



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

KMILA GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO, UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
MARÇO - 2012

KMILA GOMES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO, UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, na área de concentração Ciências Florestais e linha de pesquisa Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Coorientador: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

MARÇO - 2012

Dissertação 0049

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586a Silva, Kmila Gomes da, 1985-
Avaliação da cobertura florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Sul do estado do Espírito Santo, utilizando geotecnologias / Kmila Gomes da Silva. – 2012.
92 f. : il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.

Coorientador: Aderbal Gomes da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Mata Atlântica. 2. Paisagens fragmentadas. 3. Bacias hidrográficas – Alegre (ES). 4. Ecologia da paisagem. 5. Sensoriamento remoto. 6. Sistema de informação geográfica. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Silva, Aderbal Gomes da. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**AVALIAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO, UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

Kmila Gomes da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, na área de concentração Ciências Florestais e linha de pesquisa Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Aprovada em 12 de Março de 2012.

Prof. Dr. João Batista Esteves Peluzio
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Espírito Santo
(Membro Externo)

Prof. Dr. Nilton César Fiedler
Universidade Federal do Espírito
Santo
(Membro Interno)

Prof. Dr. Sidney Sára Zanetti
Universidade Federal do Espírito
Santo
(Membro Interno)

Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva
Universidade Federal do Espírito
Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

DEDICO

A Deus,

pela vida, benções e força concedida ao longo da caminhada.

Aos meus pais, Joana Darque Gomes da Silva e Dalton Benevides da Silva,

Ao meu irmão, Kleberlandes Gomes da Silva

Ao Prof. Alexandre, pela confiança,
paciência e amizade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por todas as oportunidades, pelas graças concedidas, pela força e saúde para superar todas as dificuldades.

Aos meus pais, Joana Darque Gomes da Silva e Dalton Benevides da Silva, por todo apoio, incentivo, dedicação, compreensão e esforços, que me possibilitaram essa importante conquista e muitas mais que estão por vir. Ao meu irmão, Kleberlandes e a todos os demais familiares pelo incentivo.

Ao meu namorado, Lêonidas, pelo apoio, companheirismo, ajuda e compreensão e por todos os momentos difíceis em que estive ao meu lado.

Ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de cursar a pós-graduação.

À CAPES, pela concessão de bolsa para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Alexandre, pela orientação, paciência, pelo estímulo, confiança, além de todas as oportunidades concedidas.

Ao meu coorientador, professor Dr. Aderbal, pelas contribuições para o enriquecimento deste trabalho.

Ao professor e amigo Jéferson, pelos ensinamentos, colaboração e auxílio na execução do projeto.

À colega Daiane, pela atenção, interesse e ajuda com o aplicativo computacional *Patch Analyst*.

Ao Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (IDAF) e ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) por disponibilizarem as fotografias aéreas e ao Departamento de Engenharia Florestal da UFES, pela concessão da imagem IKONOS II.

A todos aqueles que, mesmo que não tenham seus nomes aqui citados, mas que, direta ou indiretamente contribuíram para essa conquista em minha vida.

OBRIGADA!

BIOGRAFIA

Kmila Gomes da Silva, filha de Joana Darque Gomes da Silva e Dalton Benevides da Silva, nasceu em 10 de janeiro de 1985, na cidade de Alegre, Espírito Santo.

Passou toda sua vida estudantil na cidade de origem, onde cursou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual “Aristeu Aguiar”, concluindo em dezembro de 2003.

Em fevereiro de 2005, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Alegre (FAFIA), onde obteve o título de Licenciada em Biologia, em dezembro de 2007.

Em março de 2010 ingressou no curso de Mestrado em Ciências Florestais, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), na linha de pesquisa Meio Ambiente e Recursos Hídricos, e área de concentração Ciências Florestais, sob orientação do professor Dr. Alexandre Rosa dos Santos e coorientação do Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva. Foi bolsista do Programa de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES).

Submeteu-se à defesa de dissertação de mestrado em março de 2012.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização geográfica da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, em Alegre, ES.....	27
Figura 2 -	Fluxograma ilustrando a metodologia utilizada para o processamento das imagens Lantsat TM5, referente à área da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Alegre, ES, para os anos de 1987 e 2010	29
Figura 3 -	Fluxograma ilustrando a metodologia utilizada para aplicação dos índices de vegetação (NDVI, TVI, CTVI e RATIO), referentes às imagens da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, para os anos 1987 e 2010	32
Figura 4 -	Classes do vigor vegetativo dos índices de vegetação (NDVI e TVI) para a sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES.....	38
Figura 5 -	Classes do vigor vegetativo dos índices de vegetação (NDVI e TVI) para a sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando o período de 2010	39
Figura 1-	Fluxograma ilustrando a metodologia utilizada para geração dos mapas de fragmentação florestal na área da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Alegre, ES, para os anos de 1975, 2002 e 2007.....	54
Figura 2 -	Área total (ha), número e percentual (%) da área ocupada pelos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES entre os anos de 1975, 2002 e 2007.....	57
Figura 3 -	Espacialização dos fragmentos florestais presentes na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, referentes aos anos de 1975, 2002 e 2007.....	59
Figura 4 -	Índice de área (CA) e número (NUMP) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	60
Figura 5 -	Índice de tamanho médio (MPS) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	62
Figura 6 -	Índice total de bordas (TE) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	64

Figura 7-	Índice de densidade de bordas (DE) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	65
Figura 8 -	Índice de forma média (MSI) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	66
Figura 9 -	Índice de forma média ponderada (AWMSI) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	67
Figura 10 -	Índice de distância média do vizinho mais próximo (MNN) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	68
Figura 11 -	Índice total de áreas centrais (TCA); índice de área central (CAI); números de áreas centrais (NCA) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, sob efeito de borda de 20 m, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	71
Figura 12 -	Índice total de áreas centrais (TCA); índice de área central (CAI); números de áreas centrais (NCA) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, sob efeito de borda de 40 m, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	72
Figura 13 -	Índice total de áreas centrais (TCA); índice de área central (CAI); números de áreas centrais (NCA) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, sob efeito de borda de 60 m, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.....	73

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E SEUS EFEITOS	3
2.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	6
2.3. ECOLOGIA DA PAISAGEM	7
2.3.1. Estrutura espacial da paisagem	9
2.3.2. Abordagem sobre as métricas da paisagem	10
2.3.2.1. Métrica de Área	11
2.3.2.2. Métrica de densidade e tamanho	11
2.3.2.3. Métrica de forma	12
2.3.2.4. Métrica de borda	13
2.3.2.5. Métrica de proximidade	13
2.3.2.6. Métrica de área central ou nuclear	14
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPÍTULO I - Mudanças da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, por meio de índices de vegetação	22
RESUMO	23
ABSTRACT	24
1. INTRODUÇÃO	25
2. MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
2.2. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS	28
2.2. DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	29
2.2.2. Análise dos dados	32
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	34
4. CONCLUSÕES	44
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
CAPÍTULO II - Análise da dinâmica espaço-temporal dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES	47
RESUMO	49
ABSTRACT	50
1. INTRODUÇÃO	51
2. MATERIAIS E MÉTODOS	53
2.1. ESPACIALIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS	53
2.2. QUANTIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA PAISAGEM	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1. ESPACIALIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS	57
3.2. QUANTIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA PAISAGEM	60
4. CONCLUSÕES	76
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
ANEXO	81

RESUMO

SILVA, Kmila Gomes. **Avaliação da cobertura florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Sul do estado do Espírito Santo, utilizando geotecnologias.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-orientador: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

A análise do comportamento da cobertura vegetal numa escala temporal direciona práticas que viabilizam a sustentabilidade dos remanescentes florestais. O presente estudo visa analisar a dinâmica dos fragmentos florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre-ES, com base nas alterações da cobertura vegetal e na estrutura da paisagem florestal em uma escala espaço – temporal, por meio de dois capítulos. O primeiro deles com base na hipótese de que índices de vegetação podem expressar vigores vegetativos semelhantes ou diferenciados, de dosséis de uma determinada região. Para testar a hipótese, objetivou-se comparar três índices de vegetação: TVI (*Transformed Vegetation Index*), CTVI (*Corrected Transformed Vegetation Index*) e RATIO (*Ratio Vegetation Index*), em relação ao comportamento do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), quanto à discriminação do vigor vegetativo, bem como as alterações na cobertura florestal entre 1987 e 2010. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que os índices de vegetação permitiram estimar o vigor vegetativo da cobertura vegetal. Evidenciou-se o aumento da cobertura florestal de 4,90% (NDVI) e 7,78% (TVI), redução de pastagens de 3,34% (NDVI) e 5,53% (TVI), e redução de áreas não vegetadas de 5,93% (NDVI) e 3,35% (TVI), entre o período de 1987 e 2010. O processo de regeneração natural pode ter sido o fator determinante para o incremento de área e as mudanças na vegetação florestal da região. Já o segundo capítulo, baseou-se nas hipóteses de que: 1) Na paisagem florestal ocorre a predominância de fragmentos de pequena área durante os anos estudados (1975, 2002 e 2007); 2) Há predominância de fragmentos florestais com formas complexas e com menor área central; 3) Os remanescentes florestais estão isolados e com maior área de borda. Diante disso, objetivou-se caracterizar a evolução espacial e temporal das estruturas dos fragmentos florestais, utilizando as métricas da ecologia da paisagem aplicadas nos anos de 1975, 2002 e 2007; a análise estrutural dos fragmentos florestais foi realizada contemplando parâmetros de área, forma, núcleo, borda e proximidade em classes de tamanho. Com base nos resultados obtidos, verificou-se um aumento de 7% na área total da cobertura florestal com o surgimento de 645 novos fragmentos. O número de fragmentos foi elevado e a área de contribuição pequena, o que implicou na alta relação de borda/área. Os menores fragmentos (< 1 ha) apresentaram forma geométrica simples, em relação aos demais. Os maiores fragmentos florestais (> 20 ha) mostraram-se próximos, apresentando uma tendência de redução nos valores da métrica de proximidade.

Palavras chave: índices de vegetação, métricas da paisagem, fragmentação florestal, análise espaço-temporal.

ABSTRACT

SILVA, Kmila Gomes. **Assessment of forest cover in the hydrographic sub-basin of the Alegre river, southern Espírito Santo state, using geotechnology**. 2012. Dissertation (Master's in Forestry Science) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-advisor: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

The analysis of the plant covering behavior on a temporal scale addresses practices that make forest remnant sustainability possible. The present study seeks to analyze the dynamics of the forest fragments in the hydrographic sub-basin of the Alegre river, Espírito Santo state, based on the alterations of the plant covering and the structure of the forest landscape on a space-time scale, through two chapters. The first is based on the hypothesis that vegetation indexes can express similar vegetative or differentiated vigor of canopies of a specific area. To test the hypothesis, the objective was to compare three vegetation indexes: TVI (*Transformed Vegetation Index*), CTVI (*Corrected Transformed Vegetation Index*) and RATIO (*Ratio Vegetation Index*), in relation to the behavior of NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), regarding the discrimination of the vegetative vigor, as well as the alterations in the forest cover between 1987 and 2010. Through the obtained results, it was verified that the vegetation indexes allowed to estimate the vegetative vigor of the plant covering. A 4.90% (NDVI) increase and one of 7.78% (TVI) of forest covering, a pasture reduction of 3.34% (NDVI) and 5.53% (TVI) and a reduction of non-vegetated areas of 5.93% (NDVI) and 3.35% (TVI), in the period between 1987 and 2010 were evidenced. The natural regeneration process might have been the decisive factor for the area increase and the changes in the forest vegetation of the area. The second chapter was based on the hypotheses that: 1) In the forest landscape the predominance of fragments of small area occurred during the years studied (1975, 2002 and 2007); 2) there is a predominance of forest fragments with complex forms and with smaller central area; 3) The forest remnants are isolated and with a larger border area. Based on the above, the aim was to characterize the space and temporal evolution of the forest fragment structures using landscape ecology metrics applied in the years of 1975, 2002 and 2007; the structural analysis of the forest fragments was conducted contemplating area parameters, form, nucleus, border and proximity by size classes. Based on the obtained results, a 7% increase was verified in the total area of the forest covering with the appearance of 645 new fragments. The number of fragments increased and the area of contribution small, which implied in the high border/area ratio. The smallest fragments (< 1 ha.) presented simple geometric form in relation to the others. The largest forest fragments (> 20 ha.) were shown proximate, presenting a tendency towards reduction of the proximity measure values.

Key words: Vegetation indices, landscape metrics, forest fragmentation, spatial-temporal analysis.

1. INTRODUÇÃO

A devastação da Mata Atlântica é consequência da atividade desordenada de uso e ocupação do solo, acompanhada pelo crescimento populacional, o qual refletiu na degradação desse patrimônio natural. O resultado desse processo de degradação foi a formação de paisagens fragmentadas, com remanescentes florestais isolados, de pequena área e baixa biodiversidade.

A exploração racional da floresta nativa, desde que bem orientada e planejada por profissionais responsáveis, possibilita que os efeitos danosos sobre o ambiente sejam mínimos. Para reverter esse quadro, e/ou corrigir falhas do processo, é importante priorizar a manutenção das funções ecológicas básicas de um ecossistema. Atividades como proteção do solo e preservação de remanescentes florestais auxiliam na redução da perda da biodiversidade (CEMIN; PÉRICO; REMPEL, 2009). Os esforços precisam voltar-se para o manejo de remanescentes de mata nativa, que têm um papel significativo na restauração florestal, contribuindo para a reposição de plantas e animais.

Para analisar a paisagem fragmentada, alguns indicadores são primordiais na avaliação da dinâmica das estruturas dos fragmentos ao longo do tempo. Métricas da paisagem ou índices da paisagem são alguns desses indicadores utilizados para descrever os padrões espaciais e direcionar ações futuras que promovam a conectividade dos remanescentes florestais relevantes para a sustentabilidade do ambiente.

