvimento e mudança temporal dos fragmentos florestais. Esta área do conhecimento baseia-se na premissa de que os padrões dos elementos da paisagem influenciam significativamente os processos ecológicos (TURNER e GARDNER, 1991).

As métricas ou indicadores de paisagem ganham cada vez mais atenção, na medida em que ajudam a compreender a estrutura complexa da paisagem e a forma como esta influencia as relações ecológicas (CARRÃO et al., 2001). Com o advento de geotecnologias a exemplo de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e o Sensoriamento Remoto, padrões espaciais podem ser facilmente descritos e auxiliam na compreensão e acompanhamento da organização da paisagem (CALEGARI et al., 2010; SILVEIRA e SILVA, 2010; BORGES et al., 2004; SILVA, 2002).

Os programas de conservação e restauração ecológica, cada vez mais, se preocupam com uma maior conectividade entre os remanescentes de vegetação nativa (RODRIGUES et al., 2009). Uma das medidas adotadas para minimizar o efeito da fragmentação é promover a conexão dos fragmentos florestais por meio de corredores ecológicos (PIROVANI, 2010). Os corredores são áreas homogêneas de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas por apresentar disposição espacial linear (METZGER, 2001) e se permitem o fluxo de animais entre os fragmentos florestais são ditos corredores funcionais (SEOANE et al., 2010).

Variações nas condições ambientais em um terreno também atuam na modelagem da paisagem conferindo maior ou menor capacidade de resiliência (CORRÊA, 2008; SILVERIA e SILVA 2010; NOGUEIRA, 2012). Após um distúrbio natural ou antrópico, a regeneração natural florestal é o processo de recuperação de uma floresta. Conforme Silveira e Silva (2010), é um processo lento de sucessão vegetal

dependente de diversos fatores, como fonte de sementes, condições ambientais, intensidade e duração do distúrbio. O conhecimento sobre os fatores favoráveis para a regeneração natural é pertinente para estabelecer taxas de renovação desse recurso natural e possíveis condições de manejo de florestas (SOUZA et al., 2002). Desta forma é possível identificar o comportamento da vegetação na paisagem fragmentada, sua relação com variáveis ambientais e topográficas e aproveitar as condições mais propícias ao estabelecimento de fragmentos florestais para favorecer projetos de recuperação de áreas (SANTOS, 2012) e a alocação de corredores ecológicos.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi definir áreas potenciais para corredores ecológicos entre fragmentos florestais remanescentes no município de Paraíba do Sul, RJ.

Como objetivos específicos tem-se:

- Mapeamento do uso e cobertura do solo através de classificação supervisionada por máxima verossimilhança;
- Caracterização quantitativa de fragmentos florestais a partir de métricas da paisagem.
- Identificar áreas na paisagem com maior resiliência;
- Propor cenários de formação de corredores ecológicos a partir de lógica *fuzzy*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Ecologia da Paisagem

A primeira menção ao termo Ecologia da Paisagem é atribuída ao biogeógrafo alemão Carl Troll (1899-1975) em 1938 no trabalho intitulado "Fotointerpretação e Pesquisa Ecológica" (TROPPEMAIR, 2000).

De acordo com Metzger (2001) dentro da Ecologia da Paisagem podem ser identificadas duas abordagens: uma com viés geográfico e outra com aspecto mais ecológico. A primeira delas está vinculada a Carl Troll e pesquisadores europeus com aplicações ao planejamento regional. A segunda, e mais recente, é influenciada particularmente por biogeógrafos e ecólogos americanos que procuraram adaptar a teoria de biogeografia de ilhas para o planejamento de reservas naturais em ambientes continentais.

No Brasil, a Ecologia da Paisagem estabeleceu-se inicialmente, por volta dos anos 1970-1980, sob forte influência da vertente geográfica. Apenas na década de 1990, apareceram grupos com abordagens predominantemente ecológicas. Assim como ocorre no panorama global, também no Brasil, uma grande variedade de assuntos é tratada dentro da Ecologia da Paisagem (PIVELLO e METZGER, 2007).

Alguns estudos valem-se da Ecologia da Paisagem para estudar a fragmentação da vegetação e seus desdobramentos. Estas pesquisas são influenciadas pela linha mais ecológica. A ciência vem sendo aplicada, por exemplo, para: análise espacial dos fragmentos florestais (BEZERRA et al., 2010; PIROVANI, 2014); avaliar o grau de efetividade e vulnerabilidade dos corredores ecológicos (JUVANHOL et al., 2011), identificação de áreas para recomposição florestal (FERRAZ e VETORAZZI, 2003); identificar os pontos críticos e propor ações de manejo visando à recuperação e ou

conservação (BORGES et al., 2004); acompanhar a evolução de fragmentos ao longo do tempo (AMARAL et al., 2009; CALEGARI et al., 2010) entre outros.

Buscando abranger as duas vertentes da Ecologia da Paisagem e integrá-las como uma mesma área de pesquisa, Metzger (2001), propõe a seguinte definição de paisagem: “*um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação*”. Para Ecologia da Paisagem, a seguinte definição é dada por Forman e Godron (1981): “*Ciência que estuda a estrutura, o funcionamento e as modificações que ocorrem em uma paisagem heterogênea, constituída por ecossistemas interligados e pelas suas inter-relações com o homem.*”

Forman e Godron (1981) introduziram termos chave no estudo da Ecologia da Paisagem, dentre eles os conceitos de mancha, corredor e matriz. Assim, a paisagem é caracterizada por Turner e Gardner (1992) como “*uma matriz, de origem e dinâmica próprias, contendo em seu interior elementos espaciais, principalmente manchas de polígonos e corredores.*”

A Matriz é reconhecida em geral, por recobrir a maior parte da paisagem sendo a unidade dominante em termos de recobrimento espacial. Consequentemente é a porção da paisagem que tem um maior grau de conexão de sua área (METZGER, 2001).

Para Forman e Godron (1981), as manchas são superfícies não lineares, que estão inseridas na matriz e diferem em aparência do seu entorno, variando em tamanho, forma, tipo de heterogeneidade e limites. Nesta mesma linha, Metzger (2001), define as manchas como áreas homogêneas de uma unidade da paisagem, que se distinguem das unidades vizinhas e têm extensões espaciais reduzidas e não-lineares e aponta a diferença para os corredores que apresentam disposição espacial linear.

Em um contexto de fragmentação florestal, as manchas são os fragmentos florestais, a matriz é o solo e seus diferentes usos ao redor do fragmento e o corredor, eventuais faixas de vegetação que ligam os fragmentos, conforme ilustra a Figura 1. Quando as manchas são fragmentos florestais, Pirovani (2010) destaca que os corredores funcionam como linhas-guia para espécies de animais migratórios. Dessa forma, contribuem significativamente para o intercâmbio genético, aumento da diversidade e, conseqüentemente, na conservação dos fragmentos conectados.

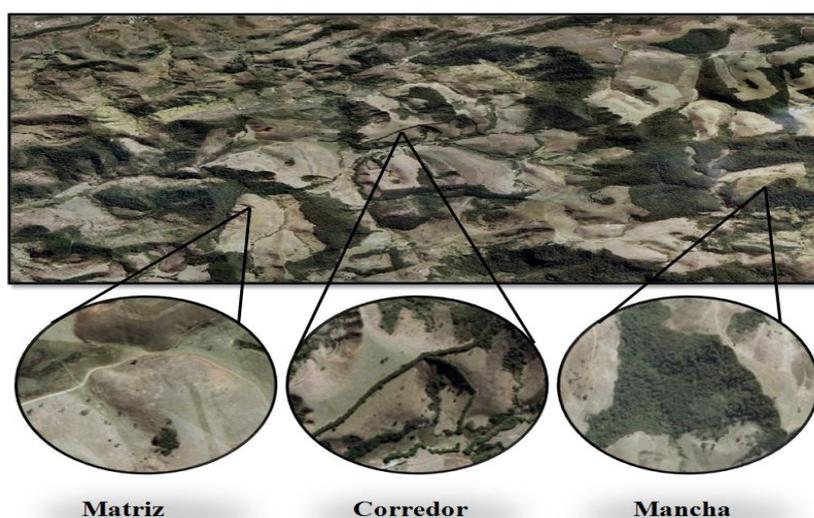


Figura 1: Representação de uma paisagem e sua estrutura, com aplicação na avaliação da fragmentação florestal (Imagem: IBGE, 2005).

A estrutura da paisagem pode ser quantificada por diferentes parâmetros, índices ou métricas da paisagem. Entre os *softwares* mais divulgados e utilizados para obtenção destes parâmetros quantitativos está o *Fragstats*, desenvolvido por McGarigal e Marks (1994), e a extensão para o ArcGIS *Patch Analyst*, desenvolvido por Elkie et al. (1999). Nestes programas, as métricas costumam ser divididas nas seguintes categorias: área; densidade; borda; forma; área central e proximidade.

As métricas de área servem como base para caracterização e conhecimento da paisagem uma vez que são utilizadas para gerar as demais métricas (ALMEIDA, 2008; VOLOTÃO, 1998). Nas pesquisas que envolvem fragmentação florestal, é comum a separação dos fragmentos em classes de tamanho. No entanto, não há um consenso quanto aos limites de tais classes. Por exemplo, Pereira et al. (2013) dividem os fragmentos da seguinte forma: a) menores que 1,0 *ha*; b) com tamanho entre 1,0 e 9,9 *ha*; c) entre 10,0 e 49,9 *ha*; e d) maiores que 50 *ha*. Já os critérios de Juvanhof et al. (2011) são: fragmentos muito pequenos, com área inferior a 5 *ha*; fragmentos pequenos, com área compreendida entre 5 e 10 *ha*; fragmentos médios enquadram-se na faixa de 10 a 100 *ha*; e os fragmentos grandes possuem área superior a 100 *ha*. Silva (2002) considerou apenas fragmentos com área superior a 10 *ha* agrupando-os da seguinte forma: 10-20,99 *ha*; 21-40,99 *ha*; 41-60,99 *ha*; 61-80,99 *ha*; 81-100,99 *ha* e maiores que 101 *ha*.

Para interpretação dos índices de área, parte-se da premissa que fragmentos com maior área favorecem a conservação (CALEGARI et al., 2010). Segundo Borges (2004), a quantidade de área que uma classe possui é uma medida importante em inúmeras aplicações ecológicas, já que permite identificar o quanto de habitat foi perdido ou danificado, quanto do hábitat existe dentro da paisagem e serve para estudar a área de vida de determinada espécie. Como afirma Metzger, (2001) a área do fragmento é geralmente o parâmetro mais importante para explicar a riqueza de espécies.

Os índices de densidade e tamanho são importantes por caracterizarem os fragmentos (número de fragmentos, tamanho médio, densidade, variação etc.) e por permitirem que se ordene por grau de fragmentação, heterogeneidade de fragmentos ou outros aspectos relacionados aos fragmentos na paisagem (VOLOTÃO, 1998).

Os índices de borda caracterizam as manchas com base no seu perímetro. Além do perímetro propriamente dito, o contraste de borda; o total de borda de uma classe e a densidade de borda, entre outros, são exemplos de índices calculados neste grupo. (MACGARIGAL e MARKS, 1995). Estes índices têm relação direta com o efeito de borda definido por Murcia (1995) como a interação entre dois ecossistemas adjacentes separados por uma transição abrupta (a borda). Desse modo, o processo de fragmentação florestal aumenta a quantidade de borda na paisagem (BEZERRA, 2010) e o efeito de borda pode ter um papel significativo na redução da biodiversidade, através de processos como a mortalidade de árvores e alteração de habitats (VIANNA et al., 1992).

Os índices ligados à forma dos fragmentos refletem de modo quantitativo a complexidade das formas. Neste grupo estão incluídos entre outros, os índices de forma e a relação perímetro/área (MACGARIGAL e MARKS, 1995). Fragmentos florestais com formatos mais circular têm menor relação perímetro/área e, desse modo, maior quantidade de área interior “protegida” dos fatores externos. Por outro lado, fragmentos de formas irregulares, alongados e muito recortados, apresentam maior relação perímetro/área, tendo maior proporção de borda (ALMEIDA, 2008).

A área central ou área interior pode ser definida como a área remanescente dentro de um fragmento ao ser descontada uma distância pré-definida a partir da borda (BORGES, 2004; PIROVANI, 2010). Esta distância descontada é o efeito de borda e a área central é, portanto, a área de efetiva conservação (VIDOLIN et al., 2011). Não há consenso quanto ao tamanho do *buffer* para cálculo da área central. Os valores de efeito de borda utilizados são bem variáveis sendo encontrados os seguintes: 30 m (FUSHITA, 2006); 50 m (BORGES et al., 2004); 60 m (CALEGARI et al., 2010); 100 m (OLIVEIRA, 2011); 40 m, 80 m, 100 m e 140 m (JUVANHOL et al., 2011).

Os índices de proximidade tratam da disposição das manchas na paisagem, tendo destaque a distância do vizinho mais próximo. Esta métrica reflete a distância de um fragmento para o fragmento que está em suas proximidades, baseado na distância borda-a-borda (PIROVANI, 2010) e tem implícito em seus resultados o grau de isolamento dos fragmentos (VOLOTÃO, 1998). No caso dos fragmentos florestais, o isolamento depende não apenas da distância, mas também do tipo de vizinhança uma vez que o tipo de matriz terá certa permeabilidade ao fluxo das espécies entres fragmentos (VIANA et al., 1992; VIANA e PINHEIRO, 1998).

3.2. Variações ambientais no terreno e resiliência.

Quando um ecossistema passa por um distúrbio de causas naturais ou antrópica, caso ele tenha resiliência suficiente, apresenta a capacidade de se recuperar, retornando ao equilíbrio dinâmico, sendo possível identificar as funções, estrutura, e identidade observado antes do distúrbio (WALKER et al., 2004).

Os atributos utilizados para quantificar a influência da topografia sobre a redistribuição da água na paisagem e a quantidade de radiação solar recebida pela superfície do terreno são importantes nos estudos dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos em muitas paisagens, pois podem influenciar a distribuição e abundância da água no solo, a suscetibilidade da paisagem à erosão pela água, a distribuição da flora e da fauna e conseqüentemente as características dos solos (WILSON e GALLANT, 2000).

Alguns trabalhos apontam que em função de características do terreno há diferenças no grau de resiliência. Por exemplo, no hemisfério sul, as vertentes voltadas para sul e áreas com maior declividade tem maior resiliência e, portanto maior facilidade em estabelecer fragmentos florestais (CORREA, 2008; MATTOS JÚNIOR, 2008; MELLO, 2009; SILVEIRA e SILVA, 2010; SANTOS et al., 2012; NOGUEIRA, 2012). Esta condição acontece principalmente, pois a distribuição de energia na superfície da terra tem forte relação com as condições do terreno (FERNANDES FILHO e FIRMA-SÁ, 2007). Os regimes de luz solar incidente no relevo variam em função da latitude, zênite, altitude, declividade e face de orientação (GANDOLFI, 2000).

Em escala global, o gradiente de radiação solar é causado pela geometria de rotação da terra e sua revolução em torno do sol. Contudo, numa escala local, a topografia é o fator que mais influencia a distribuição de energia solar (FERNANDES FILHO e FIRMA-SÁ, 2007). É possível associar essa variação da incidência dos raios solares à orientação das vertentes, considerando que os seus planos podem estar orientados de forma a receber uma maior ou menor quantidade de energia solar (MACHADO et al., 2009). Além disso, o aumento da declividade diminui a quantidade de energia recebida devido ao ângulo de incidência da radiação e também do efeito de sombreamento provocado pelo relevo, que é importante em regiões montanhosas

(FERNANDES FILHO e FIRMA-SÁ, 2007). Desta forma, a análise da orientação das vertentes constitui instrumento eficaz para avaliar o grau de insolação e o nível de umidade, bem como a influência dos ventos sobre aquelas, podendo, portanto, indicar o uso mais adequado (SILVEIRA e SILVA, 2010).

No hemisfério sul, a trajetória aparente do sol sofre uma declinação para o norte e a Figura 2 ilustra essa situação. Essa declinação é máxima ($+ 23,7^\circ$) nos solstícios de inverno (aproximadamente 22 de junho), mínima ($- 23,7^\circ$) no verão (22 de dezembro) e nula quando a declinação do sol apresentar valor igual à latitude do ponto estudado (zênite). Portanto, no hemisfério sul, as vertentes com face voltada para norte recebem mais energia em relação às voltadas para o sul principalmente no inverno que também é a época mais seca. (GANDOLFI, 2000; CORRÊA, 2008; MACHADO et al., 2009; NOGUEIRA, 2012).