Para estudos de processos envolvendo grandes áreas territoriais, como a fragmentação florestal, ferramentas, como sensoriamento remoto e geotecnologia, auxiliam pesquisadores na identificação, por exemplo, das causas das alterações na paisagem. De acordo com Volotão (1998), esses instrumentos, aliados aos *softwares* de distribuição gratuita que disponibilizam inúmeras métricas, facilitam o diagnóstico da evolução da fragmentação florestal. Do mesmo modo, imagens dos índices de vegetação, obtidas por meio dessas ferramentas, auxiliam no monitoramento da cobertura vegetal em

biomas ameaçados, baseando-se no comportamento espectral do alvo “vegetação” (FREITAS, MELLO; CRUZ, 2005).

A avaliação da degradação de ecossistemas florestais em escala espacial e temporal é essencial para detectar se o processo é proveniente de fatores naturais e/ou alterações antrópicas (HÜTTL; SCHNEIDER, 1998), além de auxiliar na construção do diagnóstico base para o manejo de áreas florestais comprometidas.

Na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, a fragmentação da vegetação nativa teve início com a implantação da pecuária extensiva e de culturas agrícolas, em especial a cafeicultura. A retirada excessiva da cobertura florestal resultou em um dos principais problemas da área, que é o comprometimento da integridade florística e estrutural dos remanescentes florestais.

Neste contexto, analisar a dinâmica dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, com base nas alterações da cobertura vegetal e na estrutura da paisagem florestal em uma escala espaço-temporal, pode auxiliar e direcionar melhores práticas de manejo, proporcionando a qualidade ambiental na região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL E SEUS EFEITOS

A intervenção humana nos ecossistemas naturais para a implantação de atividades agropecuárias e/ou extrativista tem devastado os biomas brasileiros (DUARTE, 2004; MARTINELLI et al., 2010).

A fragmentação florestal no Brasil teve início com a ocupação territorial européia, durante a colonização. Na época, o bioma Mata Atlântica possuía 82,5% de cobertura florestal (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 1998).

O início dos ciclos econômicos no Brasil (cana-de-açúcar, ouro, café e pecuária) marca o processo de supressão das florestas nativas, o qual se intensificou, resultando em grandes extensões agrícolas e urbanas (SANTOS; PEREIRA; ANDRADE, 2008). Atualmente, dados da Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011) revelam que no, estado do Espírito Santo, resta ainda 11,91% de área originalmente coberta pela Mata Atlântica.

Ainda de acordo com esses autores, a região sul do Espírito Santo, mais precisamente o município de Alegre, não ultrapassa os 2% (no âmbito do estado) de área coberta por mata nativa. De acordo com Nascimento et.al (2006), com o início do povoamento, as atividades de cafeicultura e bovinocultura deram início à extração de madeira, a fim de atender à demanda energética e de construção das casas de colonos.

Nesse contexto, o histórico de perturbação dos fragmentos florestais foi se agravando, resultando em reduzidos remanescentes florestais nativos, localizados principalmente em topos de morros, circundados por áreas de culturas de subsistência, com grande predomínio de pastagens (NASCIMENTO et al., 2005) e em diferentes estágios de sucessão ecológica.

A forte pressão sobre a cobertura florestal, consequência do processo contínuo de desmatamento descontrolado e a fragmentação florestal foram os principais responsáveis pela redução no processo de regeneração natural dos

remanescentes florestais (PINTO; BRITO, 2005). Assim, o que restou de cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica foram remanescentes florestais isolados e perturbados (VIANA; PINHEIRO, 1998; METZGER, 2000).

Fragmentação florestal representa uma área de vegetação natural descontínua, circundada por barreiras antrópicas (estradas, cidades, culturas agrícolas e pastagens) ou naturais (montanhas, lagos e outras formações vegetacionais) capazes de reduzir significativamente o fluxo de sementes, pólen e animais (VIANA, 1990). Dos efeitos mais preocupantes, oriundos do processo de fragmentação, encontra-se o efeito de borda, representado pelas diferenças nos fatores bióticos e abióticos que existem ao longo da borda de um fragmento em relação ao seu interior (FARINA, 1998).

Na maioria dos casos, o processo de transição entre o fragmento florestal e o ecossistema adjacente é abrupto, estabelecendo uma borda que expõe a floresta às condições encontradas na matriz adjacente (PORTELA, 2002). A borda, geralmente, possui configuração, composição da vegetação, microclima e fauna diferenciadas do interior da floresta. Ela se torna a principal zona que sofre mudanças microclimáticas, como aumento da temperatura e ressecamento da vegetação próximo à borda, ação do fogo e invasão por espécies daninhas (PORTELA, 2002; FLEURY, 2003).

O comportamento das comunidades vegetais e animais varia diante da fragmentação florestal conforme os seguintes fatores: histórico do fragmento em relação ao tamanho e forma; impactos das ações atuais e isolamento e limitação das espécies em relação a este processo (SCARIOT et al., 2003).

A fragmentação florestal promove, ainda, consequências danosas de caráter abiótico. Borges et al. (2004) citam algumas delas: aumento dos riscos de erosão, assoreamento dos cursos d'água e redução gradativa da disponibilidade hídrica, pela menor capacidade de retenção de água das chuvas, maior volume e velocidade de escoamento.

Neste contexto, para compreender as condições ambientais de uma região, a vegetação é tomada como indicador de desequilíbrios ambientais sobre o meio físico e biótico (CEMIN; PÉRICO; REMPEL, 2005).

Para o planejamento do uso sustentável do solo, a fragmentação florestal representa um grande desafio. Nesse caso, o objetivo é estabelecer estratégias de regeneração e conservação para os remanescentes florestais, e manutenção do equilíbrio dinâmico da paisagem (TABARELLI; GASCON, 2005).

O desafio em manter a diversidade dos remanescentes florestais da Mata Atlântica é maior, se comparado a outros biomas. Além de possuir alto grau de endemismo e diversidade de espécies (FONSECA, 1985), esse bioma abrange uma região onde vive 70% da população brasileira, que está localizada em grandes áreas de atividade industrial do país (SHIMIZU, 2007).

O uso de Unidades de Conservação (UCs) como alternativa para preservação da biodiversidade em tempos de ameaça foi uma proposta aplicada pelos órgãos ambientais. Porém, ao desconsiderar as características e o potencial de conservação dos fragmentos vizinhos, esta estratégia foi redirecionada para a conectividade de UCs com a utilização de corredores ecológicos (VIANA; PINHEIRO, 1998). Estes corredores possibilitam a sustentabilidade de determinadas populações de animais e vegetais existentes no local, pois proporcionaram o fluxo gênico entre fragmentos (PEREIRA; NEVES; FIGUEIREDO, 2007).

Segundo Muchailh et al. (2010), os esforços voltados para a sustentabilidade dos fragmentos florestais devem priorizar a adoção de técnicas de manejo que assegurem a conservação das áreas de maior fragilidade, aumento da conectividade, estabilidade e manutenção das funcionalidades de cada ambiente. Além disso, Vieira et al. (2003) sugerem que essas técnicas atenuam o efeito de borda sobre a estrutura da vegetação e que o aumento da conectividade seja feito por meio da criação de habitats mais semelhantes ao original na área circundante, ou reduza a distância entre os fragmentos.

2.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Com a facilidade de acesso às informações provenientes de imagens orbitais, o monitoramento da cobertura vegetal terrestre pode ser realizado por meio de ferramentas do sensoriamento remoto de forma eficiente e a baixos custos.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), em estudos relacionados com o monitoramento da vegetação é muito comum a utilização de sensores, como os da série Landsat, que fornecem imagens multiespectrais e multitemporais a partir da detecção da energia refletida pelos alvos localizados na superfície terrestre. Neste contexto, os índices de vegetação são alternativas viáveis para indicar o vigor vegetativo, além de auxiliar em pesquisas relacionadas com as alterações da cobertura vegetal.

São encontradas, na literatura, aproximadamente quarenta metodologias de cálculo de índices de vegetação. Esses índices são obtidos por dados de satélites, sendo quase todos gerados por meio de medidas de reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (LIU, 2007).

Considerado o primeiro grupo de índices de vegetação criado em 1974, o *RATIO* (razão) e o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foram elaborados com a proposta de reduzir os efeitos multiplicativos da assinatura espectral nas duas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo (THIAM; EASTMAN, 1997).

Ainda de acordo com esses autores, no ano de 1975 foi apresentado o *Transformed Vegetation Index* (TVI), resultado da primeira variação do NDVI, que tinha como objetivo eliminar os valores negativos. Em 1984, foi apresentada à comunidade científica uma nova alteração no TVI, denominado de *Corrected Transformed Vegetation Index* (CTVI), que acaba por superestimar a vegetação verde, sendo seu uso aconselhável para regiões com baixa cobertura vegetal.

O índice mais utilizado entre os pesquisadores é o NDVI, proposto por Rouse et al. em 1974, citados por Jensen (2009). Esse índice possibilita comparações temporais e espaciais da atividade fotossintética terrestre, promovendo o monitoramento sazonal e modificações de longo prazo dos parâmetros estruturais, biofísicos e fenológicos da vegetação (WANG et al., 2003).

A distribuição do NDVI varia entre 0 e 256 (8 bits), relacionados a valores variáveis entre -1 e +1 (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), sendo os tons mais claros relacionados aos maiores valores e os tons mais escuros, aos valores mais baixos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Muitos pesquisadores têm alcançado resultados positivos quanto à aplicabilidade do NDVI na obtenção da classificação da distribuição global de vegetação em conexão com o clima (GURGEL et al., 2003), na inferência de variabilidades de parâmetros biofísicos da vegetação, como na produção de fitomassa (COSTA et al., 2002), na estimação do índice de área foliar (XAVIER e VETTORAZZI, 2004) e na produtividade de culturas (WANG et al., 2004; SIMÕES; ROCHA; LAMPARELLI, 2009; JUNGES; FONTANA, 2009).

2.3. ECOLOGIA DA PAISAGEM

Cada paisagem é a representação das mudanças ocorridas ao longo do tempo, sendo estas condicionadas por diversos fatores intrínsecos aos processos geológicos, fisiográficos e climáticos (PÉRICO; CEMIN, 2006). Assim, em termos de paisagem, o que se tem atualmente por “natural” pode tratar-se, na verdade, de um sistema manejado durante séculos e que vem sofrendo influências naturais e antrópicas.

Compreender as relações espaciais entre fragmentos, as interações e as mudanças estruturais de uma paisagem é o objeto de estudo da Ecologia da Paisagem (VALENTE; VETTORAZZI, 2002). Considerada uma nova área de conhecimento dentro da ecologia, a Ecologia da Paisagem é marcada pela existência de duas principais abordagens: uma geográfica, que privilegia o

estudo do homem sobre a paisagem e a gestão do território e a outra, ecológica, que destaca a relevância do contexto espacial sobre os processos ecológicos e as suas relações com a conservação biológica (METZGER, 2001). Sua contribuição para o planejamento, o desenvolvimento, o manejo e a conservação da paisagem é de grande importância para a integridade dos ecossistemas (PÉRICO; CEMIN, 2006).

O termo Ecologia da Paisagem surgiu no final da década de 1930, período em que Carl Troll, biogeógrafo alemão, observou que todos os métodos de ciência natural estavam atrelados à área da ciência da paisagem, a qual se difundiu na Europa Central em meados da década de 1960 (ODUM; BARRETT, 2008).

A abordagem da Ecologia da Paisagem no Brasil teve início com pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na década de 1980, e até hoje tem sido realizados estudos sobre essa disciplina, com relevantes contribuições para a região (MARTINS et al., 2004).

Adotando os princípios baseados na teoria do Equilíbrio da Biogeografia de Ilhas Oceânicas, concebida por MacArthur e Wilson (1967), planejadores e gestores de paisagem consideraram que fragmentos florestais localizados em regiões altamente antropizadas se assemelhavam às ilhas oceânicas (KURASZ et al., 2008). A aparência das manchas de paisagem no continente, provavelmente, funcionava como ilhas no interior do mosaico da paisagem terrestre (ODUM; BARRETT, 2008).

Para estudar a fragmentação florestal, o conhecimento da paisagem deve ser analisado sob duas variáveis: tempo (refere-se à comparação da situação de uma paisagem ao longo do tempo) e espaço (diz respeito à análise da disposição dos elementos), utilizando por base a cartografia de uso e ocupação do solo. Isto resulta em um diagnóstico que auxilia na aplicação de uma gestão ambiental correta quanto ao manejo florestal e uma estimativa de influências futuras (CALEGARI, et al., 2010).

A análise feita no nível de escala espacial e temporal considera que cada fragmento exibe uma composição própria de espécies, as quais são

resultantes de uma série de fatores que variaram diferentemente ao longo do espaço e do tempo (FERREIRA et al., 2008).

De acordo com Colli et al. (2003), as análises de fragmentos florestais recém-isolados não são recomendadas, pois possuem baixo poder preditivo e indicam pouca ou nenhuma alteração na biota.

Dos diversos estudos desenvolvidos no Brasil, entre 2000 a 2005, sobre Ecologia da Paisagem, a maioria deles destacou a descrição de padrões espaciais, a relação entre padrões e os processos de planejamento ambiental (PIVELLO; METZGER, 2007).

2.3.1. Estrutura espacial da paisagem

O conhecimento sobre a composição e a configuração da paisagem reflete no direcionamento de decisões de planejamentos, na indicação da qualidade do hábitat em manter diversas espécies, bem como no entendimento das causas e efeitos da heterogeneidade espacial sobre os diferentes processos ecológicos (LANG; BLASCHKE, 2009). Nesse sentido, MacGarigal e Marks (1995) afirmam que a composição da paisagem denota as feições associadas à presença ou não de elementos no terreno, enquanto a configuração destaca a relação da distribuição física desses elementos na paisagem.

A análise em Ecologia da Paisagem reconhece que as relações entre os padrões espaciais e os processos ecológicos são dependentes. De fato, existe um vínculo espacial entre as unidades da paisagem, em que o funcionamento de uma unidade está nas interações que ela mantém com as outras unidades ao seu entorno (METZGER, 2001).

O mosaico da paisagem é considerado uma área heterogênea, formada por uma variedade de comunidades ou agrupamento de ecossistemas variados. Comporta elementos estruturais e essenciais no nível de paisagem, dos quais são descritos, pelo conceito de matriz, mancha e corredores:

a) matriz: pode ser entendida como um elemento estendido da paisagem relativamente homogêneo, que compõe manchas e corredores de diferentes tipos, cujo papel é importante para o fluxo de energia e o regime das espécies na paisagem (FORMAN; GODRON, 1986);

b) mancha: compreende uma área relativamente homogênea, que distingue da matriz circundante (como uma mancha de floresta ou uma parcela de silvicultura embutida em uma matriz agrícola). Pode ser entendida como de baixa ou alta qualidade, dependendo da cobertura vegetal, da qualidade da planta e da composição específica (ODUM; BARRETT, 2008);

c) corredores: são áreas relativamente homogêneas, que se diferenciam das unidades vizinhas pela sua disposição espacial linear. Nos estudos referentes à fragmentação, este elemento da paisagem é considerado uma unidade linear que serve de ligação entre dois fragmentos antes conectados (METZGER, 2001).

2.3.2. Abordagem sobre as métricas da paisagem

Com base na premissa de que as informações sobre os padrões espaciais da paisagem refletem significativamente nos processos ecológicos, na literatura são apresentadas diversas métricas para quantificar a estrutura da paisagem para estudos da função e mudança da mesma (COUTO, 2004).

A análise da estrutura da paisagem segue três níveis, dos quais a mancha se refere às características geométricas de manchas individuais; a classe resume todas as manchas com características semelhantes e a paisagem é a junção de todas as classes. Portanto, é necessário que exista mais de uma classe ou, então, as métricas geradas em nível de paisagem apresentarão valores iguais às calculadas em nível de classe e as outras, valores nulos (LANG; BLASCHKE, 2009).

Segundo Volotão (1998), as métricas se enquadram em oito grupos de categorias, que são: métricas de área, fragmentos, de borda, de área central, de contágio e mistura, de vizinho mais próximo e diversidade.

2.3.2.1. Métrica de área

Esta métrica é a base do conhecimento da paisagem. Permite quantificar a composição da paisagem e apresentar informações importantes sobre a dinâmica de populações vegetais e animais (VOLATÃO, 1998). Além de ser utilizada por outras métricas, seu resultado é utilizado por alguns índices para indicar informações sobre os processos ecológicos (ALMEIDA, 2008).

Conforme Harris (1984), a redução de qualquer área de um fragmento florestal interfere significativo na quantidade de espécies vegetais e animais, podendo comprometer a regeneração natural e a consequente sustentabilidade do ecossistema. O estabelecimento de uma área mínima para sobrevivência de uma determinada população varia de acordo com a espécie vegetal e é determinada pelo território e a associação entre as espécies (ROSTALTD, 1991).

As métricas de área são calculadas nos seguintes aspectos: área de cada fragmento, área total da classe na paisagem, porcentagem total da classe na paisagem e tamanho do maior fragmento da classe (MCGARIGAL; MARKS, 1994).

2.3.2.2. Métrica de densidade e tamanho

Este índice não é considerado uma medida espacial, porém, permite representar a configuração da paisagem, contribuindo para o entendimento do processo de fragmentação (VALENTE; VETTORAZZI, 2002). Como exemplos, têm-se: número dos fragmentos, tamanho médio nas respectivas classes, desvio padrão e coeficiente de variação do tamanho (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

O tamanho dos fragmentos florestais é uma variável importante, pois implica na conservação ou não das amostras de comunidades arbóreas. Os maiores fragmentos são suficientes o bastante para acomodar os processos diferenciados das bordas e preservar os processos primitivos no seu interior

(OLIVEIRA FILHO et al.,2007). Em relação aos menores fragmentos, a exposição aos fatores externos é maior que nos maiores e influencia diretamente a dinâmica interna do ecossistema (ALMEIDA, 2008). No entanto, a perspectiva do aumento desses fragmentos ao longo dos anos faz com que os pequenos remanescentes tornem-se relevantes para a paisagem. Eles funcionam como elementos de ligação, trampolins ecológicos (*stepping stones*) entre grandes áreas, além de atuarem como refúgio para espécies que requerem ambientes particulares (FORMAM;GODRON, 1986).

2.3.2.3. Métrica de forma

Segundo Mcgarigal e Marks (1995), a quantificação dessa métrica é complexa e complicada, sendo necessário adotar uma paisagem padrão quando se deseja realizar comparações. Os autores explicam que, quando se utilizam mapas de formato vetorial ou poligonal, a forma padrão é um círculo e, para *raster*, a forma é um quadrado.

Quanto mais distante o fragmento estiver do valor 1 (forma padrão), mais irregular será e, portanto, mais suscetível ao efeito de borda, principalmente os que apresentam áreas pequenas (CEMIM; PÉRICO; REMPEL, 2009). A interpretação muda de acordo com as várias métricas de forma, mas, no geral, o valor alto significa maior complexidade da forma (COUTO, 2004).

O formato de um fragmento está intrinsecamente relacionado ao perímetro e à área. Nesse sentido, quanto menor for esta relação, menor será a borda e vice-versa. A proximidade do formato circular reduz a razão borda-área, o centro da área fica equidistante das bordas e a área central fica “protegida” dos fatores externos (SCARIOT et al., 2003).

O tamanho e a forma dos fragmentos de paisagem indicam inúmeros processos ecológicos importantes. Conforme a disposição na matriz e a espécie analisada, a forma do fragmento pode influenciar os processos ecológicos entre fragmentos, como a migração de pequenos mamíferos e a

colonização de plantas de médio e grande porte, e pode influenciar, ainda, as estratégias de fuga de certos animais (VOLOTÃO, 1998).

2.3.2.4. Métrica de borda

As bordas são limites que margeiam as manchas ou fragmentos, corredores e as matrizes. Com o processo de fragmentação florestal aumentam as inúmeras mudanças, iniciando-se por maior luminosidade, temperatura e velocidade do vento. Tais mudanças são mais pronunciadas na borda e diminuem na direção do interior da floresta (GREGGIO; PISSARA; RODRIGUES, 2009).

Considerando essas agressões externas nas bordas dos fragmentos, a implantação de reflorestamento, formando faixa protetora no entorno dos fragmentos mais importantes, promove o aumento da proteção dos efeitos da matriz sob os fragmentos e as áreas-núcleo (MUCHAILH et al., 2010).

Como índices de borda têm-se o perímetro, o índice de contraste de borda, o total de borda e a densidade de borda de uma classe. Esses índices se limitam quando não consideram o contraste entre o fragmento e a paisagem ao redor, podendo interferir nos processos ecológicos (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

2.3.2.5. Métrica de proximidade

O grau de isolamento entre os fragmentos florestais é um fator implícito nos resultados da métrica de proximidade, a qual é relevante para os processos ecológicos (VOLOTÃO, 1998). Essas métricas, conseqüentemente, indicam a existência ou a necessidade de implantação de elementos de conexão, como os corredores ecológicos e *stepping stones* (pontos de ligação) (VIDOLIN; BIONDI; WANDEMBRUCK, 2011).

O isolamento entre os remanescentes florestais interfere negativamente na riqueza da flora e da fauna, quando reduz a taxa e/ou potencial de imigração ou recolonização (METZGER, 1999).

A dificuldade na locomoção dos organismos entre os fragmentos é proporcional ao nível de isolamento e à resistência da matriz adjacente e do organismo em questão (SCARIOT et al., 2003).

As métricas de proximidade baseiam-se na distância do vizinho mais próximo. A distância é definida de um fragmento para o fragmento que se encontra nas proximidades. Essa métrica pode ser calculada em três níveis: fragmento, classe e paisagem (VOLOTÃO, 1998).

2.3.2.6. Métrica de área central ou nuclear

O melhor indicativo da qualidade de um fragmento se refere à integridade da área nuclear, que é afetada diretamente pela forma e borda dos fragmentos (CEMIN; PERICO; REMPEL, 2009).

Para identificar a área central é necessário separar a borda por uma distância pré-estabelecida (*buffer*). São exemplos dessas métricas o tamanho total de área central, o percentual de área central na paisagem e o número de áreas centrais, entre outras (MCGARIGAL; MARKS, 1995). Existem muitos casos em que fragmentos que possuem área suficiente para manter dada espécie e que, na verdade, não possuem área central para sustentá-la (VOLOTÃO, 1998).

A métrica de área central, associada à métrica de proximidade, auxilia os pesquisadores na indicação de fragmentos com potencialidade de conservação florestal (VALENTE; VETTORAZZI, 2005).

É possível que uma única mancha tenha diversas manchas disjuntas com hábitat de interior. Nesse sentido, é relevante considerar o número de áreas de interiores disjuntas como diferentes manchas (CALEGARI et al., 2010).

São encontrados, na literatura, trabalhos nos quais utilizam-se as métricas da paisagem para analisar o estado dos ecossistemas naturais, tanto no âmbito de bacias hidrográficas quanto em propriedades rurais. Para detectar as mudanças ocorridas na paisagem, pesquisadores analisam as estruturas em escala espacial e/ou temporal. No estudo de Cabacinha et al. (2010), a análise da estrutura da paisagem da alta bacia hidrográfica do rio Araguaia identificou o padrão de fragmentação em cinco épocas (1977, 1989, 1997, 2002 e 2006), apontando para notável conversão de fitofisionomias originais em favor da pastagem e agricultura.

Com a proposta de analisar variáveis físicas (relevo, áreas urbanas entre outras) e estruturais dos fragmentos florestais (forma, área nuclear, distância do vizinho mais próximo entre outras) com o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), em dois anos (1999 e 2002), Basile (2006) comprovou que as características físicas e estruturais influenciaram diretamente o vigor da vegetação da bacia hidrográfica do rio Corumbataí, SP.

Gomide e Lingnau (2009) observaram a situação dos fragmentos florestais na Fazenda Experimental do Canguiri, frente à simulação de diferentes intensidades de efeito borda. Já Vidal et al. (2007) analisaram efeitos de borda e de tamanho de fragmentos florestais na produção de serapilheira em três fragmentos de Floresta Atlântica de Planalto, sendo um grande (aproximadamente 175 ha) e dois pequenos (aproximadamente 5 ha), com diferentes graus de isolamento. Borges et al. (2004), a partir do levantamento, em uma propriedade rural, de fragmentos em florestas de eucalipto, caracterizaram e propuseram ações de manejo para a recuperação e a conservação da paisagem florestal.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 2008.

BASILE, A. **Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da Bacia do Rio Corumbataí, SP.** 2006.83f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2006.

BORGES, L. F. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M. ; A. J. F. W.; FREITAS, G. D. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.

CABACINHA, C. D; CASTRO, S. S; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. **Floresta**, Curitiba, v.40, n. 4, p. 675-690, 2010.

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

CEMIN, G.; PÉRICO, E.; REMPEL, C. Uso de sistemas de informações geográficas para análise de estrutura da paisagem no município de Arvorezinha, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2113-2120.

CEMIN, G; PERICO, E; REMPEL, C. Composição e configuração da paisagem da sub-bacia do Arroio Jacaré, Vale do Taquari, RS, com ênfase nas áreas de florestas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.4, p.705-711, 2009.

COLLI, G. R.; ACCACIO, G. M.; ANTONINI, Y.; CONSTANTINO, R. ; FRANCESCHINELLI, E. V. ; LAPS, R. R. ; SCARIOT, A. O. ; VIEIRA, M. V. ; WIEDERHECKER, H. C. . A fragmentação dos ecossistemas e a biodiversidade brasileira: uma síntese. In: RAMBALDI, D.; OLIVEIRA, D. A. S. (Org.). **Fragmentação de Ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2003, p. 317-324.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the “Seridó Caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.707-715, 2002.

COUTO, P. Análise factorial aplicada a métrica da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Investigação Operacional**, Lisboa, v.24, p. 109-137, 2004.

DUARTE, R. H. Por um pensamento ambiental histórico: o caso do Brasil. **Luso Brazilian Review**, Estados Unidos, v. 41, n. 2, p. 144-161, 2004.

- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. London: Chapman & Hall Ltd, 1998. 235 p.
- FERREIRA, R. L. C.; MOTA, A. C. ; SILVA, J. A. A. ; MARANGON, L. C.; SANTOS, E. S. Comparação de duas metodologias multivariadas no estudo de similaridade entre fragmentos de Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 511 – 521, 2008.
- FLEURY, M. **Efeito da fragmentação florestal na predação de sementes da palmeira jerivá (*Syagrus Romanzoffiana*) em florestas semidecíduas do Estado de São Paulo**. 2003. 87f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistema) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- FONSECA, G. A. B. The vanishing Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation*, **Liverpool**, v. 34, p. 17-34, 1985.
- FORMAN, R. T.T; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Willy & Sons, 1986. 619 p.
- FREITAS, S.R.; MELLO, M.C.S.; CRUZ, C. B. M. Relações entre maturidade estrutural da floresta e Índices de vegetação na Mata Atlântica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1537-1544.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA **Evolução dos remanescentes florestais e ecossistema do domínio da Mata Atlântica**. São Paulo: INPE, 1998.42p.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2008-2010. São Paulo, 2011.
- GOMIDE, L. R.; LINGNAU, C. Simulação espacial de uma paisagem sob efeito de borda. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p.441-455, 2009.
- GREGGIO, T.C.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M. Avaliação dos fragmentos florestais do município de Jaboticabal - SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.1, p.117-124, 2009.
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.
- HARRIS, L.D. **The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity**. Chicago: University of Chicago. 1984. 229 p.
- HUTTLE, R. F.; SCHNEIDER, B.U. Forest ecosystem degradation and rehabilitation. **Ecological Engineering**, v.10, p. 19-31, 1998.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. Uma perspectiva em recursos terrestre. 2 ed. São José dos Campos:Parêntese, 2009. 604 p.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de

- vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.5, p.1349-1355, 2009.
- KURASZ, G.; ROSOT, N. C.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Caracterização do entorno da reserva florestal Embrapa/Epagri de Caçador (SC) usando imagem Ikonos. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 641-649, 2008.
- LANG, S. BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux, São Paulo : Oficina de textos, 2009.
- LIU, W. T. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 865p.
- MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n.5-6, p. 431-438, 2010.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARAES, R. F. **Ecologia de paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- MCGARIGAL, K; MARKS, B.J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure – versão 2.0. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Station, 1994.134 p.
- MCGARIGAL, K; MARKS, B.J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. Covarllis Oregon: For Science Department Oregon State University, 1995. 56 p.
- METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. In: ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 3., 1999, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências , 1999.v.71, p.445-463.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 1- 9, 2001.
- METZGER, J.P. Tree functional group richness and landscape structure in a brazilian tropical fragmented landscape. **Ecological Applications**, v.10, n.4, p.1147-1161, 2000.
- MUCHAILH, M. C.; RODERJAN, C. V.; CAMPOS, J. B.; MACHADO, A. L. T.; CURCIO, G. R. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. **Revista Floresta**, Paraná, v. 40, n. 1, p. 147-162, 2010.
- NASCIMENTO, M. C. do; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C. A. A.S; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 207-220. 2005.
- NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P; RIBEIRO, C. A. A. S; SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.389-398, 2006.

- ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5 ed. Tradução Pégasus Sistemas e Soluções. São Paulo: Cengage Learning, 2008.612 p.
- OLIVEIRA FILHO, A. T.; CARVALHO, W. A. C.; MACHADO, E. L.M.; HIGUCHI, P.; APPOLINÁRIO, V.; CASTRO, G. C.; SILVA, A.C.; SANTOS, R. M.; BORGES, L.F.; CORRÊA, B. S.; ALVES, J. M. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v.30, n.1, p.149-161, 2007.
- PEREIRA, M. A. S.; NEVES, A. G. S.; FIGUEIREDO, D. F. C. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. **Revista Geografia**, Londrina, v. 16, n. 2, p. 5-23, 2007.
- PÉRICO, E.; CEMIN, G. Caracterização da paisagem do município de Arvorezinha, RS, com ênfase na dinâmica dos fragmentos florestais, por meio de sistemas de informações geográfica (SIGs). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 9-21, 2006.
- PINTO, L. P.; BRITO, M. C. W. Dinâmica da perda da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira: uma introdução. In: LEAL, C. G.; CÂMARA, I. G. (Orgs.). **State of the Hotspots**. Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005. p. 27-30.
- PIVELLO, V.R.; METZGER J.P. Diagnóstico da pesquisa em ecologia de paisagens no Brasil (2000-2005). **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 21-29, 2007.
- PONZONI, F.J.; SHIMABURUKO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São Paulo: Parêntese, 2007.150p.
- PORTELA, R.C.Q. **Estabelecimento de plântulas e jovens de espécies arbóreas em fragmentos florestais de diferentes tamanhos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – UNICAMP, Campinas, 2002.
- ROSTALDT, J. Consequences of forest fragmentation for the dynamics of bird population: conceptual issues and the evidence. **Biological Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 41, p. 149-163, 1991.
- SANTOS, A. L. S.; PEREIRA, E. C. G.; ANDRADE, L. H. C. Fragmentação florestal decorrente do uso do solo e do processo de degradação ambiental, no município de Junqueiro/AL. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, p. 120-138, 2008.
- SCARIOT, A.; FREITAS, S.R.; MARIANO NETO, E.; NASCIMENTO, M. T.; OLIVEIRA, L. C. ; SANAIOTTI, T. ; SEVILHA, A. C.; VILLELA, D. Vegetação e Flora. In: RAMBALDI, D.; OLIVEIRA, D. A. S. (Org.). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas e efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2003, p. 103-123.
- SHIMIZU, J. Y. Estratégia complementar para a conservação de espécies florestais nativas: resgate e conservação de ecótipos ameaçados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Paraná, n.54, p. 7-35, 2007.

- SIMOES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Variáveis espectrais orbitais, indicadores de desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n.4, p. 451-461, 2009.
- TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da Pesquisa sobre fragmentação aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 182-188, 2005.
- THIAM, A.; EASTMAN, J.R. **Vegetation Indices**. In: Manual IDRISI for Windows 2.0. Worcester: Clark University, 1997.
- VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 62, p.114-129, 2002.
- VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Avaliação da estrutura florestal na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68,p.45-57, 2005.
- VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990, p.113-118.
- VIANA, V. M.; PINEHIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, ESALQ/USP, v. 12, n.32, p.25-42, 1998.
- VIDAL, M.M.;PIVELLO,V.R.;MEIRELLES, T.S.; METZGER, J. P. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v.30, n.3, p.521-532, 2007.
- VIDOLIN, G.P.; BIONDI, D.; WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com araucária, Paraná, Brasil. **Revista Arvoré**, Viçosa, v. 35, n.3, p.515-525, 2011.
- VIEIRA, M. V.; FARIA, D.; FERNANDEZ, F.; FERRARI, S. ; FREITAS, S. ; GASPAR, D. A. ; MOURA, R. T. ; OLIFIERS, N. ; OLIVEIRA, P. P.; PARDINI, R.; PIRES, A. S.; RAVETTA, A.; MELLO, M. A. R.; RUIZ, C. R.; SETZ, E. Z. F. Mamíferos. In: RAMBALDI, D.; OLIVEIRA, D. A. S. (Org.). **Fragmentação de ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2003, p. 125-152.
- VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats**. 1998. 48 f. Trabalho acadêmico (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São Paulo, 1998.
- WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P.; KETTLE, W. D. Relations between NDVI and tree productivity in the central great plains. **Internation Journal Remote Sensing**, v. 20, n. 16, p. 3127-3138, 2004.
- WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRR NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. **Acta Ecologia Sinica**, v. 23, n.5, p.979-988, 2003.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Monitoramento do índice de área foliar em nível de bacia hidrográfica por meio do NDVI derivado de imagens Landsat-7/ETM+. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n.3, p. 243-252, 2004.

CAPÍTULO I

**CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA SUB-
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES, POR MEIO DE ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO**

RESUMO

SILVA, Kmila Gomes. **Caracterização temporal da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, por meio de índices de vegetação.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-orientador: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

Neste estudo apresenta-se a contribuição de índices de vegetação na caracterização da cobertura vegetal da sub-bacia do rio Alegre. O objetivo foi o de comparar três índices de vegetação, o *Transformed Vegetation Index* (TVI), *Corrected Transformed Vegetation Index* (CTVI) e *Ratio Vegetation Index* (RATIO), em relação ao comportamento do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), quanto à discriminação do vigor vegetativo da cobertura vegetal da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, bem como as alterações no dossel florestal entre 1987 e 2010. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que os índices de vegetação permitiram estimar o vigor vegetativo da cobertura vegetal. Evidenciou-se o aumento da cobertura florestal de 4,90% (NDVI) e 7,78% (TVI), redução de pastagens de 3,34% (NDVI) e 5,53% (TVI), e redução de áreas não vegetadas de 5,93% (NDVI) e 3,35% (TVI), no período de 1987 e 2010. O processo de regeneração natural pode ter sido o fator determinante para o incremento de área e as mudanças na vegetação florestal na região.

Palavras chave: vigor vegetativo, dinâmica da vegetação, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

SILVA, Kmila Gomes. **Temporal characterization of the vegetation in the hydrographic sub-basin of the Alegre river, Espírito Santo state, through vegetation indices.** 2012. Dissertation (Master's in Forestry Science) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-advisor: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

This study presents the contribution of vegetation indexes to the characterization of the plant covering of the sub-basin of the Alegre river. The proposed objective was to compare three vegetation indexes, TVI (*Transformed Vegetation Index*), CTVI (*Corrected Transformed Vegetation Index*) and RATIO (*Ratio Vegetation Index*), in relation to the behavior of the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), regarding the discrimination of the vegetative vigor of the plant covering as well as the alterations in the forest canopy between 1987 and 2010. Through the obtained results, it was verified that the vegetation indexes allowed to estimate the vegetative vigor of the plant covering. The following alterations were evidenced: an increase of the forest covering of 4.90% (NDVI) and 7.78% (TVI), pasture reduction of 3.34% (NDVI) and 5.53% (TVI), and 5.93% (NDVI) and 3.35% (TVI) in the reduction of non-vegetated areas, in the period from 1987 to 2010. The process of natural regeneration might have been the decisive factor for the area increase and the changes in the forest vegetation of the area.

Key words: vegetative vigor, vegetation dynamics, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos relacionados à vegetação é comum a utilização de imagens de satélite para o monitoramento e a detecção de mudanças. As imagens de satélite proporcionam uma análise multitemporal que permite acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo (FLORENZANO, 2002). Isto é particularmente importante em regiões em que a ausência de planejamento corrobora a expansão urbana desordenada (VELASCO et al., 2007).

Alterações ocorridas na paisagem florestal influenciam tanto a biodiversidade, quanto o equilíbrio ambiental. A sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, durante décadas, tem vivido um processo de transição das áreas florestais para áreas destinadas à agricultura e a pastagens (PAIVA et al., 2010). Essas, por sua vez estão em situação de degradação, agravada pela ausência de práticas de conservação do solo. Esse processo se torna mais intenso na região, pelo fato de ela apresentar precipitações intensas (ESPÍRITO SANTO, 1994) e relevo declivoso (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 2011).

A necessidade de diagnóstico das alterações da cobertura florestal local é sustentada pela proposta de estabelecer ações que promovam a recomposição da vegetação, na tentativa de estabelecer o equilíbrio ambiental na região. Os índices de vegetação são geralmente empregados em estudos ambientais, pois respondem às necessidades, quando relacionados com o monitoramento da cobertura vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). As informações obtidas por meio desses índices facilitam a fiscalização de grandes áreas, principalmente as de difícil acesso. Assim, as esferas públicas adquirem informações de maneira rápida e de baixo custo.

Por serem atribuídos ao vigor vegetativo, os índices de vegetação atuam como uma variável importante para avaliação da dinâmica da paisagem florestal. A detecção qualitativa da vegetação verde auxilia gestores na tomada de decisões e no gerenciamento ambiental do alvo vegetação (ROSENDO; ROSA, 2005).

É comum encontrar estudos nos quais se utiliza o *Normalized Difference Vegetation Index*, ou NDVI, para acompanhar o comportamento da vegetação. Isso ocorre porque esse índice pode ser facilmente correlacionado com os parâmetros de vegetação, como fitomassa, área foliar, produtividade e atividade fotossintética, entre outros (ELVIDGE; CHEN, 1995). As mudanças podem ser acompanhadas pelas variações nos dosséis, influenciadas pelas condições ambientais e/ou pela ação humana. O uso constante desse índice acontece justamente pela compensação na interferência do solo, a influência atmosférica e as variações zenitais do sol (ROUSE et al., 1973). Todavia, existem outros índices que podem ser utilizados para fazer inferências das mudanças na paisagem. Entre eles estão o *Transformed Vegetation Index* (TVI), o *Corrected Transformed Vegetation Index* (CTVI) e *Ratio Vegetation Index* (RATIO).

Nesse contexto, este trabalho foi conduzido com base na hipótese de que índices de vegetação podem expressar vigores vegetativos semelhantes ou diferenciados, de dosséis de uma determinada região. Desse modo, o objetivo foi comparar os três índices de vegetação supracitados, em relação ao comportamento do NDVI, quanto à discriminação do vigor vegetativo da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, bem como as alterações na cobertura florestal, entre 1987 e 2010.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia hidrográfica do rio Alegre está situada no município de Alegre, extremo sul do estado do Espírito Santo, entre as latitudes 20° 46' e 20° 55' S e longitudes 41° 28' e 41° 37' W, com área de, aproximadamente, 206,85 km². O principal curso d'água é o rio Alegre, afluente do rio Itapemirim (Figura 1).

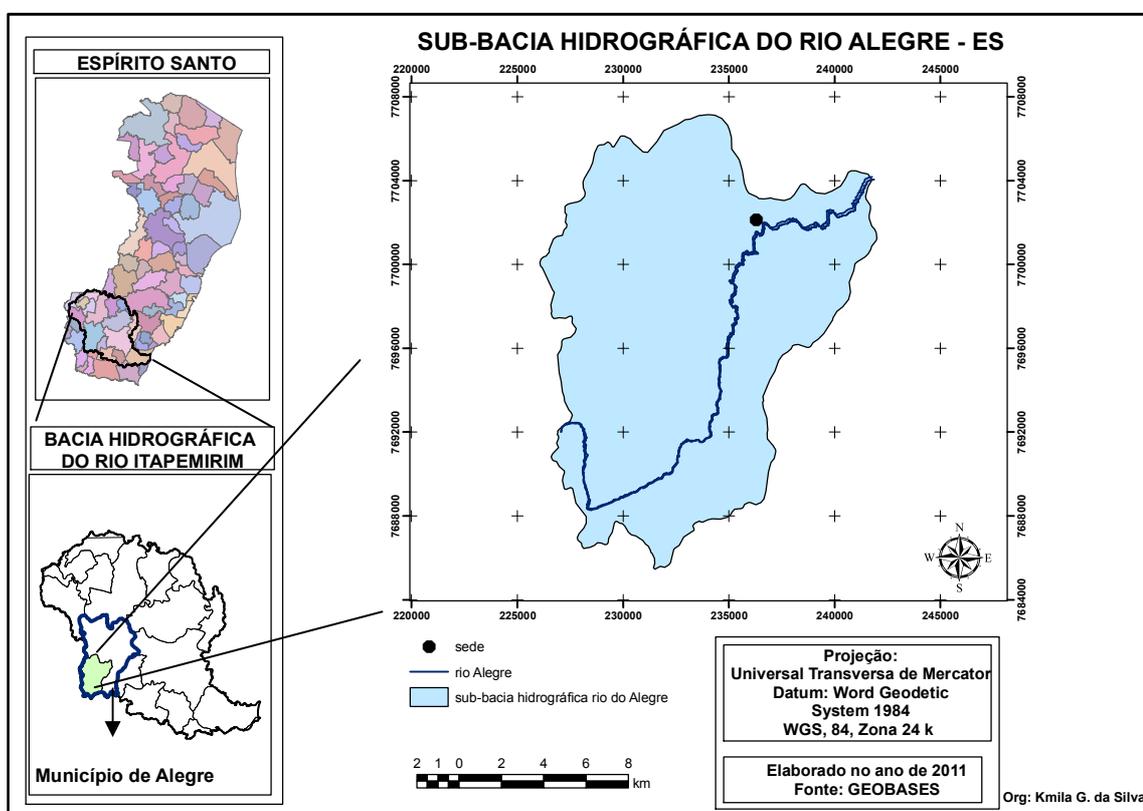


Figura 1. Localização geográfica da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, em Alegre, ES. FONTE: (ESPÍRITO SANTO, 2008).