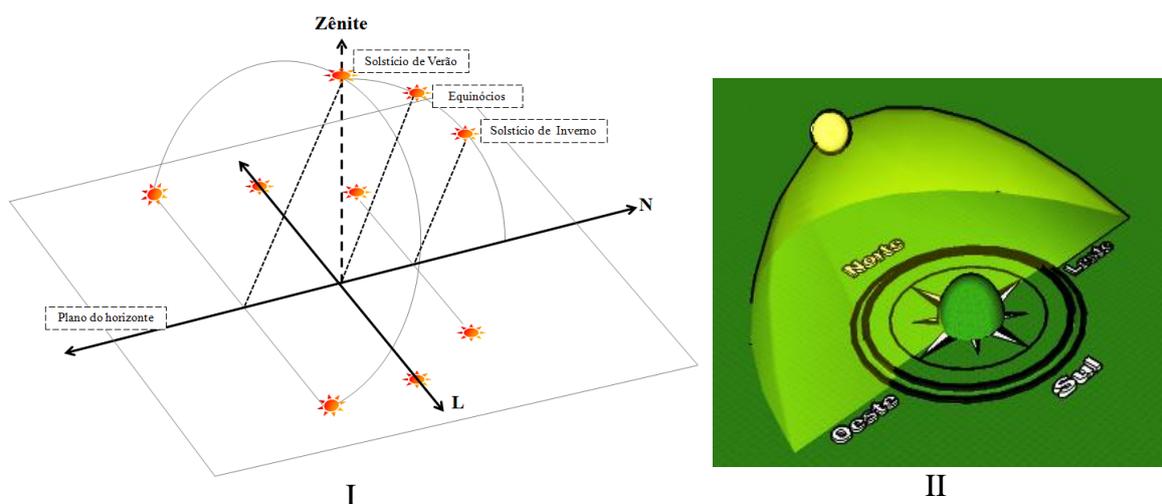


Figura 2: I-Representação da variação do movimento aparente do sol ao longo do ano no hemisfério sul (Fonte: Adaptado de Gandolfi, 2000). II –Incidência direta de raios solares na vertente norte durante o inverno (Ilustração: Pedro Vaz)

A curvatura vertical refere-se ao caráter convexo ou côncavo do terreno, quando analisado em perfil. Esta variável está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Associada à exposição de vertentes, a curvatura vertical desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico (VALERIANO, 2003). A influência da curvatura do terreno sobre as propriedades dos solos tem sido relacionada, principalmente, ao controle que as formas côncava e convexa exercem sobre a distribuição de água e materiais solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas (WILSON e GALLANT, 2000).

De acordo com Gandolfi (2000), a declividade gera gradientes de umidade no solo entre o topo e a base de uma vertente, favorece o transporte de partículas de solo ao longo de um perfil e interfere na organização vertical do dossel, ocasionando variações nos ângulos de penetração e distribuição da luz no interior de florestas. Somando a declividade com a orientação das vertentes, e dependendo da latitude local, há maior ou menor exposição das faces à luz do sol no decorrer do ano (MACHADO et al., 2009). As vertentes que recebem maior radiação solar têm maior vocação para perder umidade por causa da intensidade e duração da insolação nas horas mais quentes do dia, enquanto que nas faces voltadas para sul, sudoeste e sudeste em algumas partes do

litoral brasileiro, há um ganho de umidade por receberem as massas de ar úmidas oriundas do oceano, o que difere ainda mais o potencial de resiliência dessas vertentes (SANTOS et al., 2012).

Além de determinantes para o desenvolvimento das florestas nativas, as diferenças no aporte de energia solar e umidade também influenciam a produtividade dos gêneros cultivados (MELLO, 2009). O referido autor comenta que há uma grande quantidade de termos utilizados pelos agricultores para designar as vertentes e isto é um indício de que este conhecimento tem relevância nas suas práticas cotidianas. São citados os termos “soalheiras”, “terras quentes”, “batentes” e “faces” para encostas voltadas para o norte e “noruegas”, “terras frias”, “grotas” ou “contra faces” para as encostas voltadas para sul.

3.3. Corredores ecológicos

Devido à situação de intensa fragmentação do bioma Mata Atlântica a conservação da biodiversidade representa um dos maiores desafios atuais (RODRIGUES et al., 2009). O isolamento dos fragmentos que contém a vegetação remanescente, dependendo da intensidade, afeta o fluxo gênico entre estes fragmentos e, portanto, a sustentabilidade de populações naturais (VIANA e PINHEIRO, 1998). Neste ponto, a Ecologia da Paisagem é fundamental ao correto planejamento e aponta as melhores ações. As métricas de proximidade, por exemplo, indicam o grau de isolamento da paisagem e, conseqüentemente, a existência ou necessidade de implantação de elementos de conexão, como os corredores ecológicos e *stepping stones* (trampolins ecológicos) entre as manchas (METZGER, 2001; VIDOLIN et al., 2011).

A Lei 9.985/2000 traz a seguinte definição para corredores ecológicos: *“porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.”*

Embora se prestem para conectar unidades de conservação com grandes distâncias entre si, a simples utilização de cercas vivas, por exemplo, já pode ser considerada um corredor ecológico se permite o fluxo de alguma espécie entre fragmentos (FORMAN e GODRON, 1981). Portanto, o conceito de corredores é amplo, abrange escalas diferentes e varia em função de características da espécie a ser conectada bem como em relação ao tipo de vizinhança (VIANA et al., 1992; VIANA e PINHEIRO, 1998).

Há de se destacar que diversas estratégias para o aumento da conectividade entre os fragmentos podem ser adotadas. Em escala local, o uso de áreas protegidas por lei (Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais) destaca-se para o estabelecimento de corredores e segundo Viana e Pinheiro (1998), recomenda-se a identificação de oportunidade de condução da regeneração natural de espécies arbóreas. Para estes mesmos autores o reflorestamento comercial e a disseminação de sistemas agroflorestais, representam um efeito favorável para diminuir o isolamento de fragmentos florestais sem tornar a propriedade improdutiva.

Na medida em que contribuem para a conservação, os estudos que evoluem a conectividade entre fragmentos ganham importância. Deste modo, Juvanhof et al. (2011) estudaram a conectividade entre unidades de conservação e concluíram que ações públicas para conservação dos fragmentos em propriedades particulares são

fundamentais; Vidolin et al. (2011) constataram que um remanescente de floresta com araucária, no Paraná, está bem conectado em função de propriedades de seu entorno também estarem conservadas; Sartori et al. (2012) utilizaram os princípios da Ecologia da Paisagem para definir áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG.

3.4. Histórico do desmatamento em Paraíba do Sul e região.

O atual território do município de Paraíba do Sul foi inicialmente povoado por várias tribos indígenas, sendo citadas as dos Coroados, Barrigudos e também os Puri, que habitavam as margens dos rios Paraíba do Sul e Paraibuna (SILVA, 1991). O município, pioneiro na Serra Fluminense, foi descoberto em 1683 quando Garcia Rodrigues Paes vinha desbravando as matas para abrir o Caminho Novo por onde seria escoado o ouro de origem de Minas Gerais (IBGE, 1948).

O processo histórico que deu início à ocupação do Vale do rio Paraíba do Sul no Sul fluminense está associado a dois grandes ciclos econômicos que se desenvolveram nesta região: o ciclo do ouro e do café (SILVA, 2002).

A região conheceu a agricultura quando foi necessário plantar para alimentar as tropas e animais que por ali passavam, plantou-se principalmente o milho. No entanto, com a decadência do ciclo do ouro, a partir de 1760-80, as vilas que ali se encontravam alcançaram o auge da economia com cultivo de cana-de-açúcar em menor escala e principalmente, o café (IBGE, 1948). Nos anos de 1830, a cultura do cafeeiro havia tomado quase toda a bacia do rio Paraíba do Sul, incluindo o vilarejo de Paraíba do Sul (MUAZE, 2011). O município foi um dos grandes produtores da iguaria ao longo dos quase cem anos de vida do chamado “ciclo do café” no Vale do Paraíba.

No final do século XVIII, o Vale começava a se transformar em imensos e modernos cafezais. O lugar, até então pouco explorado, com grande quantidade de matas virgens ou parcialmente povoado, passava a ser o centro econômico do Império (MUAZE, 2011). As florestas, até então pouco alteradas ao longo dos mais de 250 anos de colonização européia e alguns milhares de anos de ocupação indígena, foram quase que inteiramente destruídas (SILVA, 2002).

No município de Paraíba do Sul, bem como nos demais municípios da região, foi feita a supressão da maior parte da Mata Atlântica. Os fazendeiros da época acreditavam que o plantio do café deveria ser feito em solos cobertos por matas virgens (SILVA, 2002). As matas cederam lugar às plantações e nenhum cuidado fora tomado para se preservar a flora e fauna local. Impulsionados pelos tempos áureos que viviam, os Barões do café desmatavam os morros da região, exploravam as terras sem maiores preocupações com técnicas adequadas e, quando o solo não era capaz de produzir mais, era abandonado em detrimento de outras áreas com matas e um solo fértil (SOUZA LIMA, 2011).

A madeira extraída fora empregada na estrutura das construções, nos forros das casas, nos assoalhos de tabuado corrido, no mobiliário; também na cozinha como lenha e, eventualmente, nos fornos de engenhos com produção secundária de açúcar e aguardente (ALCÂNTARA, 2011).

As técnicas de cultivo do café revelaram-se destrutivas para os solos da região. O mau uso das terras, contudo, limitaria os prazos para uma boa produção na região. Souza Lima (2011) menciona que dentre as técnicas inadequadas, destacou-se o plantio do café em linha reta, de cima para baixo. Este alinhamento vertical constitui-se numa verdadeira rampa para o carregamento de sedimentos pela ação das chuvas e

consequentemente, as terras férteis do Vale do Paraíba perdiam rapidamente o seu horizonte orgânico, legado pela floresta nativa (DANTAS e COELHO NETTO, 1996).

A erosão tornou as encostas imprestáveis. O desmatamento intensivo e as queimadas trouxeram alterações climáticas e afetaram a regularidade do regime de chuvas, que toda a serra anteriormente ostentava e que o café tanto necessitava (SILVA, 2002).

Para o Vale do Paraíba, o café legou um quadro ambiental de degradação irreversível. Depois do café, as fazendas decadentes e/ou abandonadas do Vale e a paisagem característica dos “mares de morros”, agora desnudo de sua exuberante cobertura original de Mata Atlântica, cederam lugar para a criação de gado (SOUZA LIMA, 2011).

Em 1945, a área com culturas agrícolas no município era de 1.904 *ha* (IBGE, 1948). Os solos exauridos, praticamente sem condições para o desenvolvimento de atividades agrícolas, tornaram a pecuária uma das únicas práticas viáveis (SILVA, 2002). As terras, vendidas a baixo preço, destinaram-se a produção de leite, derivados e alguma carne. Em 1983, a produção leiteira girava em torno de 30.000 litros diários (CASTRO OLIVEIRA, 1983). Quanto ao uso do solo houve um decréscimo entre os anos de 1985 a 1996 de 55,85% na área de produção agrícola e de 31% nas pastagens (GEROE, 1995). Em 1995, o município apresentava uma área de 783 *ha* de floresta estacional, 19.350 *ha* de vegetação secundária e 34.164 *ha* de pastagem (GEROE, 1995).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O município de Paraíba do Sul (22° 09' 43" S; 43° 17' 34" W) está inserido na bacia hidrográfica do rio que lhe dá nome e é um dos municípios que compõe a região Centro-Sul do estado do Rio de Janeiro (Figura 3). Com extensão territorial de 580,52 km², e população de 41.084 habitantes, é o segundo município mais habitado da região, apresentando uma densidade demográfica de 70,77 habitantes por km². A população é predominantemente urbana e apresenta uma participação feminina superior à masculina (92,7 homens para cada 100 mulheres). A maioria da população encontra-se na faixa etária entre 30 e 49 anos, seguida pela faixa de 50 ou mais anos (IBGE, 2010).

O clima no município é Tropical de Altitude (Cwa) pela classificação de Köppen. A temperatura média é superior a 18° C em todos os meses do ano e possui período seco entre os meses de maio e agosto (Figura 4). Apresenta regime alternando de estação chuvosa com estação seca, ocorrendo concentração de precipitações no verão (AGEVAP, 2013). A média pluviométrica é de 1.100 mm/ano, sendo os menores valores de precipitação na porção oeste do município, e na região serrana alcançam a marca de 2.100 mm/ano (CPRM, 2000 Citado por AGEVAP, 2013).

Quanto à vegetação, o município está integralmente inserido na Lei N° 11.428, de 22 de dezembro de 2006, a Lei da Mata Atlântica. De acordo com o mapa da vegetação brasileira (IBGE, 1993), duas formações florestais do bioma Mata Atlântica ocorrem no município: Floresta Estacional Semidecidual, a noroeste e Floresta Ombrófila Densa a sudeste nos limites com Areal, Paty do Alferes e Petrópolis. De acordo com a Fundação SOS Mata Atlântica (2013) o município, que originalmente era 100% coberto pela Mata Atlântica, apresenta hoje fragmentos florestais que representam apenas 7% (4.352 *ha*) do território.

O Decreto municipal nº 1.186 de 29 de dezembro de 2011, em seu art. 1º criou as Áreas de Preservação Ambiental (APA): APA Fonseca Almeida, que compreende área de 2.248,17 m² e APA Grotão, com 11.343,64 m² (AGEVAP, 2013).

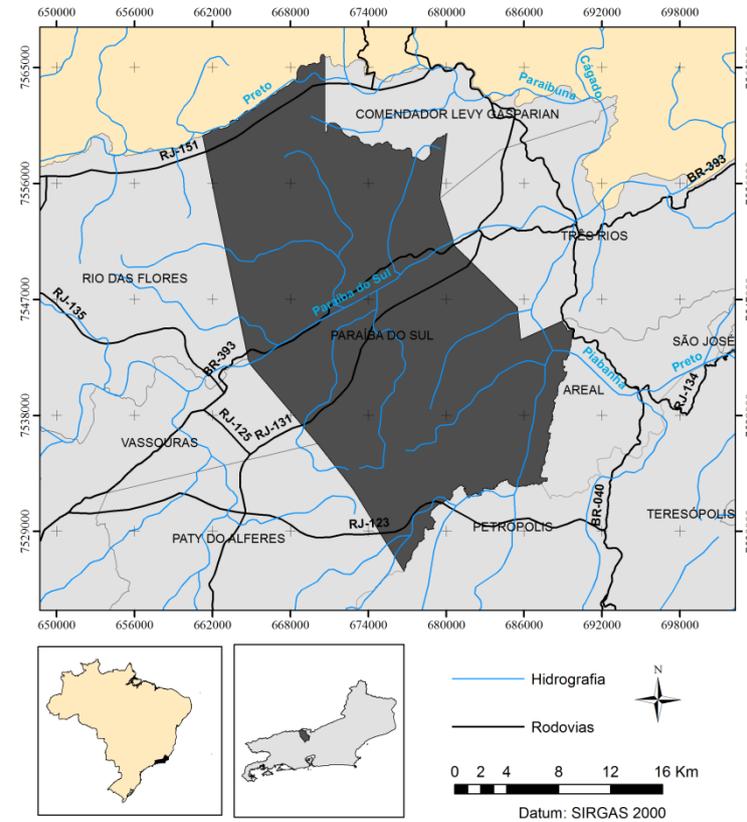


Figura 3: Localização, hidrografia e rodovias principais do Município de Paraíba do Sul, RJ.

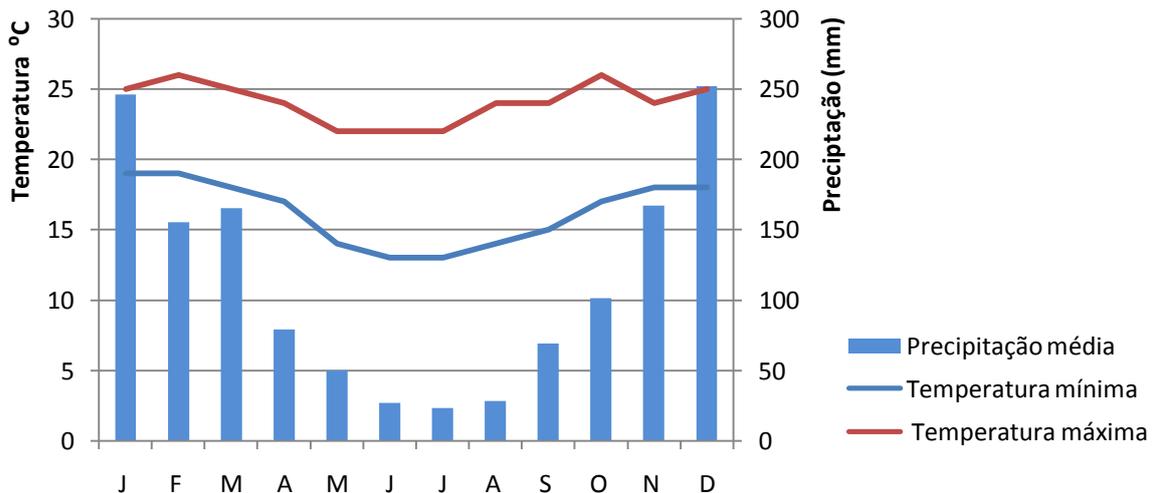


Figura 4: Climograma para o município de Paraíba do Sul. Fonte: CLIMATEMPO. Base de Dados: INMET/CFS/Interpolação. Série histórica: 1991-2010.

4.2. Base de dados

A base cartográfica do limite municipal de Paraíba do Sul em formato vetorial foi adquirida no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para o download de imagens da plataforma *Landsat-8* foi utilizado o sítio eletrônico do *Earth Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS). A imagem refere-se ao dia 14 de julho de 2014 e o critério de escolha adotado foi a imagem mais recente com a menor cobertura de nuvens na área de estudo dentre os produtos disponíveis. Na plataforma *Landsat-8* os instrumentos imageadores são: *Operational Terra Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Desta forma tem-se duas bandas térmicas (bandas 10 e 11) de resolução espacial de 100 metros como produto TIRS, e oito bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9) e a banda 8, pancromática, com resolução espacial de 15 metros resultantes do sensor OLI.