O município de Alegre situa-se no território do Caparaó, com relevo basicamente acidentado intercalado por reduzidas áreas planas (BRASIL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). A altitude varia entre 100 a 1.326 m, chegando a 250 m na sede (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E ENTENSÃO RURAL, 2011).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região se enquadra no tipo Cwa, caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso. A precipitação anual média é de 1.200 mm e a temperatura média anual é de 23 °C, com máximas diárias de 29 °C e mínimas de 20 °C (ESPÍRITO SANTO, 1994).

A região está inserida no bioma Mata Atlântica e a vegetação natural é composta por floresta estacional semidecidual (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991) e sob solos caracterizados principalmente por Latossolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 1999).

2.2. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

A análise temporal da vegetação foi realizada no aplicativo computacional ArcGis 10.0. Utilizaram-se as imagens orbitais originadas do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT 5 disponibilizadas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referentes às datas 01/06/1987 e 31/05/2010, órbita 216 cena 74. As imagens foram selecionadas em função da ausência de cobertura de nuvens para o quadrante da imagem contendo a área de interesse. As imagens processadas da região do visível (Banda 3) e infravermelho próximo (Banda 4) foram utilizadas em razão de apresentarem forte absorção pela vegetação verdes. As imagens apresentam resolução espacial de 30 m x 30 m e resolução radiométrica de 8 bits.

Para a correção geométrica das imagens, utilizaram-se pontos de controle extraídos da hidrografia do estado do Espírito Santo, devidamente corrigida e fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As imagens foram recortadas tomando como base o limite (polígono) da área de estudo obtido no banco de dados do Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo, GEOBASES (ESPÍRITO SANTO, 2008). O processamento das imagens foi no realizado no Sistema de Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM/WGS84). A metodologia descrita pode ser observada no fluxograma ilustrado na Figura 2.

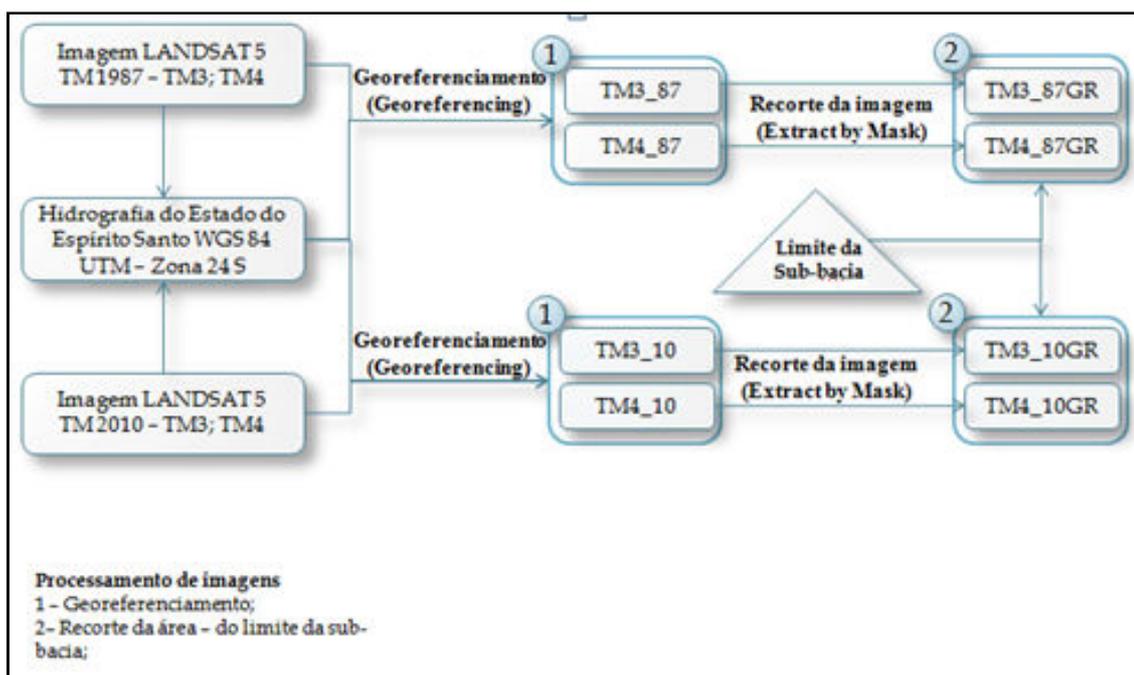


Figura 2. Fluxograma ilustrando a metodologia utilizada para o processamento das imagens Landsat TM5, referente à sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Alegre, ES, para os anos de 1987 e 2010.

2.3. DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Foram utilizados os índices NDVI, RATIO, TVI e CTVI. O NDVI foi obtido por meio dos valores médios dos números digitais dos *pixels* para as janelas de reflectância de superfície das bandas TM3 (vermelho) e TM4 (infravermelho próximo), sendo este índice dado pela Equação 1.

$$NDVI = \frac{(IV - VM)}{(IV + VM)} \quad (1)$$

em que:

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index;

IV = banda do infravermelho;

VM = banda do vermelho.

O TVI proposto por Deering et al. (1975), citados por Eastman (1998), modifica o NDVI para adicionar uma constante de 0,50 para todos os valores e efetuar a raiz quadrada dos resultados. A adição da constante 0,50 é utilizada para evitar operações com valores negativos de NDVI. Para uma distribuição normal, é utilizada à raiz quadrada que permite corrigir os valores do NDVI. O TVI é expresso pela Equação 3:

$$TVI = \sqrt{\frac{IV - VM}{IV + VM}} + 0,5 \quad (3)$$

em que:

TVI = *Transformed Vegetation Index*

IV = banda do infravermelho;

VM = banda do vermelho.

O CTVI, proposto por Perry e Lautenschlager (1984), citados por Eastman (1998), é utilizado para corrigir o TVI adicionando a constante de 0,50 para todos os valores NDVI, nem sempre eliminando todos os valores negativos de NDVI, podendo ter um alcance de -1 a +1. Desse modo, o CTVI é elaborado para resolver essa situação, dividindo-se o (NDVI + 0,50) pelo |NDVI + 0,50| e multiplicando-se pela raiz quadrada (SQRT |NDVI + 0,50|). Isto suprime o sinal negativo, conforme a Equação 4.

$$CTVI = ((NDVI + 0,5)) \frac{((NDVI + 0,5))}{|NDVI + 0,5|} * \sqrt{|NDVI + 0,5|} \quad (4)$$

em que:

CTVI = *Corrected Transformed Vegetation Index*;

NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada.

O *RATIO* foi produzido por uma divisão dos valores de reflectância contidos em bandas do infravermelho próximo por valores contidos na banda do vermelho (Equação 2).

$$RATIO = \frac{IV}{VM} \quad (2)$$

em que:

RATIO = *Ratio Vegetation Index*;

IV = banda do infravermelho;

VM = banda do vermelho.

Para a interpretação das imagens dos índices de vegetação, geraram-se classes por meio do método de fatiamento. Esse método consistiu em separar a vegetação em grupos de acordo com a intensidade do verde. A divisão em classes da vegetação foi baseada e adaptada do estudo de Souza (2010), que definiu os valores de NDVI, com a leitura dos valores de pixel em campo.

Assim, a definição das classes foi obtida a partir dos valores máximos e mínimos do histograma. Baseou-se na distribuição dos valores de NDVI, que variam entre -1 e +1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior a densidade de cobertura vegetal e quanto mais próximo de -1 menor é a densidade de vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). A partir disso, foram definidas quatro classes, na sequência:

- alto índice vegetativo – relaciona a cobertura vegetal densa com vegetação arbórea, ou cultura com dossel muito fechado;

- médio índice vegetativo – formações de vegetação em regeneração de sua vegetação original, caracterizada por um estrato predominantemente arbustivo;

- baixo índice vegetativo – áreas cobertas por vegetação rala (gramíneas ou leguminosas) e

- áreas não vegetadas – todos os solos descobertos sem a presença de áreas verdes.

A metodologia utilizada para aplicação dos índices de vegetação pode ser observada no fluxograma ilustrado na Figura 3.

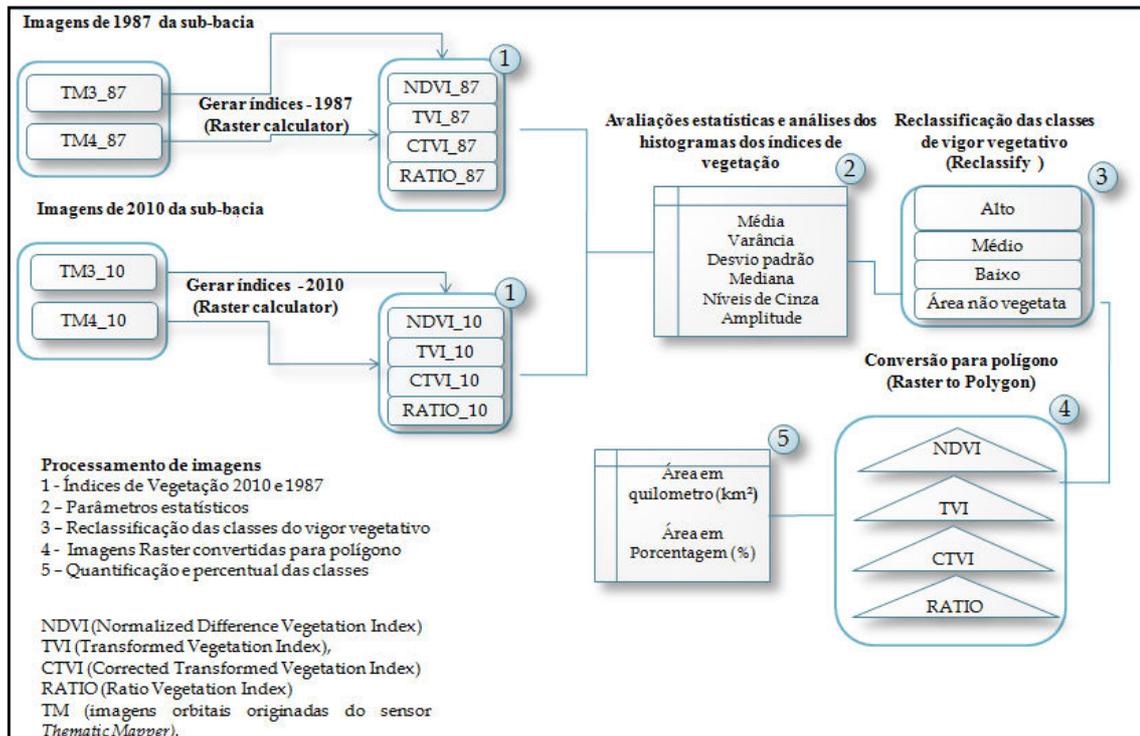


Figura 3. Fluxograma ilustrando a metodologia utilizada para aplicação dos índices de vegetação (NDVI, TVI, CTVI e RATIO), referentes às imagens da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Alegre, ES, para os anos de 1987 e 2010.

2.3.1. Análise dos dados

A obtenção dos valores dos índices de vegetação para cada *pixel* foi alcançada com a conversão da imagem *raster* para pontos, referente à imagem de 2010. A partir dos parâmetros estatísticos, constatou-se que tanto as imagens de 1987 quanto as de 2010 foram similares. Nesse sentido, a correlação foi realizada somente para o ano de 2010.

A análise do comportamento do NDVI em relação aos demais índices de vegetação foi alcançada com a análise de coeficiente de correlação de *Pearson*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos índices NDVI, TVI e CTVI foram semelhantes e o índice RATIO apresentou valores discrepantes (Tabela 1). Nas imagens de 1987 e 2010, o índice RATIO apresentou maior desvio padrão, em relação aos demais índices, com valores de 14,81, em 1987 e 15,41, em 2010 (Tabela 1), o que está relacionado com os maiores valores de amplitude, quais sejam 137,70 (1987) e 137 (2010) (Tabela 1). Tais resultados evidenciaram maior sensibilidade do RATIO em identificar variações de umidade na superfície. Esse fato é corroborado por Pallone Filho et al. (2003) que constataram que o índice RATIO, em relação ao NDVI, mostrou maior sensibilidade em identificar precipitações em regiões tropicais, durante o verão, a partir da análise na cobertura vegetal.

Os valores dos índices NDVI, TVI e CTVI apresentaram menores desvios padrões em relação ao índice RATIO, para ambos os anos (Tabela 1). Comparados ao RATIO, esses índices são menos sensíveis em identificar as variações de umidade na superfície.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos obtidos pelos índices de vegetação (NDVI, TVI, CTVI e RATIO), na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, para os anos de 1987 e 2010

Parâmetros estatísticos	1987				2010			
	NDVI	TVI	CTVI	RATIO	NDVI	TVI	CTVI	RATIO
Média	0,53	1,23	1,03	42,44	0,53	1,22	1,02	42,45
Desvio padrão	0,09	0,07	0,13	14,81	0,11	0,08	0,10	15,41
Mínimo	- 0,09	0,69	0,56	- 2,7	- 0,39	0,50	0,97	- 12
Máximo	0,79	1,39	36,44	135,19	0,83	1,41	35,63	125
Amplitude	0,88	0,70	35,88	137,70	1,22	0,91	34,66	137

Verificou-se que a imagem do ano de 2010 apresentou maior pico de NDVI (0,83), em relação à imagem de 1987 (0,79). No entanto, os valores médios desses índices são iguais para os dois anos (1987 e 2010). Neste contexto, constata-se que ocorreu maior variabilidade na cobertura verde no

período de 2010, quando observados os maiores valores de amplitude (1,22) e desvio padrão (0,11) (Tabela 1).

De acordo com Barbosa, Huete e Baethgen (2006), a variabilidade do NDVI pode estar associada à dinâmica natural da vegetação, a mudanças no clima e à ação humana (agricultura, ocupação entre outras). No estudo de Gurgel et al. (2003), a variabilidade do NDVI decorreu de anomalias climáticas nas vegetações mais densas e verdes da floresta Amazônica.

Quanto ao TVI, o maior pico encontrado também foi na imagem do ano de 2010 (1,41). No entanto, no período de 1987, a média foi maior (1,23) em relação à imagem de 2010 (1,22) (Tabela 1). Esse comportamento indica que, para o ano de 2010, o TVI apresentou, na verdade, menor vigor vegetativo, em relação ao período de 1987. Ferrari, Santos e Garcia (2011), trabalhando com o NDVI na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES, nos mesmos períodos, encontraram valores de NDVIs de (0,77) em 1987 e (0,79) em 2010. Esses resultados sugerem que o TVI superestimou o vigor vegetativo em relação ao NDVI.

Já em relação ao RATIO, o valor máximo (135,19) ocorreu em 1987, porém, ao observar a média, nota-se que foi no período de 2010 que ocorreu maior densidade de cobertura vegetal (Tabela 1).

Observando-se o parâmetro amplitude, constatou-se que o índice TVI alcançou os maiores valores na imagem de 2010, como também o NDVI anteriormente discutido (Tabela 1). O ano de 2010 foi um ano atípico, especialmente o mês de janeiro, pois a precipitação foi muito baixa, cerca de 29,3 mm (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Esse veranico em meio ao período chuvoso, possivelmente, alterou o ciclo vegetativo das plantas, o que pode ter provocado alterações tanto na cobertura vegetal e conseqüentemente na intensidade do verde da vegetação. Essa perturbação pode ter sido a causa da maior amplitude nos índices NDVI e TVI. O mesmo fato pode ter ocorrido para os índices CTVI e RATIO, porém, no ano de 1987 (Tabela 1).

Os resultados apresentados na Tabela 2 permitiram inferir que os índices TVI e RATIO apresentaram as maiores correlações com o NDVI, na avaliação da imagem de 2010.

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson entre os índices de vegetação (NDVI, TVI, CTVI e RATIO), referente à imagem do ano de 2010, da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES

	NDVI	CTVI	TVI	RATIO
NDVI	1			
CTVI	0,18	1		
TVI	0,99	0,16	1	
RATIO	0,81	1	0,98	1

Apesar de todos os índices avaliados possuírem uma relação devido à utilização dos mesmos dados (bandas do vermelho e do infravermelho próximo), a maior correlação encontrada foi entre NDVI e TVI, caso em que o coeficiente de Pearson chegou a 0,99 (Tabela 2). A semelhança no comportamento desses índices pode ser compreendida quando se observa o objetivo da criação dos mesmos. Tais índices foram elaborados para tentar amenizar as influências do solo, atmosfera e variações do ângulo do sol (ROUSE et al., 1973).

O índice de vegetação RATIO também teve forte correlação com o índice NDVI. Seu coeficiente foi 0,81 (Tabela 2). Tanto o NDVI quanto o RATIO são sensíveis às variações de umidade na superfície (JACKSON et al., 1983).

Em relação ao CTVI, a correlação com o NDVI foi fraca ($< 0,20$), quando comparado aos outros índices de vegetação (Tabela 2). Semelhante resultado foi encontrado no estudo de Oliveira et al. (2007), quando correlacionaram o índice NDVI com mais nove índices de vegetação. Os baixos valores de correlação não ultrapassaram 0,35. Uma das razões que podem explicar os resultados foi a presença de muito ruído (distorções radiométricas e geométricas) em imagens, o que ocasiona a superestimação da vegetação. Na verdade, as imagens desse índice deveriam ser similares às do NDVI, uma vez que são obtidas pelo NDVI e TVI, sofrendo somente uma transformação para corrigir os valores negativos (EASTMAN, 1999). Esse índice é indicado por

Rocha (2005) para a caracterização de vegetação em áreas de baixa cobertura vegetal, como em áreas urbana.

A discriminação do alvo “vegetação”, obtida pelos índices de vegetação NDVI e TVI, evidenciou algumas particularidades desses índices, quanto à dinâmica da cobertura vegetal (Figuras 4 e 5).

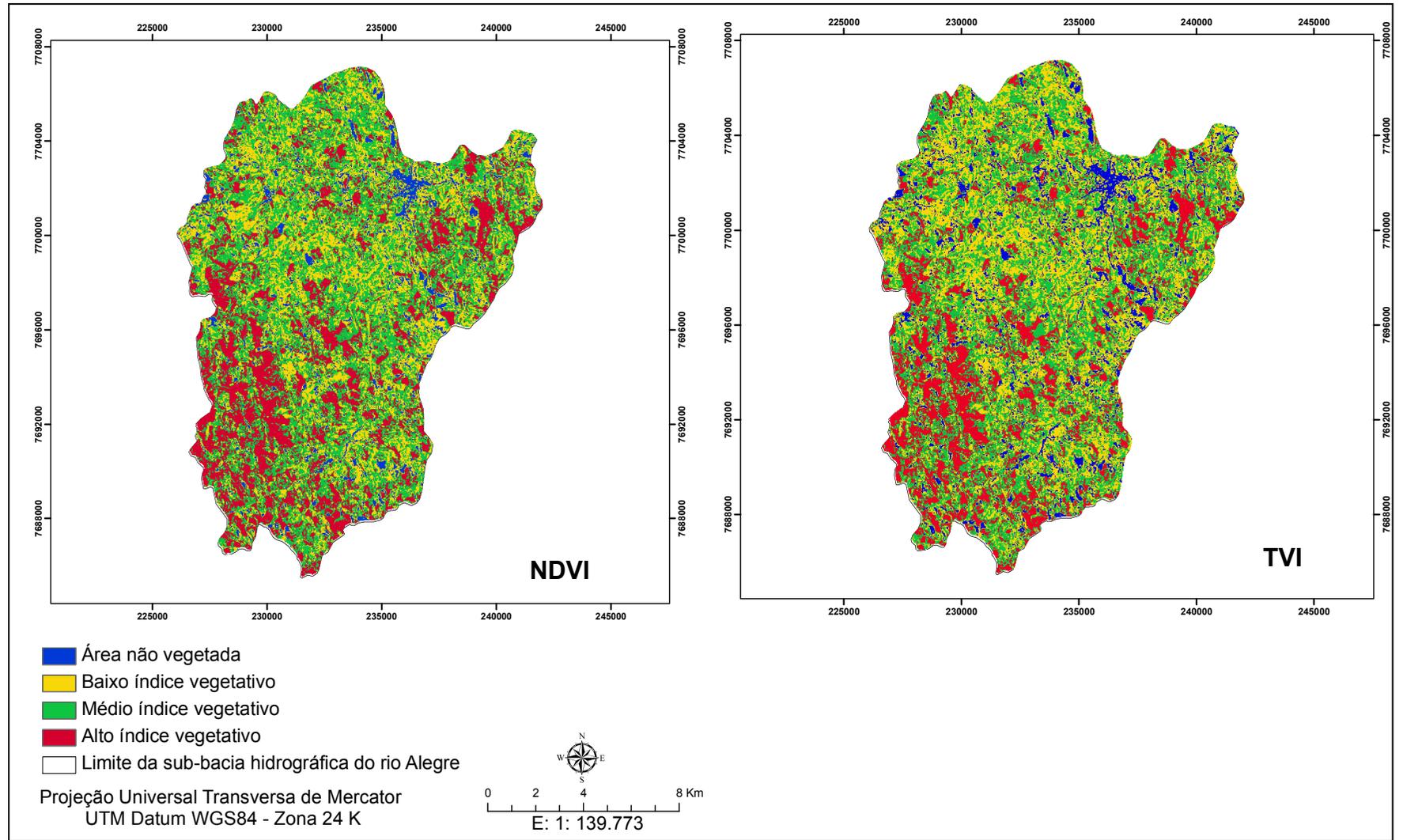


Figura 4. Classes do vigor vegetativo dos índices de vegetação (NDVI e TVI) para a sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando o período de 1987.

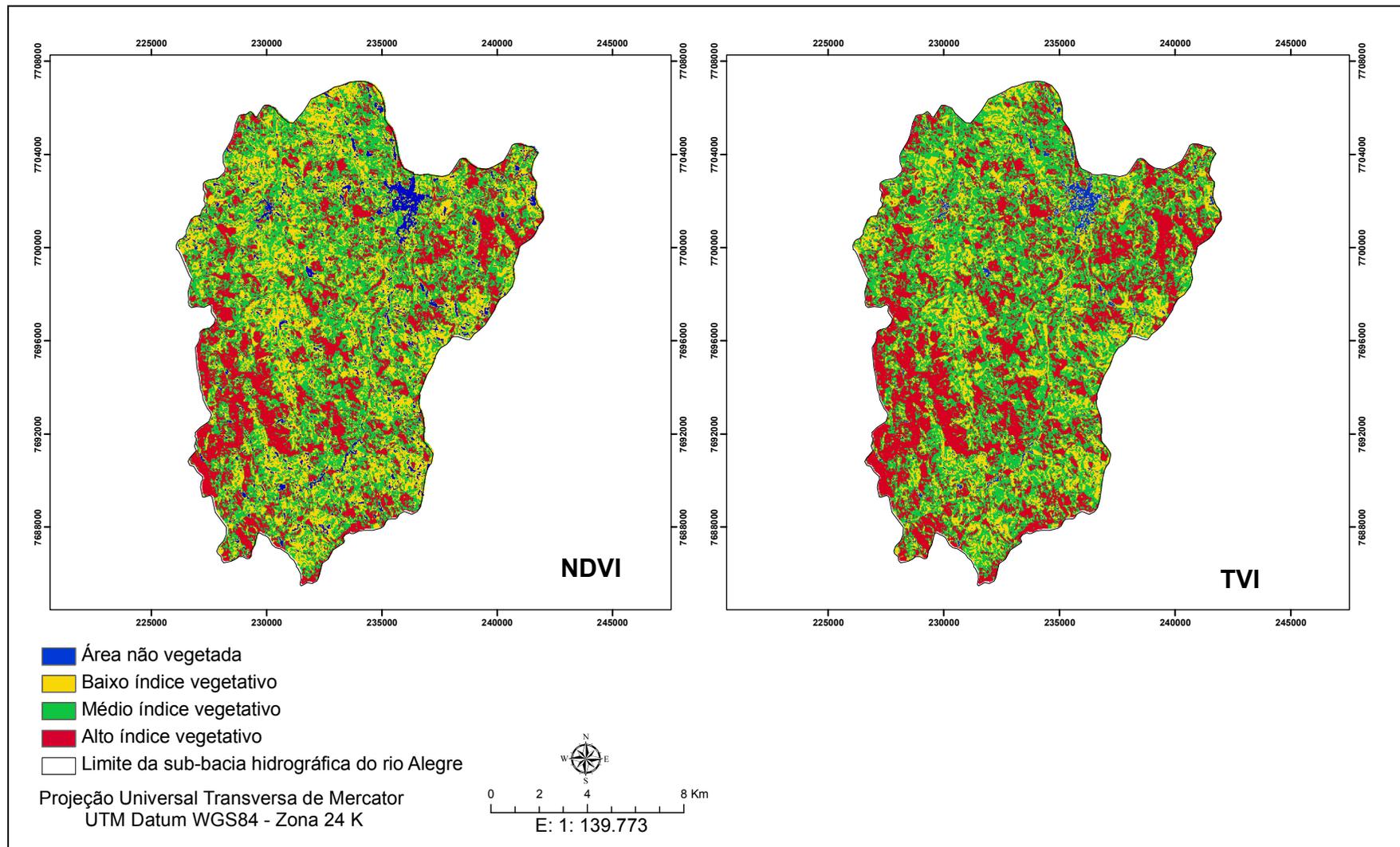


Figura 5. Classes do vigor vegetativo dos índices de vegetação (NDVI e TVI) para a sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando o período de 2010.

Observou-se que, na imagem de TVI para o ano de 2010, a classe alto índice vegetativo (cobertura vegetal muito densa) foi mais realçada que na imagem do NDVI para o mesmo ano (Figura 5). Isso pode ser explicado pela menor sensibilidade do TVI em relação às variações estruturais nos dosséis. O comportamento do índice NDVI pode ter sido influenciado pela sazonalidade na vegetação da região, que determina a fisionomia dos elementos arbóreos (PAULA, 2006). Em floresta estacional semidecidual, as árvores caducifólias têm uma perda significativa de suas folhas na estação seca (inverno). cerca de 20% a 50% das árvores perdem todas as folhas (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991). Diante dessa situação, ocorrem alterações espectrais, provocadas pela perda da biomassa vegetal, em função das particularidades do tipo de vegetação (DALLA NORA; SANTOS, 2010).