Tabela 1: Características espectrais dos instrumentos imageadores OLI e TIRS do satélite *Landsat-8* (Fonte: USGS)

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Resolução Espacial (m)
1 Coastal aerosol	0,43 – 0,45	30
2 Azul	0,45 – 0,51	30
3 Verde	0,53 – 0,59	30
4 Vermelho	0,64 – 0,67	30
5 Infravermelho próximo	0,85 – 0,88	30
6 Infravermelho ondas curtas 1	1,57 – 1,65	30
7 Infravermelho ondas curtas 2	2,11 – 2,29	30
8 Pancromática	0,50 – 0,68	15
9 <i>Cirrus</i>	1,36 – 1,38	30
10 Infravermelho Termal 1	10,60 – 11,19	100
11 Infravermelho Termal 2	11,50 – 12,51	100

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da área em estudo foi obtido no site do IBGE na escala 1:25.000. Este MDE, que integra o projeto RJ-25, foi gerado a partir de algoritmos de extração altimétrica por correlação de imagens de fotografias aéreas obtidas a partir de aerolevanteamento (IBGE, 2005). Esses dados apresentam 20 metros de resolução espacial.

4.3. Processamento dos dados.

4.3.1. Classificação supervisionada

Todas as operações de geoprocessamento foram realizadas em um *buffer* de 500 m do limite municipal e processadas no *software* ArcGIS 10.1 (ESRI, 2013).

Devido à resolução espacial diferenciada da banda pancromática (banda 8) da imagem do sensor OLI (*Landsat-8*), foi possível alcançar resolução espacial de 15 metros para todas as 8 bandas. Para realizar a fusão entre as bandas foi utilizada a ferramenta *Create Pan-Sharpned Raster Dataset*.

Para a identificação dos fragmentos florestais, procedeu-se a classificação supervisionada de imagens do satélite *Landsat-8* no *software* seguindo o princípio da Classificação pela Máxima Verossimilhança - MAXVER (Função *Maximum Likelihood Classification*). O algoritmo utilizado pela ferramenta MAXVER segue dois princípios: as células em cada amostra de classe no espaço multidimensional a ser distribuído de forma normal e teorema de tomada de decisão de Bayes. A ferramenta considera tanto as variâncias e covariâncias das assinaturas de classe quanto a atribuição de cada célula para uma das classes representadas no arquivo de assinatura. Com o pressuposto de que a distribuição de uma amostra de classe é normal, uma classe pode ser caracterizada pelo vetor de média e a matriz de covariância. Considerando estas duas características, cada valor de célula tem a probabilidade estatística calculada para cada classe (ESRI, 2013).

Para auxiliar no processo de classificação, foi calculado o Índice de Vegetação Normalizado - NDVI (sigla de *Normalized Difference Vegetation Index*) (ROUSE et al., 1973). Este índice é baseado em uma combinação aritmética que focaliza o contraste entre as respostas da vegetação nas faixas do espectro de radiação eletromagnética (REM), do vermelho e do infravermelho próximo. A reflectância da cobertura vegetal na banda correspondente ao vermelho é baixa, aparecendo nas imagens em tons de cinza escuros, devido à absorção da clorofila existente nas folhas. Entretanto, no infravermelho próximo essa cobertura apresenta alta reflectância, com tons de cinza claros devido à dispersão causada pela estrutura das folhas (MACHADO, 2009). Assim, o NDVI está relacionado com a densidade de vegetação e é obtido pela equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Em que: VIS e NIR representam as medidas de reflectância espectrais adquiridas no visível (vermelho) e regiões do infravermelho próximo, respectivamente. Para realizar esta operação utilizou-se a ferramenta *raster calculator*.

Ainda, foi calculado o *raster* dos componentes principais 1 e 2. A ferramenta de componentes principais é utilizado para transformar um conjunto de dados que se correlacionam em um único arquivo de dados comprimidos (ERSI, 2013).

Para colher amostras de treinamento utilizou-se a função *Training Sample Manager*. Foram colhidas 30 amostras para cada uma das seguintes classes: Água, Área Urbana, Ausência de Cobertura Florestal (Pastagem, agricultura, solo exposto); Regeneração em Estágio Inicial; e Regeneração em Estágio Médio a Avançado. As amostras foram coletadas com base no conhecimento da área e visitas de campo, e auxílio de ortofotos (ano de 2005) e do *Google Earth*. A divisão em estágios de

regeneração seguiu os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 6, de 4 de maio de 1994. No entanto, pelas dificuldades em diferenciar os estágios médio e avançado de regeneração, estas duas classes foram reunidas.

Após a coleta das amostras, a assinatura espectral foi obtida a partir das bandas 1 a 9 da Imagem de satélite *Landsat-8*, todas fusionadas para 15 m de resolução espacial e também o NDVI e os 2 componentes principais a partir da função *creat signature*.

Após processar a classificação, o *raster* gerado teve um pós processamento utilizando-se um filtro para remoção de conjuntos isolados de 10 *pixels*. As etapas da classificação são apresentadas de forma esquemática na Figura 5. A partir do resultado da classificação, o arquivo grid (*raster*) foi convertido para o formato vetorial, para proceder às análises subsequentes.

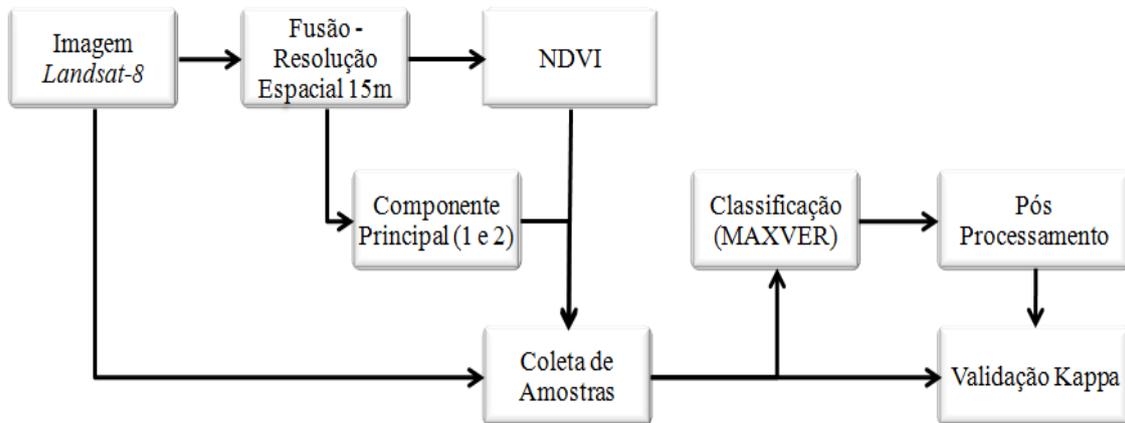


Figura 5: Fluxograma demonstrativo das ações tomadas para classificação supervisionada e validação da imagem *Landsat-8*.

Além das amostras de treinamento foram coletadas 15 amostras por classe para validação da classificação. A avaliação da exatidão das classificações foi realizada a partir do cruzamento do mapa temático, resultante da classificação, com as amostras de validação. As amostras de validação obedeceram aos mesmos critérios utilizados para a coleta das amostras de treinamento, sendo dada atenção especial para a não ocorrência de sobreposição entre as mesmas. Para a avaliação da exatidão foram utilizados os índices Kappa e Kappa Condicional (Congalton, 1991) calculados segundo a fórmula:

$$Kappa = \frac{N \sum x_{ii} - \sum (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum (x_{i+} x_{+i})}$$

Em que N é o total de observações, x_{ii} são as células diagonais, x_{i+} são os somatórios das colunas e x_{+i} são os somatórios das linhas. Os valores de Kappa obtidos foram classificados conforme a proposta de Landis e Kock (1977) apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros para avaliação da qualidade do índice Kappa (Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977))

Coefficiente Kappa	Interpretação
< 0,00	Péssima
0,01 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito boa
0,81 - 1,00	Excelente

Depois de mapeados, os fragmentos florestais foram divididos em classes de tamanho segundo a área ocupada, adotando-se os critérios apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios adotados para divisão dos fragmentos florestais em classes de tamanho em Paraíba do Sul, RJ

Classe	Critérios de Inclusão	
	Área Mínima (ha)	Área Máxima (ha)
Muito pequeno	1	4,99
Pequeno	5	9,99
Médio	10	49,99
Grande	50	99,99
Muito grande	100	-

4.3.2 Métricas da paisagem.

Os índices ou métricas da paisagem para as classes de fragmentos foram obtidos para os estágios médio e avançado de regeneração através da extensão *Patch Analyst* (ELKIE et al., 1999) do *software* ArcGIS 10.1 (ESRI, 2013). Para proceder a análise dos parâmetros de Ecologia da Paisagem foi utilizado o arquivo, em formato vetorial, dos remanescentes florestais proveniente da classificação supervisionada. As métricas da paisagem calculadas e seus respectivos algoritmos são apresentados na Tabela 4.

Como cenários de efeito de borda, foram consideradas as distâncias de 30 m e 60 m. Para avaliar o grau de isolamento dos fragmentos foi utilizada a classificação de

Almeida (2008) segundo a qual as distâncias de 60m, 120m, 200m e maiores que 200 m são definidas como de baixo, médio, alto e muito alto isolamento, respectivamente.

Tabela 4: Métricas da paisagem calculadas pelo *Patch Analyst*. (ELKIE et al., 1999; McGARIGAL e MARKS, 1995)

Grupo	Sigla	Nome	Fórmula
Área	AC	Área da Classe	$AC = \sum_{i=1}^n a_i$
Densidade	NM	Número de Manchas	$NM = \sum n_i$
	AMM	Área Média das Manchas	$AMM = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$
	DPAM	Desvio Padrão da Área das Manchas	$DPAM = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left(a_{ij} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right) \right)^2}{n_i}}$
Borda	TB	Total de Borda	$TB = \sum p_{ij}$
	DB	Densidade de Borda	$DB = \frac{TB}{AT}$
Forma	IFM	Índice de Forma Médio	$IFM = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{n_i a_{ij}}} \right)}{n_i}$, para formato vetorial.
	MRPA	Média da Relação Perímetro/Área	$MRPA = \frac{\sum \left(\frac{p_{ij}}{a_{ij}} \right)}{NM}$
Área Central	TAC	Total de Área Central	$TAC = \sum_{j=i}^n a_{ij}^c$
	NAC	Número de áreas centrais	$NAC = n_{ij}^c$
	ACM	Área Central Média	$ACM = \frac{\sum a_{ij}^c}{n_{ij}^c}$
	IAC	Índice de Área Central	$IAC = \frac{a_{ij}^c}{a_{ij}}$
Proximidade	DVP	Distância do Vizinho mais Próximo	$DVP = h_{ij}$

Legenda: a_{ij} – área da mancha i na classe j ; p_{ij} – perímetro da mancha i na classe j ; n_i – número de manchas da classe i na paisagem; AT – área total da paisagem, na qual estão todas as classes de mancha; a_{ij}^c – área do núcleo da mancha i na classe j com um valor de *buffer* especificado; n_{ij}^c – número de áreas centrais da mancha i na classe j ; h_{ij} – distância da mancha i na classe j à mancha vizinha mais próxima baseada na distancia entre bordas.

4.3.3 Derivadas do terreno.

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram geradas as seguintes variáveis topográficas: declividade (*slope*), perfil curvatura (*curvature*), face de exposição das vertentes (*aspect*) através das ferramentas de *Surface* e radiação solar incidente (*Solar radiation*), todas obtidas no ArcGIS 10.1.

As vertentes são descritas por Veloso (2002) como elemento da superfície terrestre inclinado em relação à horizontal, que apresenta uma orientação no espaço. Schmidt et al. (2003), definem a exposição ou orientação de vertentes como a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em relação ao Norte geográfico. As classes, distribuídas entre 0° e 360°, crescem no sentido horário e são organizadas da seguinte forma: Norte (337,5° a 22,5°), Nordeste (22,5° a 67,5°), Leste (67,5° a 112,5°), Sudeste (112,5° a 157,5°), Sul (157,5° a 202,5°), Sudoeste (202,5° a 247,5°), Oeste (247,5° a 292,5°) e Noroeste (292,5° a 337,5°).

O arquivo *raster* de declividade foi reclassificado com adoção dos critérios de EMBRAPA (1979), apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Classificação da declividade pelos critérios de EMBRAPA (1979)

Classificação do Relevo	Declividade (%)	
	Limite Inferior	Limite Superior
Plano	0	3
Suave Ondulado	3	8
Ondulado	8	20
Fortemente Ondulado	20	45
Montanhoso	45	75
Escarpado	75	-

O cálculo da radiação global foi obtido para 365 dias do ano de 2013, baseado no algoritmo desenvolvido por Rich et al. (1994). Essa simulação envolve uma representação *raster* que exhibe a posição aparente do sol, calculada com base na latitude da área de estudo, que varia de acordo com a hora do dia e os dias do ano.

As curvaturas do terreno são atributos topográficos que representam derivadas de segunda ordem. Em outras palavras, correspondem à taxa de variação da primeira derivada (geralmente declividade), numa direção particular que pode ser no plano, ou vertical (perfil) (GALLANT e WILSON, 2000). A curvatura no plano é a taxa de variação da declividade na direção ortogonal a da orientação da vertente e refere-se ao caráter divergente/convergente do terreno, enquanto a curvatura no perfil é a taxa de variação da declividade na direção de sua orientação e está relacionada ao caráter convexo/côncavo do terreno, sendo decisiva na aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o mesmo (ANJOS et al., 2011). A curvatura é geralmente medida em graus por metro (°/m). Teoricamente, vertentes retilíneas têm valor de curvatura nulo,

vertentes côncavas os têm positivos e convexas têm curvatura negativa. Entretanto, na prática muito pouco do que se julga ser retilíneo apresenta curvatura rigorosamente nula, cabendo, nessa interpretação, uma faixa de tolerância (VALERIANO, 2003). Nogueira (2012) propõe com base em observações de campo que a faixa para classificação das vertentes retilíneas no município de Valença seja de $(-0,15) < x < (0,15)$. Dada a proximidade e semelhança topográfica entre estes municípios, esta foi a faixa de separação adotada para reclassificar o *raster* gerado para perfil de curvatura.

Os mapas de atributos do terreno foram convertidos para o formato vetorial. Arquivos de interseção entre os remanescentes e as derivadas do terreno foram gerados para verificar se estas exercem influência no processo de regeneração natural na área em estudo.

4.3.4 Delimitação de corredores.

Após identificar as variáveis do terreno que contribuem para evolução dos fragmentos florestais para classes mais avançadas de regeneração, isto é, as áreas com maior resiliência, houve a espacialização de corredores que, preferencialmente, passam por estas áreas. Nesta etapa, foi utilizada a extensão gratuita do ArcGIS 10.1 ArcSIE (*Soil Interference Engine*) (SHI, 2013).

O ArcSIE é um pacote de programas que possibilita o mapeamento de classes e atributos do solo. Ele utiliza o raciocínio baseado em regras (*Rule Based Reasoning-RBR*) ou o raciocínio baseado em casos (*Rule Based Case-CBR*) para construção de modelos de solo-paisagem e executa automaticamente uma inferência difusa, fundamentada na lógica *fuzzy* (SHI, 2013). Embora tenha sido desenvolvido para atender os cientistas do solo, a aplicação do ArcSIE neste trabalho também é pertinente, uma vez que nas duas situações são utilizados atributos da paisagem na definição de uma classe, que neste caso são os corredores ecológicos.

De acordo com Anjos et al. (2011), a Lógica *fuzzy* é uma ferramenta matemática que objetiva modelar, de modo aproximado, o raciocínio humano na presença de incerteza e imprecisão, fornecendo resposta aproximada baseada em conhecimento inexato. Assim, sua utilização é indicada sempre que se tiver que lidar com ambigüidade, abstração ou ambivalência em modelos matemáticos.

A lógica clássica está fundamentada em características binárias, existindo duas respostas possíveis para as questões, por exemplo, "verdadeiras" ou "falsas". Fazendo alusão a conjuntos matemáticos, as possibilidades são unicamente contido ou não contido. No entanto, as situações do cotidiano humano que necessitam de respostas, muitas vezes, não conseguem ser representados por modelos da lógica clássica, nestas situações é lançado mão da lógica *fuzzy*. O mapeamento *fuzzy* atribui valores de pertinência entre 0 e 100% para a ocorrência de uma classe. Desse modo, foi utilizada a opção edição de regras (RBR) do ArcSIE para gerar um mapa de pertinência *fuzzy* demonstrando às áreas mais aptas a alocação de corredores entre os fragmentos remanescentes.

A criação de mapas de pertinência *fuzzy* consiste basicamente em três fases, representadas por três funções (*T, P e E*). A equação que segue descreve como o conhecimento de um dado tipo de classe será usado num processo de RBR:

$$S_{ij,k} = T_{k,g=1}^n \{P_{c,a=1}^m [E_{c,a}(Z_{ij,a}, Z_{c,a})]\}$$

Em que: $S_{ij,k}$ é o valor de pertinência *fuzzy* no local ij para a classe k ; m , o número de recursos ambientais utilizados para a inferência; n , o número de instâncias para a classe k ; $Z_{ij,a}$ é o valor do recurso ambiental na posição ou pixel (ij); $Z_{c,a}$ é a faixa ideal da instância “ c ” para ocorrência da classe “ k ” em função da característica ambiental “ a ”; E , a função para avaliar o valor de otimização do recurso ambiental; P , é a função para avaliar a pertinência *fuzzy* no nível da instância; T , a função para determinar o valor de pertinência *fuzzy* final para a classe no local k (ij) com base em todas as instâncias.