Constatou-se que as alterações na cobertura vegetal muito densa foram mais acentuadas na direção das pequenas propriedades rurais ao sudoeste da sub-bacia, tanto na imagem NDVI quanto do TVI. Evidenciou-se, ainda, que, no ano de 1987, houve uma dispersão de pequenas formações de vegetação nessa região que, no ano de 2010, apareceram aglomerados (Figura 4 e 5).

Com base nesses resultados, inferiu-se que houve incremento de área nos fragmentos florestais entre o período de 1987 e 2010. Todavia, deve-se destacar que a discriminação da cobertura densa se torna mais complexa, geralmente, em regiões com topografia acidentada, devido à presença de sombra, que provoca confusões com a cobertura florestal. Além disso, quando as matas nativas estão próximas de lavouras de café, essa diferenciação é mais dificultada (MACHADO et al. , 2010).

Rosendo e Rosa (2005), estudando o comportamento do NDVI em diferentes categorias de uso do solo, constataram que o maior pico vegetativo do café ocorreu nos meses de dezembro a março. A perda gradual do vigor dessa cultura veio com o passar dos meses (o período de colheita seguido da estação seca). A partir dessas informações, entende-se que a confusão dessa cultura com a cobertura florestal para este estudo é mínima, uma vez que as imagens utilizadas correspondem ao período seco.

As alterações na cobertura vegetal da sub-bacia em estudo podem ser verificadas por meio da quantificação das classes de vigor vegetativo dos índices de vegetação, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Quantificação e composição percentual das classes de vigor vegetativo dos índices de vegetação na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, entre o período de 1987 e 2010

Classes de vigor vegetativo	NDVI				TVI				Mudança (2010-1987) (%)	
	Área (km ²)		Ocupação (%)		Área (km ²)		Ocupação (%)		NDVI	TVI
	1987	2010	1987	2010	1987	2010	1987	2010		
Alto	40,86	51,00	19,75	24,65	52,43	68,53	25,35	33,13	4,90	7,78
Médio	80,94	87,48	39,12	42,29	91,09	94,22	44,03	45,54	3,17	1,51
Baixo	66,89	59,00	32,34	28,52	52,28	40,00	25,27	19,34	- 3,34	- 5,93
Área não vegetada	18,16	9,37	8,78	4,53	11,06	4,10	5,35	2,00	- 4,25	- 3,35
Total	206,85	206,85	99,99	99,99	206,85	206,85	100	100	-----	-----

Apesar da alta correlação existente entre o NDVI e TVI (Tabela 2), existe um determinado erro entre eles que pode ser observado a partir da quantificação das classes do vigor vegetativo, obtido pelos respectivos índices, nos dois períodos (1987 e 2010) avaliados (Tabela 3). Nota-se que, para o mesmo ano, a mensuração das classes obtidas por eles é diferente. Isso ocorre justamente pelas mudanças sofridas na metodologia desses índices. No entanto, segundo Galvanin et al. (2010), quando se deseja maior precisão da intensidade do verde em uma determinada área, utiliza-se o índice NDVI, por ser um índice comumente utilizado (padrão) e representar melhor a realidade do vigor vegetativo, principalmente em diferentes períodos sazonais. Mas, de acordo com Jackson et al. (1983), em determinadas situações, o índice TVI será mais apropriado, como por exemplo na identificação de variações em culturas com menor cobertura de solo.

O aumento da classe alto índice vegetativo com 4,90% (NDVI) e 7,78% (TVI) possivelmente ocorreu em decorrência do incremento de área da cobertura florestal (Tabela 3). Esses resultados corroboram com as informações da Fundação SOS Mata Atlântica e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011), que não detectaram desflorestamento no município de Alegre, no período de 2008 a 2010. Associada ao não desflorestamento, existe a possibilidade de regeneração da vegetação nativa e, conseqüentemente, a interligação entre fragmentos florestais vizinhos. Geralmente, a falta de investimentos leva os pequenos produtores a deixarem de explorar áreas agrícolas, permitindo que estas se regenerem, dando origem à formação florestal (VASCONCELLOS; BENEDETTI, 2011).

Os resultados expostos foram confirmados quando se constatou o aumento da classe médio índice vegetativo NDVI (3,17%) e TVI (1,51%) (Tabela 3). Essa classe engloba uma vegetação esparsa, que pode caracterizar um processo de regeneração. A partir de uma análise detalhada entre os dois períodos (1987 e 2010), ficou evidente uma concentração dessa classe no entorno da vegetação densa, no ano de 1987 (Figura 4 e 5). Isso possivelmente caracterizou um processo de recomposição natural na região, o que propiciou o crescimento de espécies de pequeno porte (herbáceas e arbustos). Essa relação está de acordo com o trabalho realizado por Pereira et

al. (2010), que analisaram o comportamento espectral da cobertura vegetal de São João do Cariri, PB, em um período de vinte anos.

Diante desses fatos, a redução da classe baixo índice vegetativo de 3,34% para NDVI e de 5,93% para TVI, possivelmente, associa-se ao abandono de pastagens (Tabela 3). Os fatores econômicos e sociais determinam a mudança de atividades agropecuárias, que é um aspecto comum nas paisagens tropicais (FERRETTI; BRITZ 2006). Nessa situação, verifica-se que áreas de pastagem são frequentemente abandonadas, dando início à sucessão secundária, com o surgimento de espécies herbáceas, arbustivas e lenhosas, no tempo e no espaço (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001). Tais explicações corroboram com as conclusões de Santos e Rizzi (2010).

As reduções de 4,25% (NDVI) e 3,35% (TVI) da classe áreas não vegetadas também podem estar associadas à sucessão secundária em pastagens de algumas áreas da região (Tabela 3), uma vez que, na sub-bacia estudada, predominam pastagens degradadas, com solo desnudo caracterizando áreas sem vegetação.

Observou-se, no decorrer de 23 anos, que ocorreu uma expansão na mancha urbana ao norte da área de estudo (Figuras 4 e 5). O aumento da urbanização pode ter sido influenciado pelo êxodo rural. Informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) comprovam uma redução de aproximadamente 23% na população rural do município de Alegre, em relação ao censo demográfico do ano 2000. No entanto, o aumento na zona urbana não contribuiu para o acréscimo da classe áreas não vegetadas (Tabela 3). Pelo contrário, pode ter colaborado para o comportamento de sucessão secundária em pastagens, uma vez que áreas antes produtivas podem ter sido abandonadas.

4. CONCLUSÕES

Para as condições deste trabalho e o período avaliado, concluiu-se que:

4.1. Os índices de vegetação permitiram estimar o vigor vegetativo da paisagem;

4.2. O comportamento espectral do NDVI, como também do TVI, permitiu identificar o aumento da cobertura florestal entre 1987 e 2010;

4.3. O índice NDVI teve maior sensibilidade em detectar variações na cobertura vegetal, em relação ao TVI;

4.4. A redução da área destinada à pastagem, possivelmente, favoreceu o processo de regeneração natural e o conseqüente acréscimo na superfície dos remanescentes florestais; e

4.5. A recomposição de matas pode contribuir para a estabilidade geológica, como também para o retorno do fluxo de espécies de animais e vegetais na região.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos** (SNIRH). Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/portalsnirh>>. Acesso: em 20 de abril de 2012.
- BARBOSA, H.A.; HUETE, A.R.; BAETHGEN, W.E. A 20 year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p. 288 – 307, 2006.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal 2009**. Rio de Janeiro: BRASIL, 2010.
- DALLA NORA, E. L.; SANTOS, J. E. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação. **Perspectiva**, Erechim, v. 34, p. 41-51, 2010.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**. Manual do usuário. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, 1998.
- EASTMAN, J.R. **Guide to GIS and image processing – IDRISI 32**. Worcester: Idrisi Production, 1999. 170 p.
- ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broadband and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 54, p. 38-48, 1995.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.
- ESPÍRITO SANTO - Instituto Estadual de Meio Ambiente – IEMA. **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo (GEOBASES)** - Ortofotomosaico 2007/2008. Disponível em: <<http://200.140.47.75/geobasesonline/mapa.html>>. Acesso em: 09 de maio de 2010.
- ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado de Ações Estratégicas e Planejamento. **Informações municipais do Estado do Espírito Santo**. Vitória: Departamento Estadual de Estatística, 1994. 803p.
- FERRARI, J.L.; SANTOS, A.R.; GARCIA, R. F. Análise da vegetação por meio da subtração de imagem NDVI na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.3, p. 003 – 018, 2011.
- FERRETTI, A. R.; BRITZ, R. M. Ecological restoration, carbon sequestration and biodiversity conservation: The experience of the Society for Wildlife Research and Environmental Education (SPVS) in the Atlantic Rain Forest of Southern Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 14, p. 249-259, 2006.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2008-2010. São Paulo, 2011. 122 p.

GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S.; CRUZ, C. B. M.; NEVES, R. J.; JESUS, P. H. H. Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de ambientes do Pantanal de Cáceres – Mato Grosso, Brasil. In: 3º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres-MT, **Anais ...** Embrapa Informática Agropecuária: INPE, 2010. p. 401-413.

GUARIGUATA, M.R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v.148, p.185-206, 2001.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse> Disponível em: 21 de abril de 2012.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa de assistência técnica e extensão rural (PROATER 2011 – 2013) – Planejamento e programações de ações – (2011)**. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Caparao/Alegre.pdf>. Acesso em: 17 de Novembro de 2011.

JACKSON, R.D.; SLATER, P. N.; PINTER JR, P. J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various Vegetation Indices through clear and turbid atmospheres, **Remote Sensing of Environment**, New York, v.13, p.187-208, 1983.

MACHADO, M. L.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; FERNANDES FILHO, E. I. ; LACERDA, M. P. C. Mapeamento de áreas cafeeiras (*Coffea arabica* L.) da Zona da Mata mineira usando sensoriamento remoto. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, p. 113-122, 2010.

OLIVEIRA, L. G. L.; PEREIRA, L. M.; PEREIRA, G. MORAES, E. C.; MAEDA, E. E.; Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 2007, Florianópolis, **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5995 - 6002.

PAIVA, Y. G.; SILVA, K. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, A. Q; CECILIO, R. A. Delimitação de Sítios florestais e análise dos fragmentos pertencentes na Bacia do Rio Itapemirim. **Idésia**, Chile, v.28, n.1, p.17-22, 2010.

PALLONE FILHO, W. J.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Monitoramento de estiagem durante o verão de regiões tropicais utilizando imagens AVHRR/NOAA-14. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte, **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1193 - 1201.

- PAULA, A. Os estados da Mata Atlântica: Espírito Santo. In: Campanili, M.; Prochnow, M. (Org.). **Mata Atlântica: uma rede pela floresta**. Brasília: RMA, 2006. p. 114-128.
- PEREIRA, R. A.; MELO, J. A. B.; DANTAS NETO, J.; BARBOSA, E. M. Análise do comportamento espectral da cobertura vegetal de São João do Cariri-PB no espaço temporal de vinte anos (1987 - 2007), sob condições diversas de utilização. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 36, p. 68 – 80 2010.
- PONZONI, F.J.; SHIMABURUKO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São Paulo: Parêntese, 2007.150p.
- ROCHA, J. Detecção remota e sistemas de informação geográfica para a produção de cartografia de uso e ocupação do solo. **Revista portuguesa de geografia**, Lisboa, v. 60, n. 80, p. 23 – 39, 2005.
- ROSENDO, J. S.; ROSA, R. . A utilização de sensores com resolução moderada (MODIS) no estudo da vegetação na Bacia do Rio Araguari - MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 33, p. 91-104, 2005.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM,3., 1973, Washington. **Anais ...** Washington: NASA, 1973. p. 309- 317.
- SANTOS, J. S.; RIZZI, N. E. Dinâmica de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Luís Alves, sub-bacia do rio Itajaí, Santa Catarina, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 335-344, 2010.
- SOUZA, J. H. L.; **Uso de sensoriamento remoto no monitoramento da Reserva Legal**. 2010. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdades de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho, Montes Claros, 2010.
- VASCONCELLOS, B. N.; BENEDETTI, A.C. P. Dinâmica temporal da cobertura florestal na microrregião Campanha Central do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 4, p. 416-426, 2011.
- VELASCO DEL NERO, G.; POLIZEL, J. L.; COLTRI, P. P.; LIMA, A. M. L. P.; SILVA FILHO, D. F. Aplicação do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba,v.2, n.3, p. 1 – 12, 2007.
- VELOSO. H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124p.

CAPÍTULO II

**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS FRAGMENTOS
FLORESTAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES**

RESUMO

SILVA, Kmila Gomes. **Análise da dinâmica espaço-temporal dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-orientador: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

O conhecimento sobre o histórico da fragmentação florestal em bacias hidrográficas auxilia no planejamento e na aplicação de práticas pautadas na restauração de áreas florestais devastadas. A análise estrutural dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, baseou-se no uso de métricas da paisagem, por meio do aplicativo computacional ArcGis 10.0 e a extensão *Patch Analyst*, considerando uma evolução durante os anos de 1975, 2002 e 2007. As análises mostraram um aumento de, aproximadamente, 7% na área total da cobertura florestal, acompanhado do surgimento de 645 novos fragmentos florestais. O número de fragmentos foi elevado e a área de contribuição pequena, o que implicou na alta relação de borda/área. A predominância de fragmentos de forma geométrica simples ocorreu entre os menores fragmentos (< 1 ha). Os maiores fragmentos (> 20 ha) mostraram-se próximos, apresentando tendência de redução nos valores da métrica de proximidade. A partir dos resultados, infere-se que, apesar do aumento da área vegetada, a qualidade ambiental dos remanescentes florestais encontra-se altamente comprometida.