O ArcSIE permite que o usuário ajuste a função E escolhendo dentre os tipos de funções disponíveis, aquela que é mais pertinente para representar a influência da variável ambiental em uma classe k . Para exemplificar de maneira prática o ajuste destas funções temos a Figura 6. O valor 1 é atribuído quando há 100% de chance de ocorrência da classe k (parâmetro editável V). O parâmetro editável W representa a chance de 50% de ocorrência da classe k . A forma sino é útil quando a derivada do terreno exerce influência na existência da classe k em uma faixa determinada entre os valores $V1$ e $V2$. A função S é aplicável quando somente os valores superiores a $V1$ explicam a classe e para a situação oposta, tem-se a função Z .

Para a edição das regras é necessário carregar os arquivos matriciais das derivadas do terreno que exercem influência na classificação. Para cada variável, serão definidos os limites que favorecem a regeneração natural. Esta definição consiste, basicamente, no ajuste de curvas.



Figura 6: Exemplos de funções editáveis fornecidas pelo ArcSIE.

Após o ajuste das funções, obteve-se o mapa de pertinência *fuzzy* indicando as áreas com maior favorabilidade à regeneração natural. Este mapa foi reclassificado e as áreas com pertinência superior a 70% compuseram o arquivo vetorial da recomendação de alocação de corredores ecológicos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Classificação supervisionada.

A matriz de confusão utilizada para obtenção dos índices de validação é apresentada na Tabela 6. Os índices Kappa condicional são classificados como muito bom para a classe área urbana e excelente para as demais classes (Tabela 7). O índice Kappa geral foi de 0,89 e, portanto, tido como excelente (Tabela 7). Estes resultados

apontam pra uma classificação confiável servindo de base à obtenção do arquivo vetorial dos remanescentes florestais em dois estágios de regeneração (estágio inicial e estágio médio- avançado) para as análises posteriores.

Tabela 6: Matriz de confusão utilizada para validação da classificação supervisionada da imagem Landsat-8 referente ao município de Paraíba do Sul, RJ

Classes	Água	Pastagem	Área urbana	Regeneração em estágio médio	Regeneração em estágio inicial	Soma
Água	28125	0	0	0	0	28125
Pastagem	0	191475	0	0	16425	207900
Área Urbana	0	0	44550	0	10575	55125
Regeneração em estágio médio	0	0	0	114075	9000	123075
Regeneração em estágio inicial	0	0	0	3825	87300	91125
Soma	28125	191475	44550	117900	123300	505350

Tabela 7: Índices de Validação e interpretação da classificação supervisionada da imagem *Landsat-8* para o município de Paraíba do Sul, RJ

Classe	Kappa Condicional		
	Kappa	Var	Interpretação*
Água	1,00	0	Excelente
Pastagem	0,92	$8,2 \cdot 10^{-5}$	Excelente
Área Urbana	0,80	$6,8 \cdot 10^{-4}$	Muito bom
Regeneração Em Estágio Médio	0,92	$1,3 \cdot 10^{-4}$	Excelente
Regeneração Em Estágio Inicial	0,96	$1,1 \cdot 10^{-4}$	Excelente
Índice Geral	0,89	$6,0 \cdot 10^{-5}$	Excelente

*Interpretação realizada com base nos parâmetros de Landis e Kock, (1977).

A classificação supervisionada demonstrou que a maior parte do território municipal (325,67 km²) é representada por pastagens. As áreas urbanas somam 66,20 km² e a classe de corpos d'água ocupa 6,31 km² com maior contribuição por parte do rio

Paraíba do Sul. As duas classes de regeneração natural somadas representam cerca de 31% (182,32 km²) da área do município. A Figura 7 demonstra a ocupação das classes em termos percentuais e a Figura 8 refere-se ao resultado da classificação supervisionada. Estes resultados diferem daqueles apresentados pela Fundação SOS Mata Atlântica (2013) que apontam para 7% de vegetação remanescente em estágio avançado de regeneração enquanto que neste estudo chegou-se ao quantitativo de 88,82 km² o que representa 15%. Uma das razões para esta diferença deve-se às diferentes metodologias adotadas a começar pela escala de trabalho. A SOS Mata Atlântica (2013) trabalhou com dados em escala nacional, considerou apenas fragmentos superiores a 3 ha e em estágio avançado de regeneração. Neste estudo todos os fragmentos foram considerados e os estágios de regeneração médio e avançado foram agrupados.

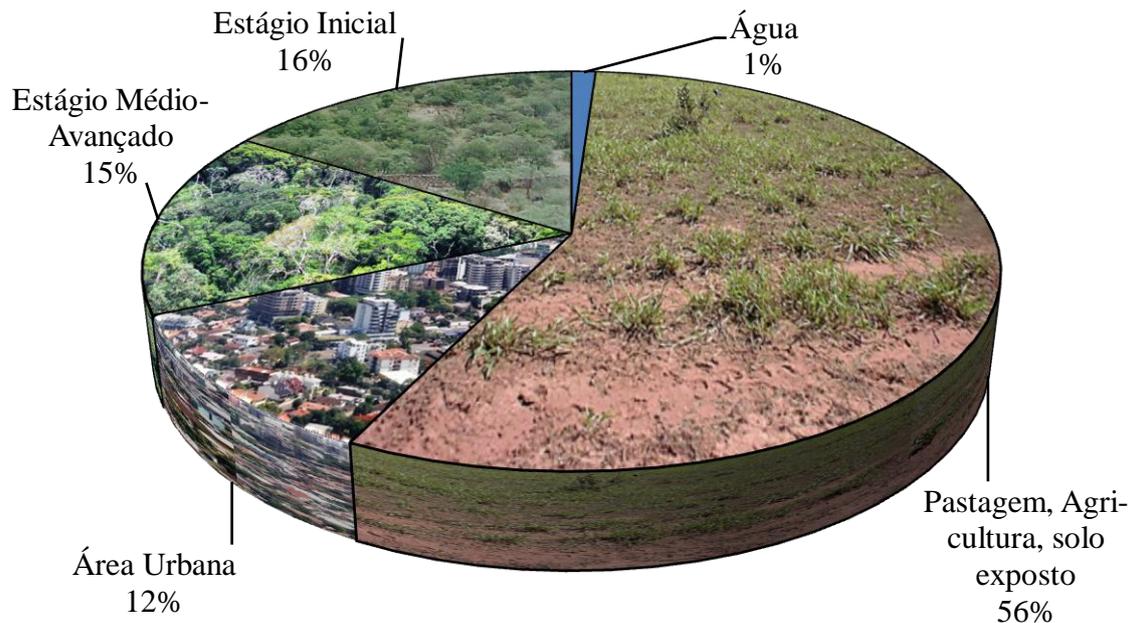


Figura 7: Distribuição, em porcentagem de área ocupada, das classes de uso e cobertura do solo no município de Paraíba do Sul, RJ.

5.2 Métricas da paisagem.

A partir do *shapefile* de fragmentos florestais oriundo da classificação supervisionada da imagem do sensor OLI-TIRS foi possível contabilizar 1.251 fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração. O maior destes possui 238 hectares e coordenadas centrais 22°17'31,0"S 43°12'00,8"W. Este fragmento está localizado próximo ao limite com o município de Petrópolis e têm grande importância por situar-se na zona de amortecimento da Reserva Biológica Araras (REBIOAraras). Quanto à distribuição por classes, foi observado que a maior parte dos fragmentos tem área inferior a 5 ha, correspondendo a 62,7% do número total de fragmentos florestais encontrados (784). A classe dos fragmentos com área entre 5 e 10 ha representou um percentual de 17,5% do número total de fragmentos, com 219 fragmentos, a classe dos fragmentos de 10-50 ha representou 18,1 %, com 226 fragmentos e a classe dos fragmentos com área entre 50 – 100 ha representa 1,1% do total de fragmentos (14). Apenas 0,6% em relação ao número total de fragmentos florestais foram classificados como grandes, isto é, apenas 8 fragmentos possuem área superior a 100 ha

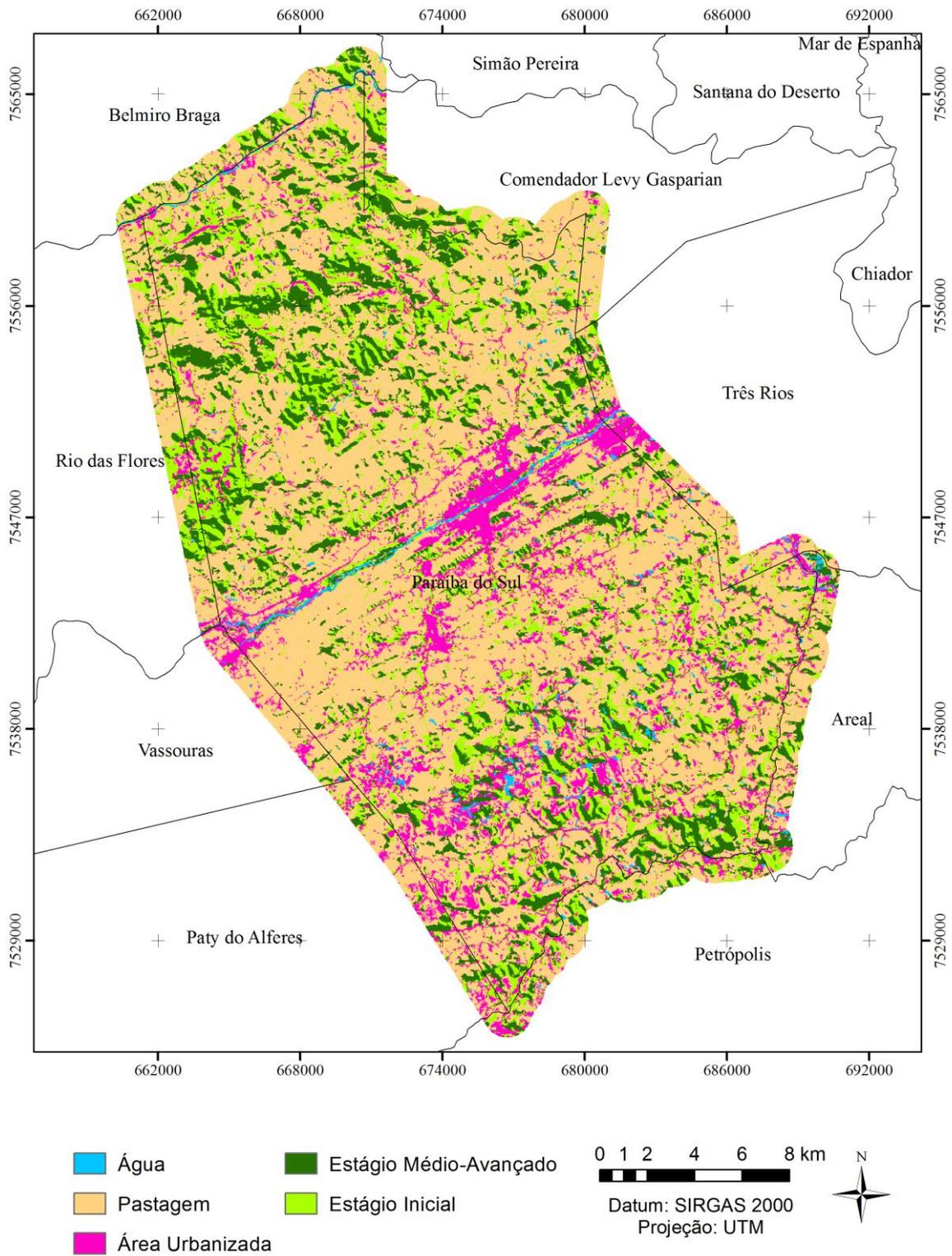


Figura 8: Mapa com resultado da classificação supervisionada apresentando classes de uso e cobertura do solo no município de Paraiba do Sul, RJ.

Apesar da baixa quantidade de fragmentos com áreas extensas, cabe ressaltar que esses fragmentos maiores correspondem a 12,9% da área total (1.268,90 *ha*) enquanto que os 784 fragmentos classificados como pequenos representam 18,5% da área total (1.826,57 *ha*). Fragmentos grandes contribuem expressivamente com a área total ocupada pelos remanescentes florestais e tem importante papel para conservação dos recursos naturais do município. Os fragmentos com área inferior a 10 *ha*, em relação à área total dos fragmentos florestais, representam apenas 34,4 % da área com vegetação em estágio médio, mesmo com o maior número de fragmentos presentes nas referidas classes de tamanho (1003).

A média de tamanho para todos os fragmentos analisados conjuntamente, sem distinção de classes de tamanho (*AMM*) foi de 7,88 *ha*. Este valor médio indica o peso dos fragmentos pequenos, isto é, uma superioridade numérica destes. No entanto a área de todos os fragmentos não apresenta distribuição normal e há ocorrência de fragmentos com valores de área muito acima do valor médio. Na classe de fragmentos muito grandes, por exemplo, o valor médio foi 148,71 *ha* e o desvio padrão 49,49 *ha*. Os valores para as demais classes de tamanho de fragmentos são apresentados na Figura 9.

Os resultados encontrados para distribuição dos fragmentos em classes de tamanho somam-se aos de Santos et al. (2014) e Silva (2002), para demonstrar que na região há predomínio de fragmentos com área inferior a 50 *ha*. Quando extrapolamos esta análise para outras regiões de mata atlântica nos deparamos com a mesma situação: Muitos fragmentos pequenos e poucos fragmentos grandes (JUVANHOL et al., 2011; PIROVANI et al., 2010; RIBEIRO et al., 2009). Conforme Calegari et al. (2010), classes com maior área favorecem a conservação, e a riqueza e abundância de certas espécies dependem das dimensões dos fragmentos da paisagem para existir (PIROVANI, 2010). Para Viana et al. (1992) a redução da área de ecossistemas naturais resulta numa preocupante perda da diversidade animal e vegetal. Entretanto, segundo estes autores os fragmentos florestais, predominantemente pequenos, localizados em propriedades particulares, abandonados e sujeitos a toda sorte de perturbações, são os últimos depositários da biodiversidade nativa de boa parte de nossas florestas.

As métricas de borda (*TB* e *DB*), apresentadas na Figura 9, demonstraram como os fragmentos são influenciados, em função da área, pelo meio circundante. A soma de bordas foi maior para os fragmentos médios. Enquanto o valor total de bordas foi 674.720,28 m para a classe dos fragmentos com área inferior a 5 *ha*, os 8 fragmentos de maior área somaram 162.817,31 m de borda. Quando analisamos este índice em conjunto com os valores da relação perímetro/área fica claro o comportamento inversamente proporcional à área da classe. Desta forma, fragmentos pequenos têm maior relação de perímetro/área (*MRPA*) e este valor decresce até os fragmentos grandes.

O parâmetro densidade de borda (*DB*) mede a quantidade de extremidades relativa à paisagem total em análise, que neste caso, é a área do limite político de Paraíba do sul. Desse modo, a *AT* (Área Total) corresponde a 58.052,87 *ha* e as classes com maior quantidade total de bordas, são as que também apresentaram maior densidade de borda uma vez que a área da paisagem é a mesma para todas as classes.

A fragmentação aumenta a quantidade de ambientes de borda e diminui a quantidade relativa de habitat interior (BEZERRA, 2010). Este processo altera a umidade do ar, temperatura e radiação solar, particularmente nas bordas dos fragmentos, que ficam mais sujeitas à exposição solar. Deste modo, o microclima é alterado, e a possibilidade de ocorrência de espécies invasoras aumenta (BORGES et al., 2004).

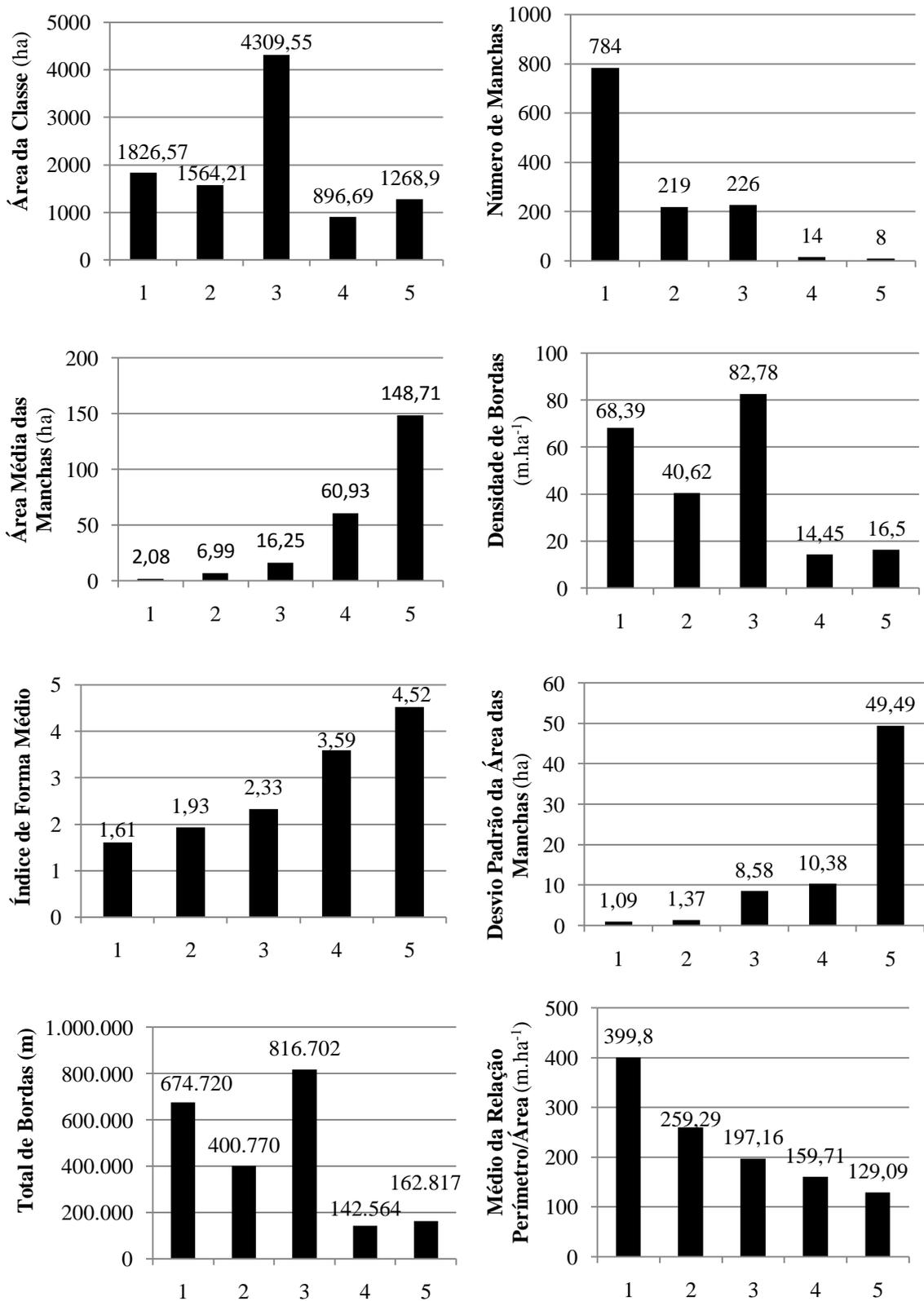


Figura 9: Métricas da paisagem calculadas pelo *Patch Analyst* para classes de tamanho de fragmentos florestais em estágio médio-avanzado de regeneração no município de Paraíba do Sul, RJ. Classes: 1 – muito pequeno; 2- pequeno; 3- médio; 4 grande; 5- muito grande.

No caso de fragmentos florestais, o efeito de borda pode ter um papel significativo na redução da biodiversidade, através de processos como a mortalidade de árvores e alteração de habitats (VIANA et al., 1992). A borda do fragmento florestal é a área por onde a maior parte dos processos biológicos ligados à fragmentação geralmente se iniciam. Quando ocorre a fragmentação da floresta, ocorrem mudanças imediatas e pronunciadas, iniciando-se pelas mudanças na luminosidade, temperatura, umidade e velocidade do vento. Estas mudanças são mais pronunciadas na borda e diminuem na direção do interior da floresta. Para as plantas, os efeitos da borda podem ser diretos (ex. climáticos) ou indiretos (ex. interações com polinizadores, dispersores, cipós, etc.) (VIANA et al., 1992).

O índice de forma seria 1 se todas as manchas tivessem formas circulares. À medida que a irregularidade da forma cresce, o valor do índice aumenta (MACGARIGAL e MARKS, 1995). A comparação dos valores de índice de forma (IFM) das classes de tamanho dos fragmentos florestais revelou que os fragmentos com áreas menores apresentaram formato mais regular (IFM = 1,61 e 1,93) quando comparados com os fragmentos médios, grandes e muito grandes, que apresentaram valores de IFM de 2,33, 3,59 e 4,52, respectivamente. Portanto, apesar da extensão ser favorável, os fragmentos de maior área possuem a desvantagem da irregularidade da forma ser acentuada. No entanto, é passível de afirmação que mesmo apresentando formatos mais irregulares, os fragmentos maiores estão sob menor efeito de borda, visto que apresentam uma relação borda/área melhor (*MRPA*), isto é, a proporção de área é superior a de borda.

Adotando os critérios de Almeida (2008) para o índice de distância do vizinho mais próximo (DVP) temos 45% dos fragmentos com baixo grau de isolamento e 17% com isolamento muito alto, ou seja, maior parte dos fragmentos está 60 m ou menos distantes entre si. Na classe dos fragmentos com isolamento muito alto (distância superior a 200 m), 23 fragmentos têm distância superior a 500 m e o fragmento mais isolado está distante 1.369 m do vizinho mais próximo.

Na Tabela 8 é apresentada uma distribuição de frequência dos fragmentos por classe de tamanho e isolamento. Ressalta-se que um fragmento grande pode ser o vizinho mais próximo de um fragmento muito pequeno, por exemplo, na paisagem considerada. Neste sentido, fragmentos com área reduzida têm importância na conectividade entre fragmentos, pois atuam como “*stepping stones*” (“trampolins ecológicos”) e podem permitir o fluxo de animais entre fragmentos maiores (METZGER, 2001; VIDOLIN et al., 2011). Todos os 8 fragmentos com área superior a 100 *ha* tem baixo grau de isolamento, o que torna-os ainda mais importante na conservação dos recursos.

Tabela 8: Isolamento de fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração, divididos por classes de tamanho, no município de Paraíba do Sul, RJ

Tamanho	Isolamento				Total
	Baixo <i>d < 60m</i>	Médio <i>60 < d < 120m</i>	Alto <i>120 < d < 200m</i>	Muito Alto <i>d > 200m</i>	
Muito Pequeno <i>a < 5ha</i>	299	174	136	175	784
Pequeno <i>5 < a < 10 ha</i>	107	51	35	26	219
Médio <i>10 < a < 50 ha</i>	134	67	12	13	226
Grande <i>50 < a < 100 ha</i>	13	-	-	1	14
Muito Grande <i>a > 100ha</i>	8	-	-	-	8
Total	561	292	183	215	1251

Segundo Volotão (1998), a proximidade entre fragmentos pode facilitar a dispersão e o fluxo gênico, exercendo influência na dinâmica de populações além de deixar implícito em seus resultados o grau de isolamento dos fragmentos. Para Viana et al. (1992), o isolamento dos fragmentos florestais depende, além da distância, do tipo de vizinhança, uma vez que a matriz pode ser mais ou menos permeável ao fluxo das espécies entres fragmentos. Neste sentido é viável afirmar que uma matriz urbana é mais impermeável ao fluxo de animais terrestres que uma matriz rural, ainda que esta esteja desmatada. Através da Figura 10 é possível perceber a espacialização do grau de isolamento, a distância em relação ao centro urbano e o tamanho dos fragmentos. Dentre os 8 fragmentos muito grandes, 5 estão localizados na parte noroeste do município (bairros Monte Cristo e Engenheiro Carvalhães). Estes fragmentos estão bem próximos uns aos outros e a outros fragmentos menores e distanciados do centro urbano. Esta região, portanto é estratégica para a adoção de medidas conservacionistas, pois entende-se que resguarda maior originalidade do bioma e processos ecológicos.

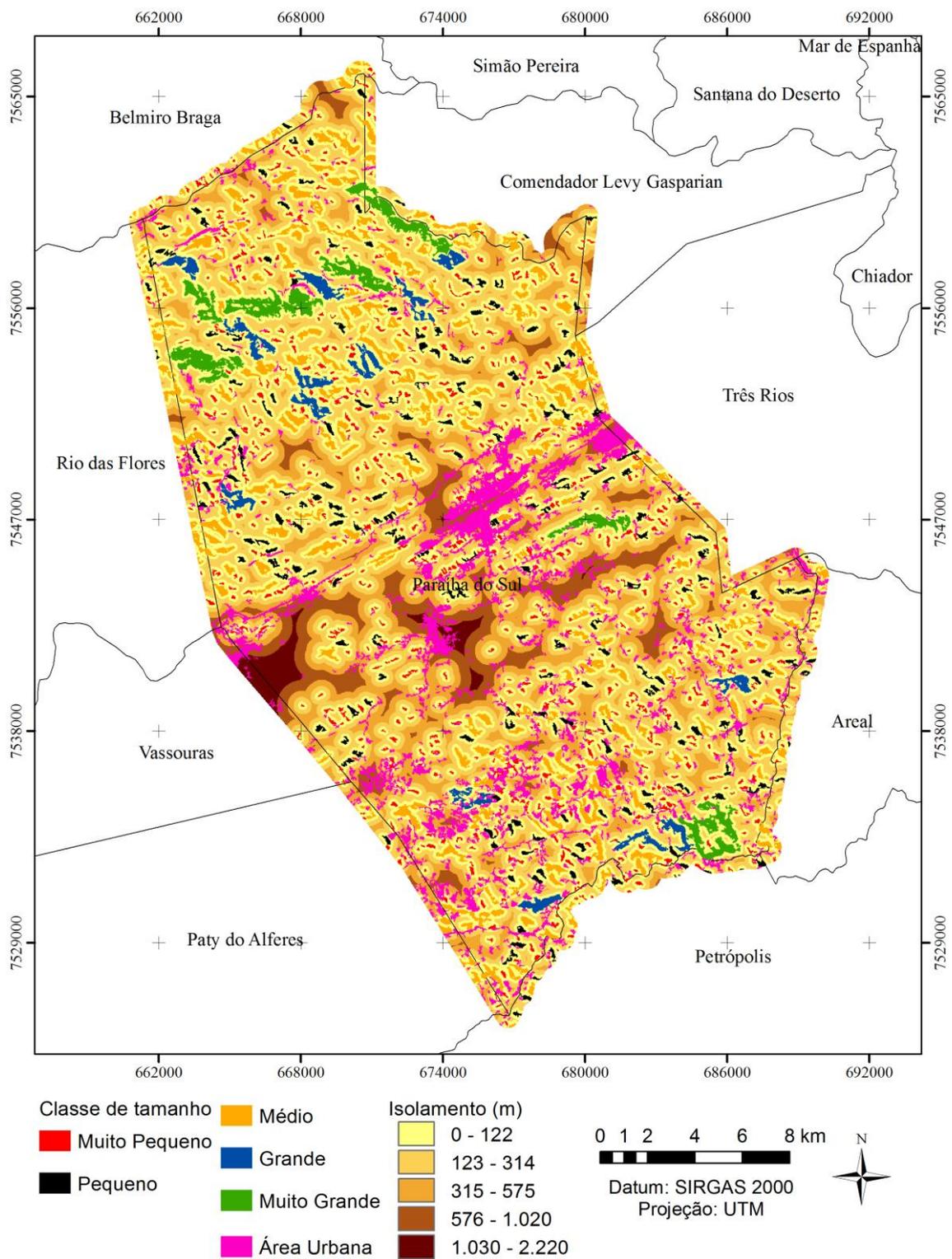


Figura 10: Espacialização do isolamento, tamanho e distância da área urbana dos fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração no município de Paraíba do Sul, RJ.

As métricas de área central são apresentadas na Tabela 9. Para uma distância da borda de 30 m, fragmentos classificados como muito pequenos tem uma área central (*core*) total de 331,83 *ha*, fragmentos pequenos 563,19 *ha*, médios 2.171,03 *ha*, grandes 513,40 *ha* e muito grandes 818,83 *ha*. O Índice de Área Central (IAC) mede a quantidade relativa de área central na paisagem. Desta forma fragmentos muito pequeno apresentaram IAC de 16,37% significando que 83,63% da área dos fragmentos desta classe estariam sob efeito de borda, para um valor de *buffer* com 30 m. À medida que o tamanho da classe aumenta, menor quantidade da área total é afetada pelo efeito de borda, evidenciando desse modo que fragmentos maiores sofrem menor influência da borda. Os fragmentos pequenos tiveram IAC de 48,48%, médios tem 68,00% de área central e fragmentos da classe grande obtiveram o maior índice com 82,56% de IAC.

Ao dobrar a distância de influência da borda, ou seja, um *buffer* de 60 m, os fragmentos classificados como muito pequenos tem uma área central reduzida para 15,65 *ha* e IAC de apenas 2,46%, ou seja, 97,54% da área total dos fragmentos pequenos seria afetada pelo efeito de borda. Nestas mesmas condições os maiores fragmentos possuem uma área central de 486,72 *ha* com um IAC correspondente a 37,51%.

As métricas de área central são consideradas medidas da qualidade de habitats, uma vez que indicam quanto há realmente de área efetiva de um fragmento, após descontar-se o efeito de borda (VIDOLIN et al., 2011). Cabe ressaltar que os *buffers* adotados neste trabalho são teóricos, mas permitem uma análise geral em função da forma e tamanho dos fragmentos presentes no município. Volotão (1998) destaca que a área central é afetada pela forma e, portanto certos fragmentos podem ter área suficiente mas não possuir área central capaz de permitir manutenção e desenvolvimento de uma determinada espécie. Na prática, esta situação ocorre quando a forma é tão irregular que mesmo com grande área o efeito de borda atua em todo fragmento não restando área de efetiva conservação.

Neste sentido, Santos et al. (2014) constataram que na região do Vale do Café Sul Fluminense, devido ao tamanho reduzido e a irregularidade da forma, 556 fragmentos com área inferior a 10 *ha* não tiveram área central, sugerindo que toda área destes, está influenciada pela borda e ainda que alguns fragmentos com área superior a 50 *ha* apresentaram mais de uma área central por mancha. No presente trabalho comportamento semelhante foi constatado. Para o *buffer* de 60 m, por exemplo, o número de manchas na classe muito pequeno (784) foi reduzido para 180 áreas centrais enquanto que para os 8 fragmentos muito grandes foram contabilizadas 64 áreas centrais.

Tabela 9: Índices de área central calculados pelo *Patch Analyst* para fragmentos em estágio médio- avançado de regeneração no município de Paraíba do Sul, RJ

Classe	Área da Classe (ha)	<i>Buffer 30m</i>				<i>Buffer 60m</i>			
		Área Central Total (ha)	Número de Áreas Centrais	Área Central Média (ha)	Índice de Área Central (%)	Área Central Total (ha)	Número de Áreas Centrais	Área Central Média (ha)	Índice de Área Central (%)
Muito Pequeno <i>a < 5ha</i>	1826,57	331,83	1109	0,30	16,37	15,65	180	0,09	2,46
Pequeno <i>5 < a < 10 ha</i>	1564,21	563,19	430	6,99	31,71	111,14	264	0,42	7,05
Médio <i>10 < a < 50 ha</i>	4309,55	2171,03	573	16,25	47,22	883,98	484	1,83	18,07
Grande <i>50 < a < 100 ha</i>	896,69	513,40	83	60,93	53,22	265,31	64	4,15	26,06
Muito Grande <i>a > 100ha</i>	1268,90	818,83	61	148,71	64,33	486,72	64	7,60	37,51
Total	9865,92	4398,28	2256,00			1762,79	1056,00		

5.3 Resiliência no terreno

A partir dos mapas de orientação de vertentes (Anexo 3) e radiação solar global (Anexo 4) pode-se comprovar a relação entre face de exposição e quantidade de radiação solar recebida (Tabela 10). Considerando as médias de radiação solar global recebida pela superfície, há uma diferença de $129.715 Wh.ano^{-1}$ entre a face que recebe menos (Sul) e a que recebe maior quantidade (Norte) de radiação.

Tabela 10: Quantidade média de radiação solar global recebida em diferentes faces de exposição (vertentes) no ano de 2013 em Paraíba do Sul, RJ

Vertente	Média de Radiação Global ($Wh.ano^{-1}$)
Plano	1.643.780
Norte	1.676.705
Nordeste	1.660.870
Leste	1.616.460
Sudeste	1.569.550
Sul	1.546.990
Sudoeste	1.571.390
Oeste	1.616.790
Noroeste	1.657.030

Cruzando os dados, para a regeneração em estágio inicial não foi constatada uma relação clara com a orientação das vertentes (Figura 12). Tanto as faces que recebem radiação direta nas horas mais quentes do dia quanto às faces que recebem menos quantidade, apresentaram índices similares de regeneração natural inicial.

Quando consideramos apenas os fragmentos em estágio médio-avançado de regeneração, o fator orientação das vertentes teve uma forte correlação (Figura 12). As vertentes sul, sudeste, e sudoeste somadas, representam cerca de 78% (7.105 ha) da área ocupada por estes fragmentos, sendo a maior parte dos fragmentos nas vertentes sul (35%) e sudoeste (25%). Áreas planas concentram apenas 14,04 ha de fragmentos que em termos percentuais representa 0,15%. Apenas 138 ha estão distribuídos entre as vertentes norte e nordeste. Através dos histogramas de frequência apresentados nas Figuras 12 e 13 percebe-se que os fragmentos em estágio inicial estão em classes com intervalos superiores de radiação (Figura 12) e tendem para uma distribuição normal, já os fragmentos em estágio médio-avançado ocupam classes com intervalos inferiores e apresentam uma distribuição assimétrica negativa (deslocada para a esquerda) (Figura 13).

No que se refere aos resultados obtidos para fragmentos em estágio médio-avançado de regeneração, a quantidade de energia recebida pela vertente norte pode ser uma das razões que explicam a menor quantidade de fragmentos florestais nestas vertentes. Para o Município de Paty do Alferes, vizinho de Paraíba do Sul, Corrêa (2008) concluiu que as vertentes voltadas para norte e as áreas planas, não apresentaram fragmentos em processo de regeneração natural. Enquanto as áreas em processo de regeneração natural estão localizadas, em sua maioria, nas vertentes do relevo voltadas para sudoeste, sul e sudeste.

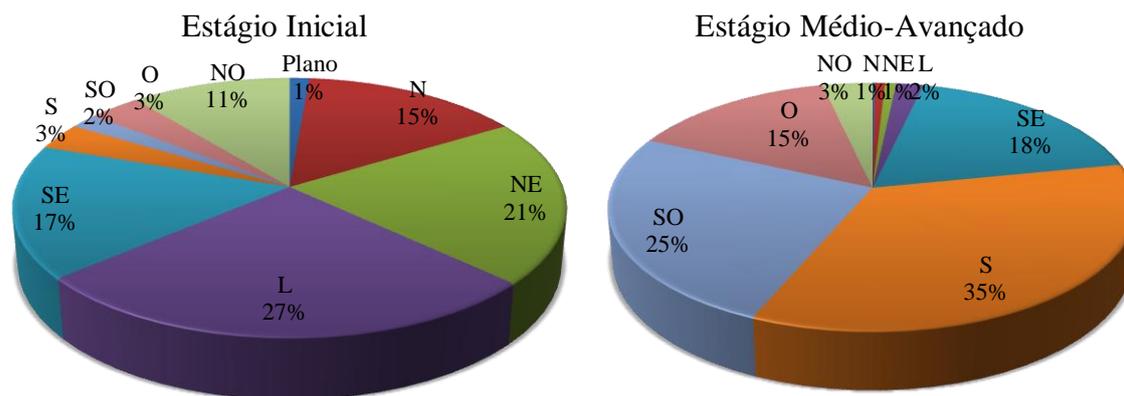


Figura 11: Distribuição em porcentagem de área dos fragmentos florestais em estágio inicial e médio-avançado de regeneração nas classes de orientação de vertente no município de Paraíba do Sul, RJ.

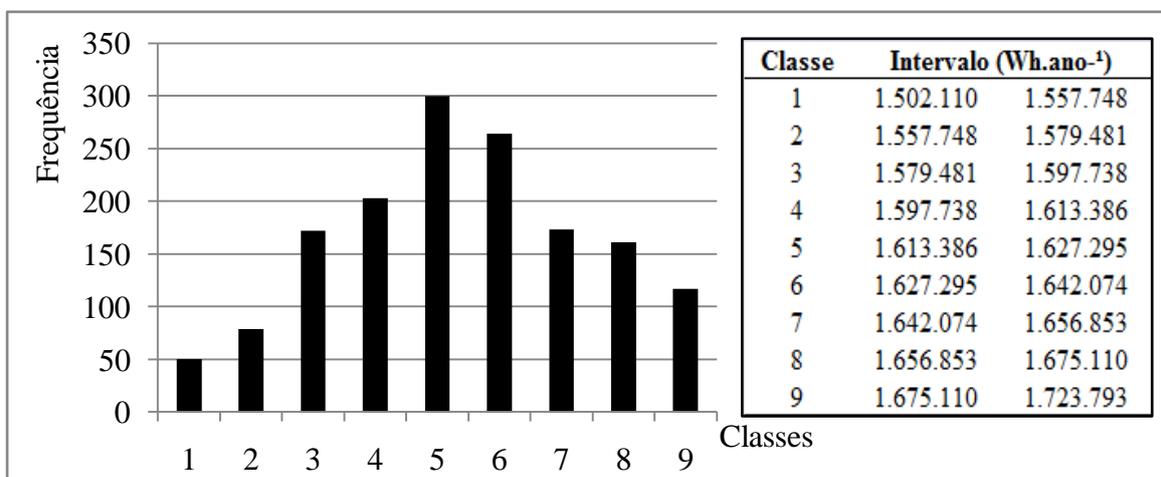


Figura 12: Distribuição de frequência de fragmentos florestais em estágio inicial de regeneração segundo classes de radiação solar global em Paraíba do Sul, RJ.

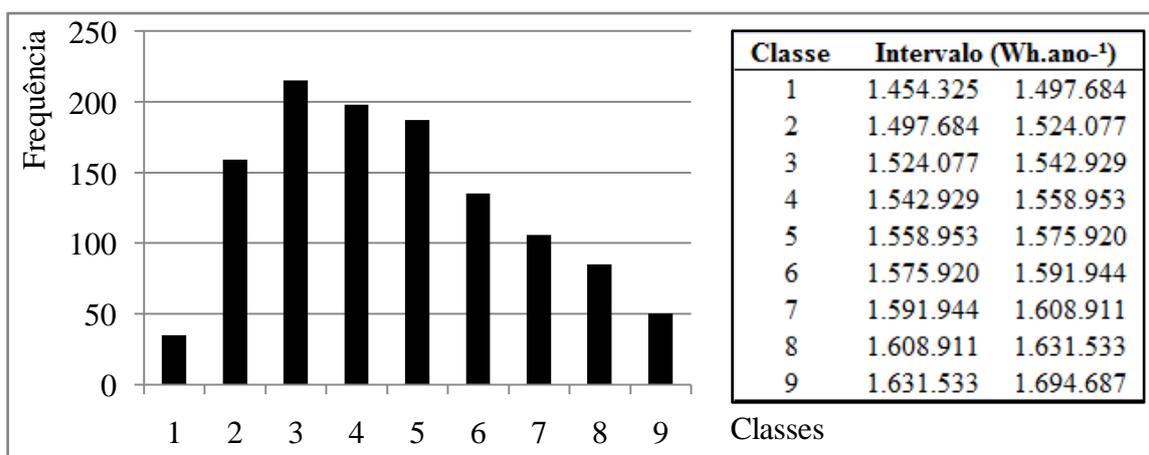


Figura 13: Distribuição de frequência de fragmentos florestais em estágio médio-avançado de regeneração segundo classes de radiação solar global em Paraíba do Sul, RJ.

Chama atenção, pela similaridade com resultados deste estudo, as implicações do cruzamento da dinâmica da cobertura vegetal com a orientação das vertentes feito por Silveira e Silva, (2010) na Bacia do Rio Paquequer em Teresópolis, RJ. Os autores constataram que os fragmentos florestais evoluíram para estágios avançados de regeneração florestal, preferencialmente nas vertentes voltadas para sul e ainda que a favorabilidade das encostas só apresentou relevância para os processos de regeneração avançada e não para os de regeneração inicial. Silveira e Silva (2010) levantam a hipótese de que isso seja decorrente da capacidade das classes de vegetação pioneira em suportar condições variadas, enquanto a vegetação clímax e em estágio de sucessão avançado são mais seletivas quanto à umidade e incidência solar.

Observações de campo caminham para outra hipótese nesta área em estudo. É comum a prática de queimadas no município, medida adotada muitas vezes para substituir o pasto antigo pela nova vegetação de gramíneas que surge com o início das chuvas. Embora não exista uma relação comprovada, pressupõe-se que as vertentes com maior incidência de radiação solar, por ficarem mais secas no período do inverno, estão mais sujeitas à propagação do fogo (Figura 14).

Conforme destaca Nogueira (2012), o fato das práticas agropecuárias serem realizadas preferencialmente em vertentes voltadas para o norte e noroeste dificulta a evolução da sucessão ecológica nessas áreas em função do manejo constante. Estudando a bacia do rio Santana em Miguel Pereira, município vizinho à Paraíba do Sul, Matos Júnior (2008) constatou maior quantidade e maior tamanho de fragmentos florestais nas faces voltadas para Sul. Este mesmo autor afirma que, devido ao menor gradiente de umidade, a vertente norte é menos resistente à ação das queimadas e este fato contribui para explicar a configuração da paisagem. Estes trabalhos corroboram para a hipótese levantada neste estudo e apontam para menor resiliência das vertentes orientadas para norte e grande contribuição antrópica para explicar a paisagem.



Figura 14: Ocorrência de queimada na vertente norte e presença de fragmento na vertente sul no município de Paraíba do Sul, RJ.

Tratando da distribuição dos fragmentos em relação à declividade do terreno, é possível observar, através da Figura 15, que tanto para o estágio inicial como para o estágio médio de regeneração natural a classe de declividade com maior concentração

de fragmentos foi a de relevo forte ondulado (com inclinação entre 20 e 45%). Ainda que observadas áreas escarpadas no município, ou seja, com declividade superior a 75%, fragmentos florestais não foram localizados nesta classe.

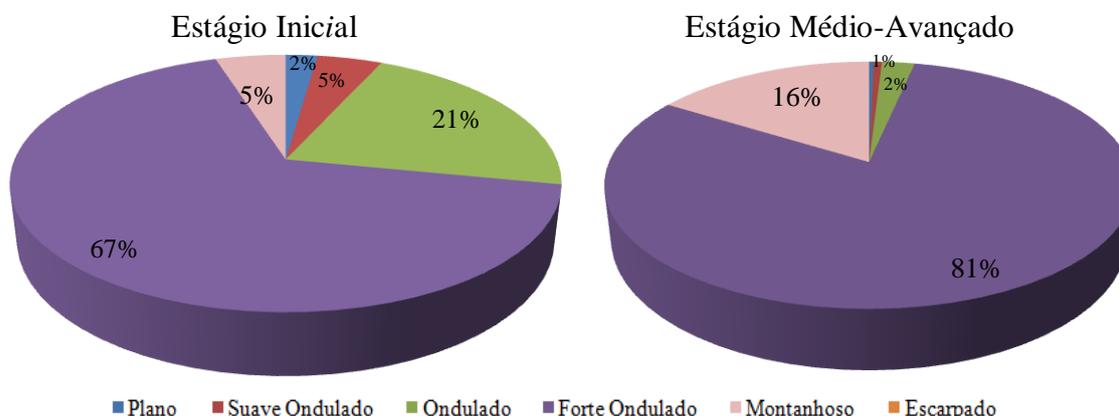


Figura 15: Distribuição, em porcentagem de área, dos fragmentos florestais em estágio inicial e médio- avançado de regeneração nas classes de declividade no município de Paraíba do Sul, RJ.

Os resultados encontrados neste trabalho para o critério declividade têm semelhança ao cenário Estadual. Na Bacia do Rio Paquequer em Teresópolis, RJ Silveira e Silva (2010), constataram que tanto a classe de regeneração inicial como a avançada, seguem o mesmo padrão de distribuição de declividade e ainda que o desmatamento é maior nas áreas de menor declividade (até 20%), onde o uso antrópico é mais favorável. Nogueira (2012) verificou que entre as classes de relevo ondulado e montanhoso estão situados mais de 90% dos fragmentos florestais nos municípios fluminenses Itaperuna, Valença e Vassouras, sendo que a classe de relevo forte ondulado é responsável por cerca de 50% deste quantitativo. Já a classe de declividade com menor cobertura florestal foi a plana, justamente por ser a mais intensivamente utilizada para atividades produtivas.

Para o atributo perfil de curvatura do terreno não foi observada uma relação clara com a presença de fragmentos florestais. Tanto para estágio inicial de regeneração como para os estágios mais avançados a distribuição seguiu o mesmo padrão como pode ser observado na Figura 16.

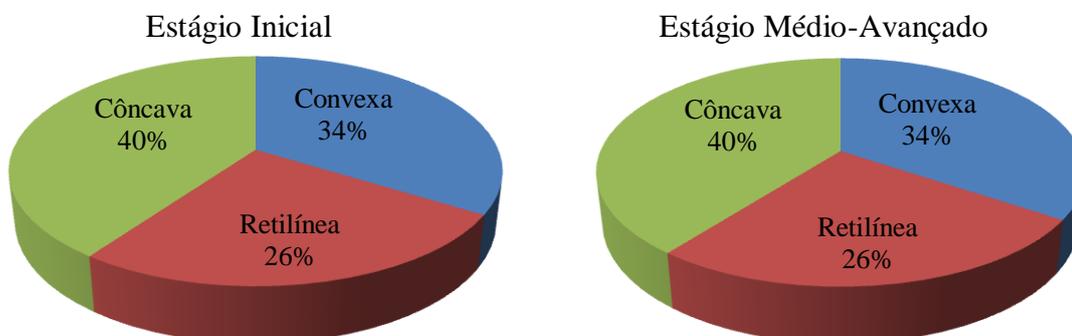


Figura 16: Distribuição em porcentagem de área dos fragmentos florestais em estágio inicial e médio-avançado de regeneração nas classes de perfil de curvatura no município de Paraíba do Sul, RJ.

5.4. Delineamento de Corredores.

Dentre as variáveis do terreno analisadas, as que mais exerceram influência na evolução dos fragmentos florestais foram declividade, orientação de vertentes e radiação solar. Portanto, estas variáveis foram utilizadas para delimitar áreas na paisagem que possuem maior resiliência e por isso são mais indicadas para o traçado de corredores que conectem os fragmentos existentes. As funções utilizadas no ArcSIE (SHI, 2013) para explicar a influência de cada variável na regeneração, bem como os parâmetros adotados são apresentados na Figura 17.

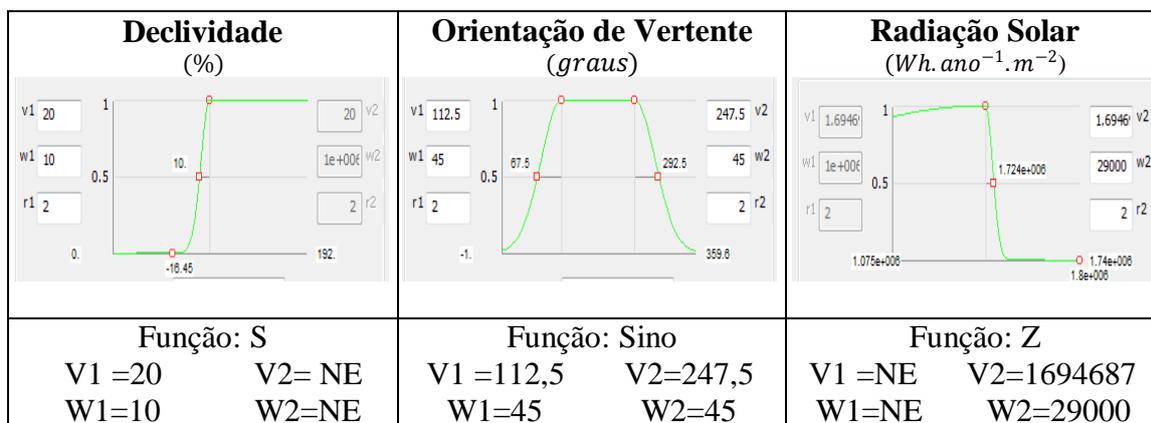


Figura 17: Demonstração do ajuste de curvas para derivadas do terreno que exercem influência na regeneração natural.

Conforme os resultados obtidos, maiores declividades favorecem a presença de fragmentos florestais e as áreas mais planas tem maior intensidade de uso antrópico. Por isso, para esta variável, a função mais adequada é a “função S”. Para a orientação das vertentes, considerou-se o resultado para os fragmentos em estágio médio-avançado de regeneração, onde as vertentes sudeste, sul e sudoeste têm maior contribuição. Para o critério radiação solar global percebeu-se que menores quantitativos anuais favorecem a presença de fragmentos florestais e por isso a função Z foi mais pertinente.

Os valores dos parâmetros editáveis foram empregados com base na divisão de classe adotada. Para radiação solar utilizou-se como limite da probabilidade de 100% (V2) o valor médio superior onde foram encontrados fragmentos em estágio médio-avançado de regeneração e 50% (W2) foi o valor superior para fragmentos estágio inicial de regeneração.

Na Figura 18 é apresentado o primeiro cenário para instalar corredores ecológicos no município de Paraíba do Sul. Neste cenário o mapa de pertinência *fuzzy* indica as áreas que tem as condições ambientais que favorecem a recuperação, isto é áreas com maior resiliência. Descontando-se a área urbanizada e as áreas já ocupadas por fragmentos em estágio médio-avançado de regeneração, 23.775,74 **ha** têm a recuperação facilitada pelas variáveis ambientais. O mapa deste cenário (Figura 18) permite a visualização do melhor caminho para traçar corredores ecológicos, devendo ser conhecido os fragmentos de interesse para conexão. Este mapa também serviu para comprovar a diferença de resiliência na paisagem e para validar o ajuste das funções

uma vez que 89% dos fragmentos em estágio médio-avançado de regeneração estão inseridos em área com pertinência *fuzzy* superior a 87,5%.

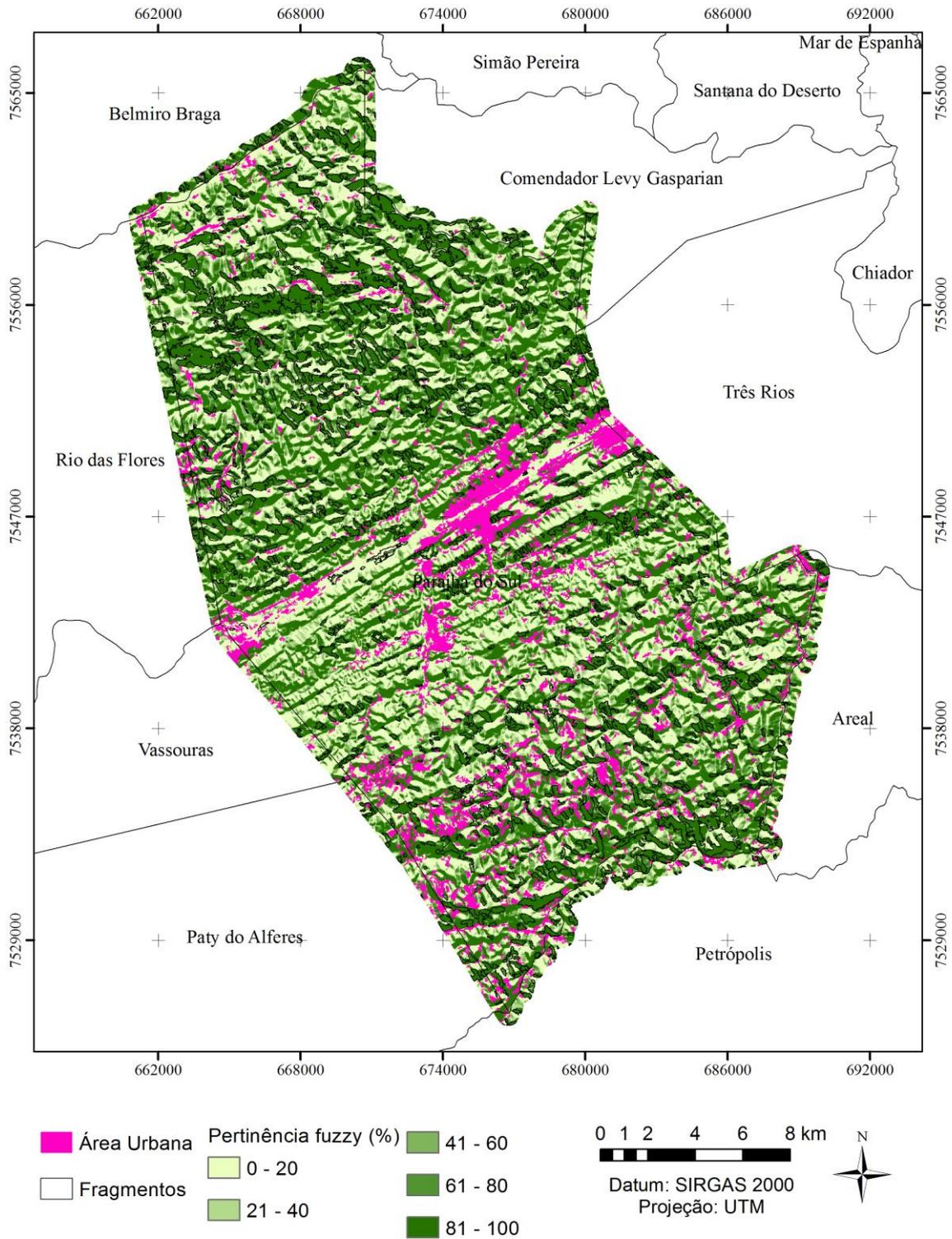


Figura 18: Mapa de pertinência *fuzzy* para alocação de corredores ecológicos no município de Paraíba do Sul, RJ, considerando apenas as variáveis ambientais.

Como exemplo dessa aplicação, a Figura 19 ilustra o caminho mais adequado para a conexão entre o fragmento do Parque Salutaris ($22^{\circ}10'20.6''S$, $43^{\circ}17'13.8''W$) e o da Pedra da Tocaia ($22^{\circ}10'14.5''S$, $43^{\circ}14'57.0''W$). O corredor “Salutaris-Tocaia” considera as áreas com valor de pertinência *fuzzy* superior a 70%.

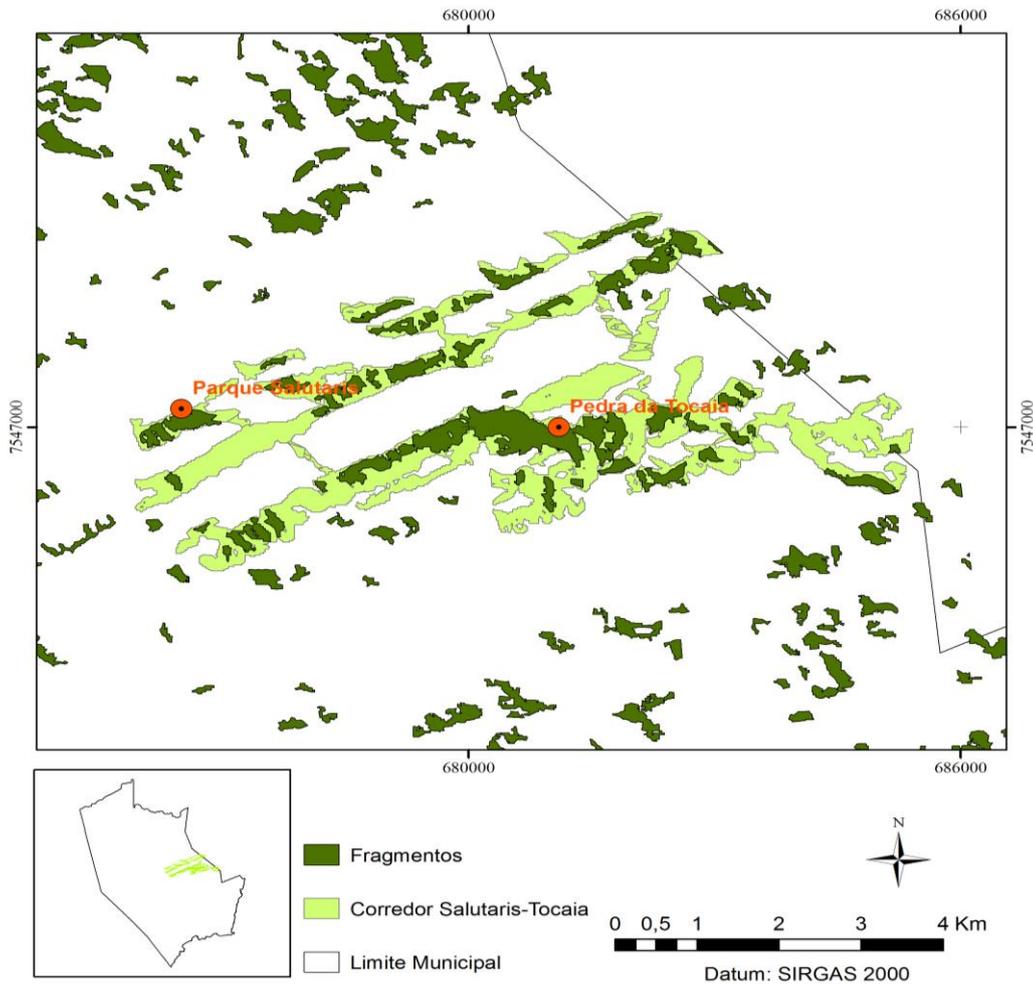


Figura 19: Corredor ecológico “Salutaris-Tocaia” delimitado a partir do mapa de pertinência *fuzzy* no município de Paraíba do Sul, RJ.

No segundo cenário, considerou-se também o grau de isolamento entre os fragmentos e para isso o *raster* de distância euclidiana entre os fragmentos passou a fazer parte do conjunto de variáveis que influenciam o resultado da pertinência *fuzzy*. O objetivo neste caso é estabelecer conexões entre os fragmentos mais isolados. Desse modo, para a variável isolamento, foi utilizada a função S que dá preferência para os maiores valores. Com base nas distâncias estabelecidas por Almeida (2008) considerou-se fragmentos muito isolados aqueles com distância superior a 200m do vizinho mais próximo. Ao parâmetro editável V1 foi atribuído o valor 200, e para W1 o valor 80. O mapa de pertinência *fuzzy* para este cenário é apresentado na Figura 20.

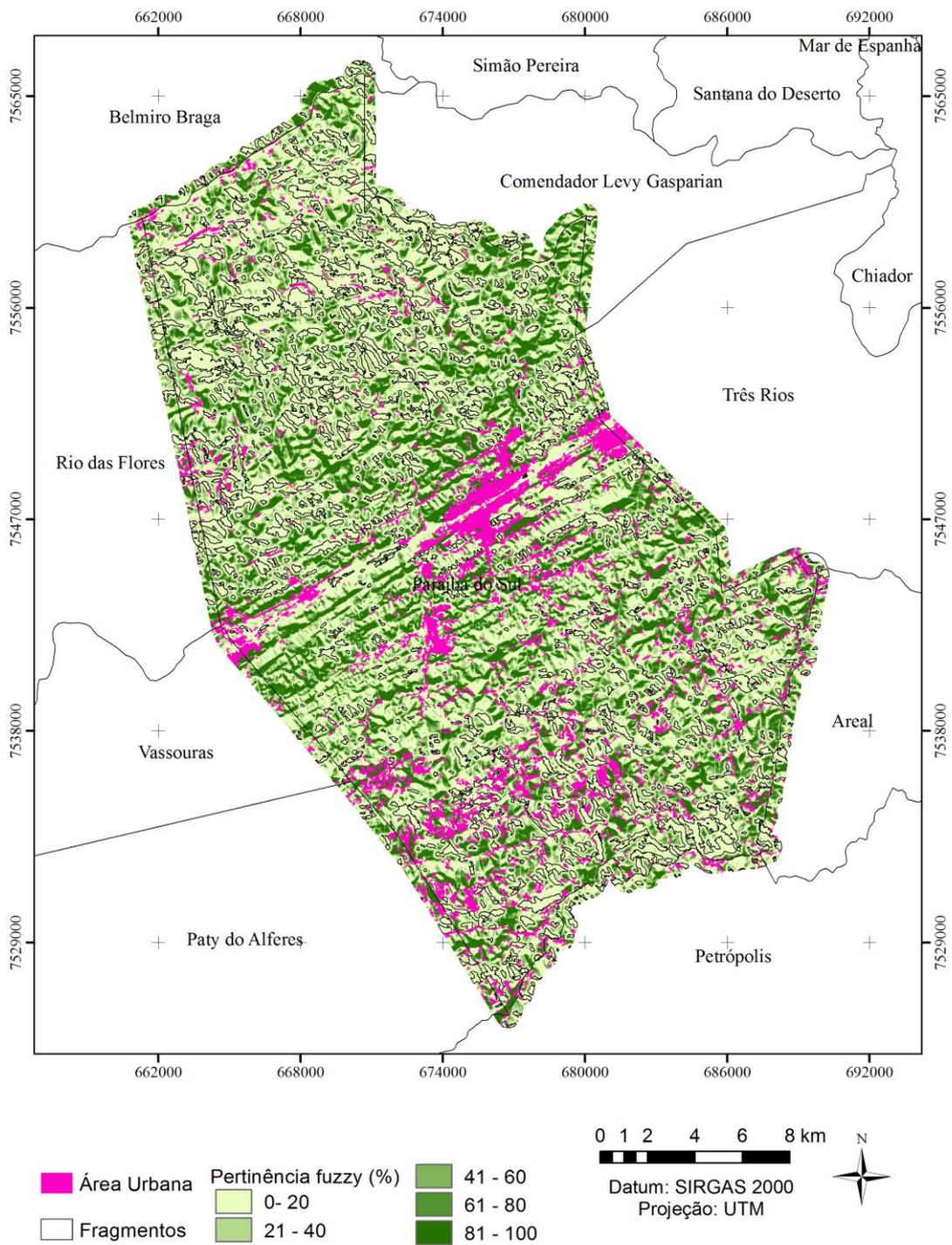


Figura 20: Mapa de pertinência *fuzzy* para conexão entre fragmentos mais isolados no município de Paraíba do Sul, RJ.

A conexão entre fragmentos é apontada como facilitadora de fluxo gênico e, portanto tem grande importância para a conservação de recursos naturais (VIANA et al., 1992; VIANA e PINHEIRO, 1998). A partir da legislação florestal, principalmente a lei 12.651 de 25 de maio de 2012, todo proprietário rural é obrigado a respeitar as Áreas de Preservação Permanente (APP) e ainda deixar em sua propriedade uma área de Reserva Legal (RL). Nesta mesma lei também é previsto que a localização da área de Reserva Legal no imóvel rural deverá levar em consideração a conexão com outros fragmentos. Uma das formas apontadas para a recuperação de APP e a formação da RL é a condução da regeneração natural. Neste sentido, o presente trabalho trouxe um zoneamento de todo o território do município de Paraíba do Sul com indicação das áreas mais aptas a formação de fragmentos florestais via regeneração natural e que também respondem mais rapidamente aos projetos de recuperação de áreas degradadas. Segundo Sartori et al. (2012), no que se refere à priorização de áreas, a espacialização representa um dos métodos mais eficientes e econômicos. Deste modo, a observação da natureza, possibilitou a elaboração de um modelo teórico, com aplicações práticas, que aumentará as chances de sucesso nas ações conservacionistas adotadas no município de Paraíba do Sul, RJ.

6. CONCLUSÕES

- No município de Paraíba do Sul, RJ, predominam pastagens como uso e cobertura do solo.
- No geral, os fragmentos estão sob intenso efeito de borda seja pela área reduzida ou pela forma muito irregular.
- Apenas 8 fragmentos superam 100 ha, no entanto tem baixo grau de isolamento e, desta forma, são prioritários para a conservação e mais indicados para a formação de corredores ecológicos.
- Os fragmentos em estágio de regeneração médio-avançado estão preferencialmente nas vertentes sul, sudoeste e sudeste, e em declividades superiores a 20%. Estas áreas recebem menor quantidade de radiação solar global por ano e constituem áreas estratégicas para conservação e formação dos corredores ecológicos.
- O ajuste de funções *fuzzy* permitiu identificar 23.775 ha de território que tendem a facilitar a recuperação florestal e são, portanto, áreas estratégicas para aplicação e otimização de recursos e programas conservacionistas como a formação de corredores ecológicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano regional de saneamento básico caracterização do município projeto aplicado de comunicação e mobilização social Paraíba do Sul**. Taubaté: Vallenge Consultoria Projetos e Obras Ltda., 2013. 77p.

ALCÂNTARA, D. As fazendas do Vale do Paraíba: O começo de uma caminhada. In: LERNER, D.; MISZPUTEN, F. (Orgs). **Inventário das Fazendas do Vale do Paraíba Fluminense - fase III**. 1. ed. Rio de Janeiro: INEPAC/Instituto Cidade Viva, 2011, v. 3, p. 415-426.

ALMEIDA, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

AMARAL, M. V. F. et al. Dinâmica da cobertura vegetal (1980-2004) em um projeto de produção florestal, nos municípios de Bugre e Ibapa, MG. **Árvore**, v.33, n.02, p. 315-325, 2009.

ANJOS, D. S. JÚNIOR, M. M.; NUNES, J. O. R. Classificação da curvatura de vertentes em perfil via Modelo numérico de Terreno. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p.2286-2293.

BEZERRA, C. G. et al. Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia hidrográfica do córrego horizonte, Alegre, ES. **Espaço & Geografia**, v.14, n. 02, p. 257-277, 2011.

BEZERRA, C. G. **Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia do córrego Horizonte, Alegre, ES**. 2010.55f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro.

BORGES, L. F. R. et al. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANE, J. M.; SILVA, E. ; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Árvore**, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.

CARRÃO, H.; CAETANO, M.; NEVES, N. LANDINC. Cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - ESIG 2001, 6, Oeiras, Portugal. **Anais eletrônicos...**

Lisboa: Associação dos Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica - USIG, 2001. Disponível em: <<http://esig2001.tripod.com>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

CASTRO OLIVEIRA, M. T. et al. **Paraíba do Sul: sesquicentenário**. Paraíba do Sul: Associação Comercial Industrial e agro-pastoril de Paraíba do Sul. 1983.54 p.

CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**., n.37, p. 35-46.

CORRÊA, M. P. **Influência da radiação solar na regeneração natural de Mata Atlântica**. 2008. 48f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

DANTAS, M. E.; COELHO NETTO, A. L. Resultantes Geo-Hidroecológicas do Ciclo Cafeeiro (1780-1880) no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: uma Análise Quali-Quantitativa. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 15, p. 61-78, 1996.

ELKIE, P.; R. REMPEL.; CAR, A. **Patch Analyst User's Manual**. Ontario: Ontario Ministry of Natural Resources. Northwest Science & Technology. 1999. 28p.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 83p. 1979.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**. Version 10.1. Software. 2013.

FERNANDES FILHO, E. I.; FIRME SÁ, M. M. Influência das variáveis do terreno na radiação solar. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 5751-5753.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. **Árvore**, v. 27, n. 04, p. 575-583, 2003.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. Patches and structural components for a landscape. **Bioscience**, v. 31, n. 10, p. 733-740, 1981.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA / INPE. **Atlas dos remanescentes florestais e ecossistemas associados da Mata Atlântica no período de 2000-2005**. São Paulo: INPE, 2006 Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>> Acesso em: 03 mar. 2014.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2010-2012**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2013. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>> Acesso em: 05 de ago. 2014.

FUSHITA, A. T. **Análise da fragmentação de áreas de vegetação natural e seminatural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds). **Terrain Analysis. Principles and applications**. New York: John Wiley, 2000. p. 51-85.

GANDOLFI, S. **História natural de uma floresta semidecidual no município de Campinas (SP. Brasil)**. 2000. 520f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GEROE - Grupo Executivo para Recuperação e Obras de Emergência do Estado do Rio de Janeiro. **Mapa de Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado do Rio de Janeiro e da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. 1995. Disponível em: <http://www.hidro.ufrj.br/pqarj/geral>. Acesso em: 30 de set. de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa da Vegetação do Brasil escala 1:5. 000.000**, 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Metadados do produto Modelo Digital de Elevação 1:25.000 do Projeto RJ-25**. 2005. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelo_digital_de_elevacao/projeto_rj_escala_25mil/Metadados_MDE_RJ25.pdf Acesso em: 01 de set. de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil> Acesso em: 01 de set. de 2014.

MATTOS JÚNIOR, C. F. **Efeito da Fragmentação Florestal na Regularização Hídrica de Microbacias no Município de Miguel Pereira, RJ**. 2008. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)– Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

JUVANHOL, R.S. et al. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul, Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**,v.18, n.4, p.353-364, 2011.

LANDIS, J.R., KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. V. 33, p.159–174, 1977.

MACHADO, L. G. Análise da influência da topografia na variação sazonal de fitofisionomias na bacia do Rio Veríssimo – GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 25-30, abril 2009. Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 2817-2822.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon. 1994, 62p.

MELLO, T. F. **Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quase-florestas de São Luiz do Paraitinga (SP)**. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas/SP, v1, n1/2. 2001. Disponível em:
<http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?tematic-review+BN00701122001>
Acesso em 12 de ago. 2014.
- MUAZE, M. A. F. O Vale do Paraíba e a dinâmica Imperial. In: LERNER, D.; MISZPUTEN, F. (Orgs). **Inventário das Fazendas do Vale do Paraíba Fluminense - fase III**. 1ed. Rio de Janeiro: INEPAC/ Instituto Cidade Viva, 2011, v. 3, p. 293-340.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v.10, n.1, p.58-62, 1995.
- NOGUEIRA, P. M. **Influência de variáveis ambientais no processo de regeneração natural da mata atlântica no vale do Paraíba do Sul**. 2012. 55f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)– Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- OLIVEIRA, L. T. **Caracterização da fragmentação florestal para produção de sementes no entorno capixaba do Parque Nacional do Caparaó**. 2011. 65f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro.
- PEREIRA, T. K; et al. A paisagem da bacia do Rio Pitangui sobre a Escarpa Devoniana, Ponta Grossa, Paraná. **Sociedade e Natureza**, v. 25, n. 3, p. 567-579. 2013.
- PIROVANI, D. B. **Fragmentação, florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias.
- PIVELLO, V.R.; METZGER, J. P. Diagnóstico da pesquisa em Ecologia de Paisagens no Brasil (2000-2005) **Biota Neotroica**. v. 7, n. 3, 2007. Disponível em:
<http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?point-of-view+bn00107032007>
Acesso em: 25 de ago. de 2014.
- RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v.142. p.1141-1153. 2009.
- RICH, P. M. et al. Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers**, p 524-529. 1994.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S; ISERNHAGEN, I. (Organizadores). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 2. ed. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 264p.
- ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: THIRD ERTS SYMPOSIUM, **Proceedings...** NASA SP-351, NASA, Washignton, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

SANTOS, G. L. et al. Vertentes prioritárias para implantação de programas de pagamentos por serviços ambientais na bacia do Paraíba dos Sul: Estudo de caso em Nova Friburgo-RJ. In: SIMPÓSIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 9, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IX SINRAD , 2012.

SANTOS, J. F. C. et al. Fragmentação florestal no vale do café sul fluminense. In: III Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica, 2014. Paulo de Frontin, RJ. **Anais Eletrônicos...** Paulo de Frontin: IZMA, 2014. Disponível em: http://simposio.izma.org.br/pdf_2014/23.pdf. Acesso em: 20 de outubro de 2014.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B. ;ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Árvore**, v.36, n.6, p.1079-1090, 2012.

SCHIMIDT, J.; EVANS, I.S.; BRINKMANN, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. **International Journal of Geographical Information Science**, v.17, n.8, p. 797-814, 2003.

SEOANE, C.E.S. et al. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**,v.30, n.63, p.207-216, 2010.

SHI, X. **ArcSIE user's guide**. Disponível em in: <<http://www.arcsie.com/index.htm>> Acesso em: 20 de setembro de 2014.

SILVA, P. G. **Capítulos da história de Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: Cia Brasileira de Artes Gráficas. 1991. 208p.

SILVA, V. V. **Médio Vale do Paraíba do Sul: Fragmentação e Vulnerabilidade dos Remanescentes de Mata Atlântica**. 2002. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SILVERIA, C. S.; SILVA, V. V. Dinâmica de regeneração, degeneração e desmatamento da vegetação provocada por parâmetros climáticos e geomorfológicos: uma análise geocológica através de SIG. **Árvore**, v.34, n.6, p.1025-1034, 2010.

SOUZA LIMA, R. G. O Ciclo do Café Vale-Paraibano. In: LERNER, D.; MISZPUTEN, F. (Orgs). **Inventário das Fazendas do Vale do Paraíba Fluminense - fase III. 1ed.**Rio de Janeiro: INEPAC/ Instituto Cidade Viva, 2011, v. 3, p. 13-39.

SOUZA, A. L. et al. Dinâmica da regeneração natural em uma floresta ombrófila densa secundária, após corte de cipós, Reserva Natural da Companhia Vale do Rio Doce S.A., estado do Espírito Santo, Brasil. **Árvore.**, v.26, n.4, p. 411-419, 2002.

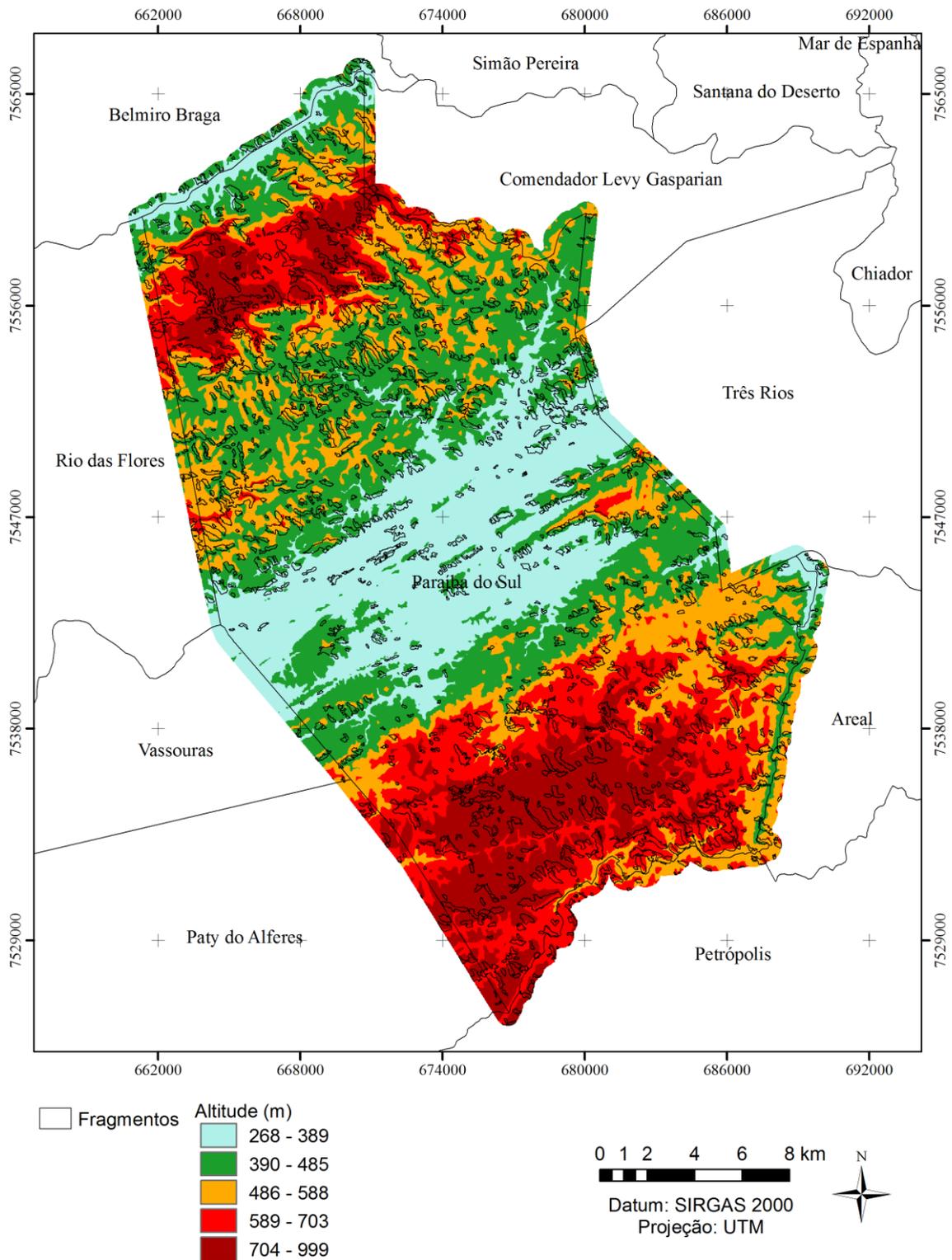
TROPPMAIR, H. Ecologia da paisagem: uma retrospectiva. In: I FÓRUM DE DEBATES ECOLOGIA DA PAISAGEM E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. 2000, Rio Claro, SP. **Anais eletrônicos...** Rio Claro, SP, UNUESP, 2000. Disponível em: <<http://www.sebecologia.org.br/forum/art24.htm>> Acesso em: 25 de agosto de 2014.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.. Quantitative methods in landscape ecology: an introduction. In TURNER, M. G.; GARDNER, R. H., eds. **Quantitative methods in landscape ecology**. New York: Springer-Verlag, 1991 pp. 3-14

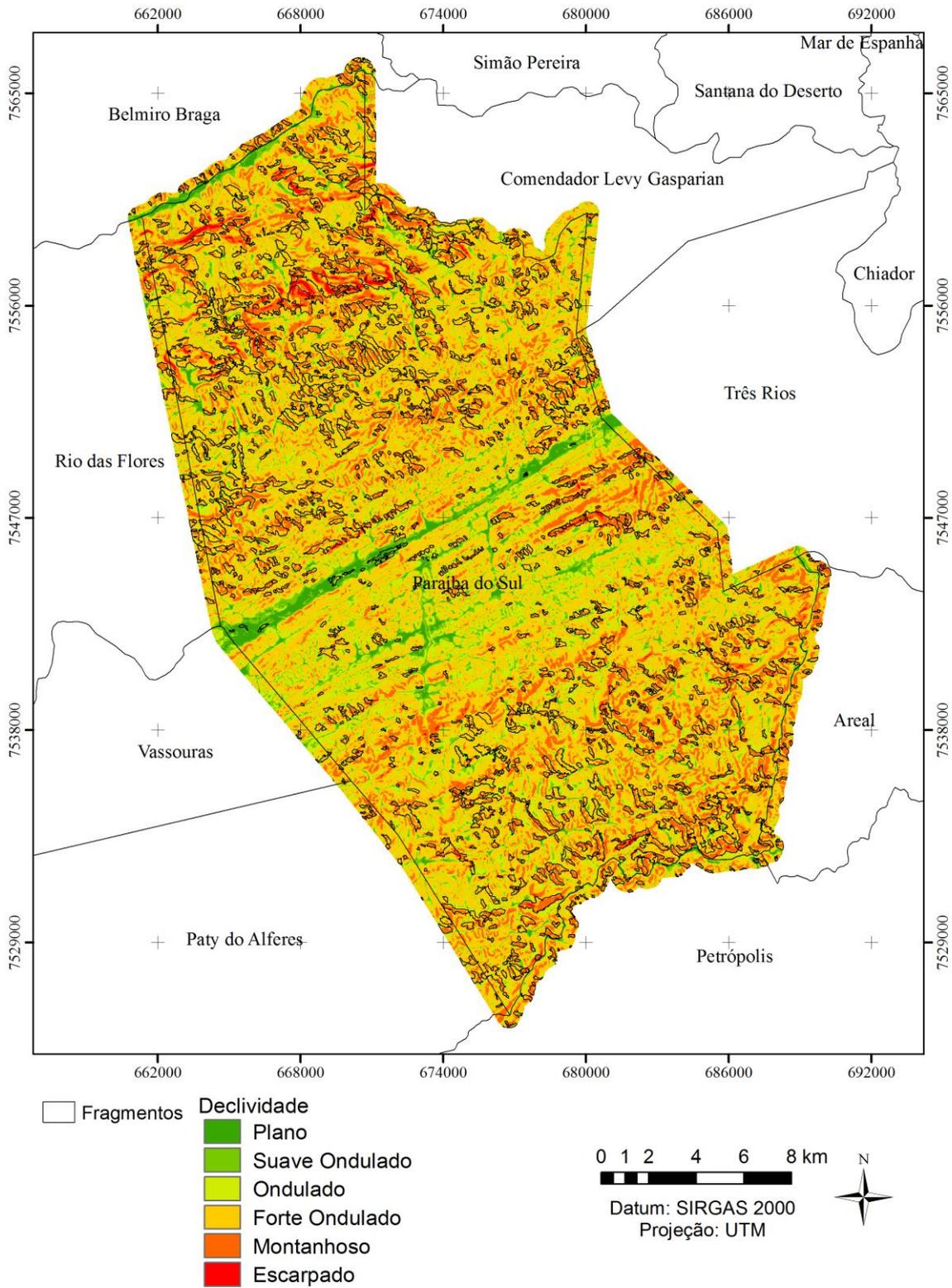
- VALERIANO, M. M.. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003
- VELOSO, A. J. G. Importância do Estudo das Vertentes. **Geographia**. v.8, n.8, p.107-115, 2002.
- VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **IPEF**. v. 12, n. 32, p. 25-42, dez. 1998. (Série Técnica)
- VIANA, V. M.; TABANEZ, A. J. A.; MARTINEZ, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. **Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v. 4, p. 86-94, 1992.
- VIDOLIN, G. P.; BIONDI, D.; WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. **Árvore**, v. 35, n. 3, p. 515-525, 2011.
- VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats**. São José dos Campos: INPE,. 1998. 45 p.
- WALKER, B., C. S. HOLLING, S. R. CARPENTER; A. KINZIG. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. **Ecology and Society**, v.9 n.2. 9p. 2004 [online] Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>. Acesso em: 23 de outubro de 2014.

9. ANEXOS

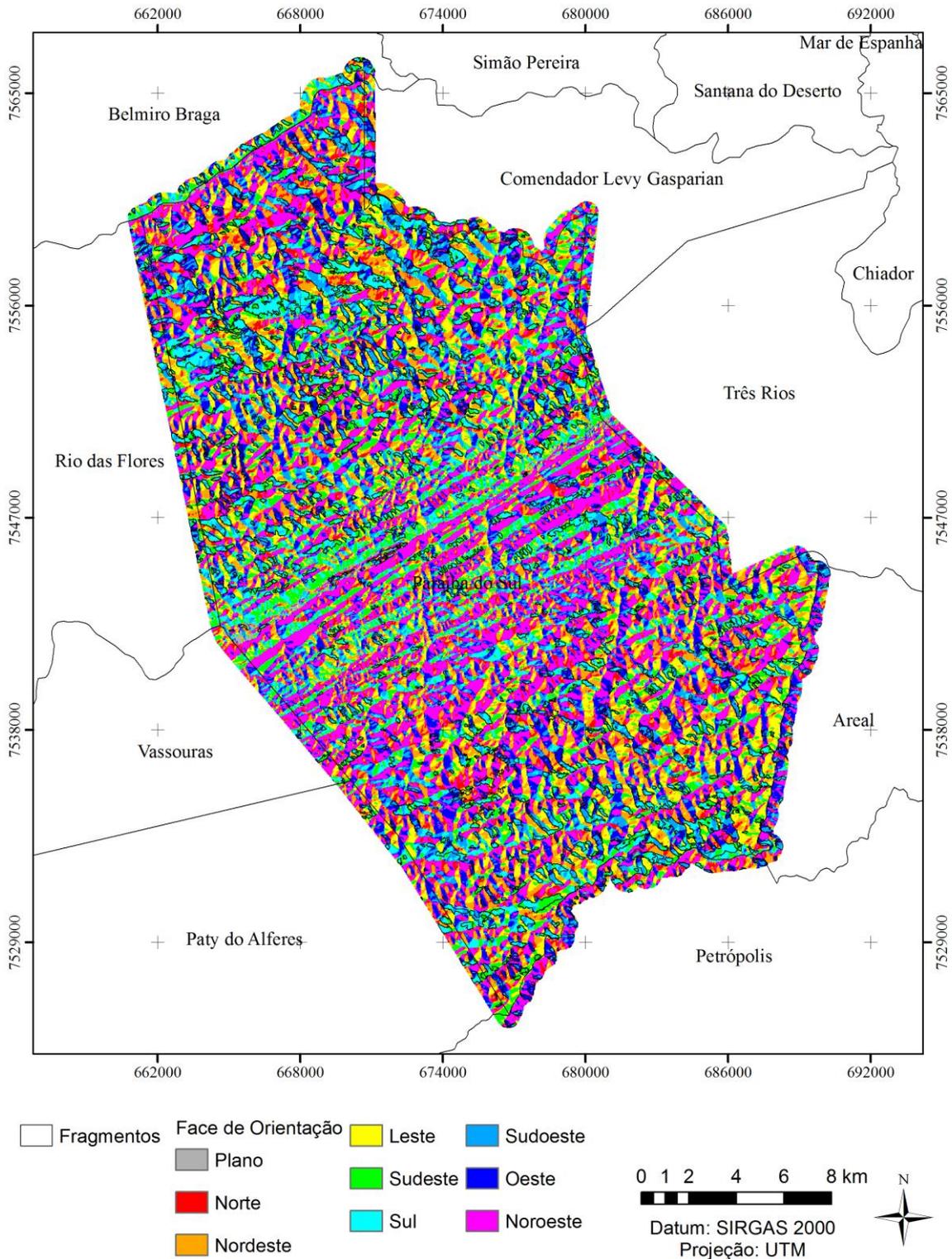
Anexo 1: Mapa de altitude e distribuição dos fragmentos florestais em estágio Médio-Avançado de regeneração em Paraíba do Sul, RJ. Base de dados: IBGE (2005).



Anexo 2: Mapa de declividade e distribuição dos fragmentos florestais em estágio Médio-Avançado de regeneração em Paraíba do Sul, RJ. Base de dados: IBGE (2005). A classificação do relevo seguiu os parâmetros de EMBRAPA (1979).



Anexo 3: Mapa de face de orientação e distribuição dos fragmentos florestais em estágio Médio-Avançado de regeneração em Paraíba do Sul, RJ. Base de dados: IBGE (2005).



Anexo 4: Mapa de radiação solar e distribuição dos fragmentos florestais em estágio Médio-Avançado de regeneração em Paraíba do Sul, RJ. Base de dados: IBGE (2005).