Palavras-chave: remanescentes florestais, evolução espacial e temporal, métricas da paisagem, Sistemas de Informações Geográficas.

ABSTRACT

SILVA, Kmila Gomes. **Analysis of spatial-temporal dynamics of forest fragments in the hydrographic sub-basin of the Alegre river, ES.** 2012. Dissertation (Master's in Forestry Science) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-advisor: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

The knowledge about the history of forest fragmentation in hydrographic basins aids in the planning and applications of practices guided towards the restoration of degraded areas. The structural analysis of the forest fragments of the hydrographic sub-basin of the Alegre river is based on the use of landscape metrics, through the ArcGis 10.0 computer application and the *Patch Analyst* extension, considering an evolution during the years of 1975, 2002 and 2007. The analyses showed an increase of approximately 7% in the total forest cover area accompanied by the appearance of 645 new forest fragments. The number of fragments increased and the area of contribution small, which implied in the high border/area ratio. The predominance of simple geometrically formed fragments occurred among the smallest fragments (< 1 ha.). The largest fragments (> 20 ha.) were shown proximate, presenting a tendency towards reduction of the proximity measure values. Based on the results, it is inferred that, in spite of the increase of the vegetated area, the environmental quality of the forest remnants is highly compromised.

Key words: forest remnants, spatial and temporal evolution, landscape metrics, Geographic Information Systems.

1. INTRODUÇÃO

Com o histórico de uso e ocupação do solo, a Mata Atlântica tem apresentado, desde 2008, menos de 8% de sua cobertura original no cenário nacional, associado a um diagnóstico que não evidencia sinais de inversão na curva de degradação há anos (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2011). Este cenário nada mais é que o reflexo da ausência de um planejamento adequado para a implantação de áreas agrícolas, estradas e a expansão de centros urbanos. Tal desenvolvimento tem ocasionado acentuadas modificações na paisagem natural e atingido áreas de grande sensibilidade ambiental.

Apesar de a legislação ambiental brasileira ser considerada uma das mais bem elaboradas, seus instrumentos são ainda deficientes e não conseguem atender à realidade do meio rural e urbano. Neste contexto, a aplicabilidade das leis torna-se onerosa e, em muitos casos, impraticável.

A escolha de uma bacia hidrográfica como área de estudo deve-se à integração de fatores ecológicos, socioeconômicos e culturais que essa unidade possui. Portanto, é a mais adequada para estudos ambientais (CEMIN; PÉRICO; REMPEL, 2009).

As áreas de florestas nativas situadas na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, inclusas no bioma Mata Atlântica, foram desmatadas para dar lugar à cultura do café e à pastagens (NASCIMENTO et al., 2006). Este cenário demonstra a fragilidade do ecossistema no contexto de bacias hidrográficas, despertando preocupações e demonstrando a necessidade de estudos relacionados à manutenção da sustentabilidade nos remanescentes florestais.

Subsidiar ações para a manutenção da sustentabilidade dos fragmentos florestais implica na realização de diagnóstico voltado para a evolução da fragmentação florestal. O mapeamento de remanescentes florestais em apenas um período pode não ser suficiente para a elaboração de um diagnóstico que aponte as causas reais da fragmentação.

Estudos na área de Ecologia da Paisagem, principalmente aqueles realizados no intuito de embasar projetos de reabilitação das funções dos ecossistemas antropizados, utilizam análises de variação temporal e espacial.

Trata-se de uma área do conhecimento que estuda as alterações que ocorrem na paisagem de determinado local, procurando estabelecer o resgate da evolução histórica da fragmentação (CABACINHA; CASTRO; GONÇALVES, 2010). Os resultados obtidos nesses estudos são indispensáveis às práticas relacionadas à reestruturação da vegetação original devastada, pois direcionam o processo de recomposição dos fragmentos florestais a partir de um diagnóstico das características estruturais dos remanescentes.

Em consonância com as métricas da paisagem, os sistemas de informações geográficas (SIGs), aliados às imagens de satélites, são instrumentos singulares no mapeamento das formações vegetais e do uso e ocupação do solo.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da geotecnologia, é possível recomendar um manejo de preservação de áreas florestais. Por meio de levantamentos de imagens espaciais e aerofotos, a identificação da evolução do desmatamento, o uso e ocupação do solo em áreas de preservação e o reconhecimento de remanescente com potencial para conservação são mais rápidos e precisos. Neste contexto, são necessários estudos pautados na avaliação estrutural dos remanescentes florestais da região, para direcionar o manejo florestal adequado para a situação local.

Portanto, foram formuladas as seguintes hipóteses: 1) na paisagem florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre ocorre a predominância de pequenos fragmentos, durante os anos estudados (1975, 2002 e 2007); 2) há predominância de fragmentos florestais com formas complexas e com menor área central; 3) os remanescentes florestais estão distantes uns dos outros e 4) existe maior área de borda, evidenciando o alto grau de fragmentação desta paisagem.

Para testar estas hipóteses, desenvolveu-se o trabalho com o objetivo de caracterizar a evolução espacial e temporal das estruturas dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, localizada no município de Alegre, ES, utilizando as métricas da Ecologia da Paisagem aplicadas aos anos de 1975, 2002 e 2007.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ESPACIALIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS

A área de estudo corresponde à mesma caracterizada no capítulo 1. A seguir, a descrição da metodologia adotada.

Para o mapeamento dos remanescentes florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre foram utilizadas aerofotos do ano de 1975, na escala 1:25.000; aerofotos do ano de 2007, na escala 1:35.000 e imagem do satélite IKONOS II de 2002, na escala 1:2500.

As aerofotos do ano de 1975, disponibilizadas pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF), estavam em formato analógico e foram digitalizadas, com resolução de 800 dpi. As aerofotos de 2007, na escala 1:35000, pertencentes ao ortofotomosaico, foram cedidas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), no formato digital e a imagem do sensor IKONOS II, com resolução espacial de 4 m, foi disponibilizada pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

A elaboração da base de dados (mosaicagem e georreferenciamento) e o mapeamento da classe representativa dos fragmentos florestais da área de estudo foram realizados no aplicativo computacional ArcGis versão 10.0. Para o georreferenciamento dos mosaicos da aerofoto do ano de 1975, foram utilizados pontos de controle da aerofoto de 2007.

A digitalização via tela das feições (fragmentos florestais) foi realizada na escala de 1:2000, por meio do processo de fotointerpretação, tendo como base as aerofotos digitais para os anos de 1975 e 2007 e a imagem de satélite do sensor IKONOS II para o ano de 2002. Logo, foi elaborado um arquivo de imagem vetorial poligonal para a classe de fragmento florestal para cada ano. Considerou-se como fragmento florestal toda estrutura vegetal florestal com feições de textura rugosa e tamanho a partir de 0,1 ha.

Com a obtenção dos mapas de fragmentação florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, foi quantificada a área de cada fragmento florestal.

Esse processo foi realizado por meio da calculadora de valores da tabela de atributos do próprio arquivo de imagem vetorial poligonal. Com isso, foi possível comparar o tamanho dos diversos fragmentos florestais encontrados na área de estudo, nos anos estudados. A metodologia utilizada para o desenvolvimento dos mapas de fragmentação florestal pode ser observada no fluxograma ilustrado na Figura 1.

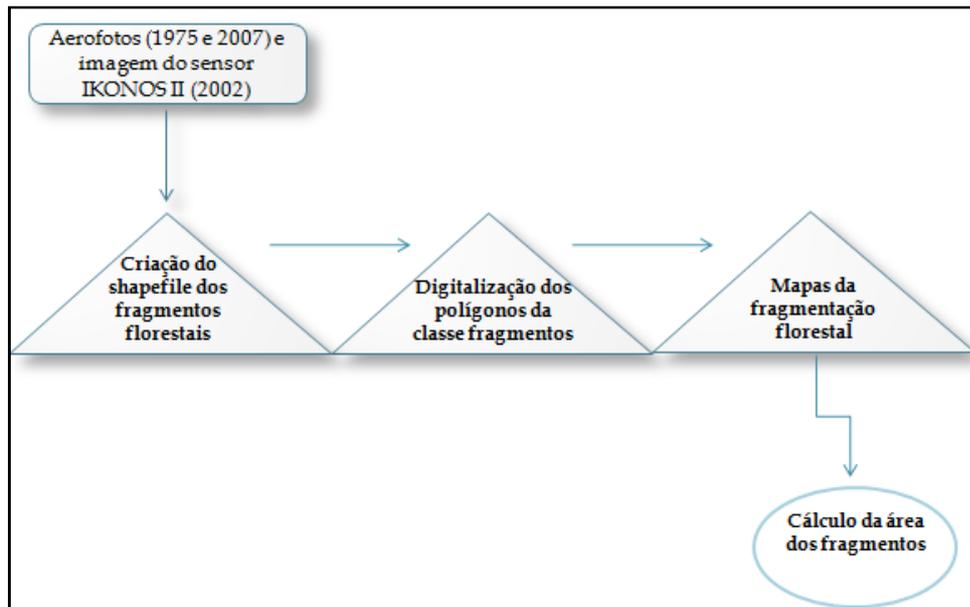


Figura 1. Fluxograma ilustrando a metodologia utilizada para geração dos mapas de fragmentação florestal na área da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, Alegre, ES, para os anos de 1975, 2002 e 2007.

2.2. QUANTIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA PAISAGEM FLORESTAL

A caracterização e a quantificação estrutural se referem à análise da paisagem, que foi realizada adotando-se o aplicativo computacional ArcGis versão 10.0, por meio da extensão *Patch Analyst* versão 4.0 (analisador de manchas). As métricas ou os índices foram calculados utilizando-se a versão para dados vetoriais para os arquivos de fragmentação florestal obtidos na etapa anterior (espacialização dos fragmentos florestais).

No intuito de analisar a evolução temporal entre os anos de 1975, 2002 e 2007, nos aspectos relacionados ao tamanho dos fragmentos florestais, número, formato e proximidade entre eles, foram utilizados os seguintes

índices: tamanho e densidade dos fragmentos florestais, forma, borda, área central e proximidade. Foram definidas as seguintes classes de tamanho, em hectare: 0 a 1; 1 a 5; 5 a 10; 10 a 15; 15 a 20 e > 20.

Com o cálculo das métricas de tamanho, foi possível obter: a área de cada classe de tamanho e o tamanho médio. Por fim, foi estabelecido o número e a densidade dos mesmos, a cada 100 ha da área de estudo.

Para o cálculo dos índices de área central dos fragmentos florestais, foram estabelecidas distâncias de borda, em metros (20, 40 e 60). A simulação de três faixas de distâncias foi influenciada pela presença da malha viária e de núcleos urbanos ao longo da matriz (sub-bacia em estudo).

Para efeito de comparação dos índices de Ecologia da Paisagem para os anos em estudo (1975, 2002 e 2007), os relatórios envolvendo as métricas foram organizados em banco de dados, no aplicativo computacional Excel, para a geração de gráficos. Os índices de ecologia da paisagem calculados para os fragmentos florestais na séria histórica (1975, 2002 e 2007), juntamente com suas siglas e significados, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices de ecologia da paisagem gerados pelo aplicativo *Patch Analyst*, versão 4.0, para classe dos fragmentos florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES. Fórmulas em Anexo.

Grupo	Sigla	Métrica	Unidade	Observação	Conseqüências
Área	CA	Área do fragmento	Hectare (ha)	Somatório das áreas de todos os fragmentos florestais presentes na área em estudo.	Valores altos indicam que o fragmento é apto para conservação, pois possui maior contribuição de área na paisagem.
	Densidade e tamanho	MPS	Tamanho médio do fragmento	Hectare (ha)	Soma do tamanho dos fragmentos dividido pelo número de fragmentos.
NUMP		Número de fragmentos	Adimensional	Número total de fragmentos na paisagem ou na classe.	Maior valor corresponde um elevado grau de fragmentação florestal.
Borda	TE	Total de bordas	Metro (m)	Extremidade total de todos os fragmentos e a soma de perímetro.	Quanto maior o valor, maior quantidade de bordas na paisagem.

Continua ...

Tabela 1. Continuação.

	DE	Densidade de bordas	m/ha	Quantidade de extremidades em relação à área da paisagem.	O aumento indica maior proporção de borda/área, maléfica para a paisagem.
Forma	MSI	Índice de forma médio	Adimensional	É igual a um quando todos os fragmentos forem circulares e aumenta com a crescente irregularidade da forma do fragmento.	Valores menores representam fragmentos de formato simples, situação benéfica para a conservação na paisagem.
	AWMSI	Índice de forma de área média ponderada	Adimensional	Difere do MSI, pois os fragmentos maiores possuem mais peso que os menores.	Maiores valores indicam maior complexidade de forma.
Área Central	TCA	Área central total	Hectare (ha)	Soma das áreas centrais dos fragmentos.	O aumento indica conservação da área interior dos fragmentos.
	CAI	Índice de área central	Porcentagem (%)	Porcentagem de áreas centrais nos fragmentos.	Com a redução nos valores, maior quantidade de área sob efeito de borda.
	NCA	Número de áreas centrais	Adimensional	Número total de áreas centrais dentro da paisagem ou dentro de cada fragmento ao nível de classe.	Valores altos correspondem maior fragmentação na paisagem.
Proximidade	MNN	Distância média do vizinho mais próximo	Metros(m)	É a média destas distâncias para classes individuais ao nível de classe e a distância média da classe vizinha mais próxima ao nível de paisagem.	Quanto menor os valores, mais próximos os fragmentos se encontram, favorecendo o fluxo gênico.

Fonte: McGarigal e Marks, 1994 e McGarigal e Marks 1995. Adaptado de Pirovani, 2010.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESPACIALIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS

A evolução histórica da paisagem florestal indicou um aumento no número de fragmentos florestais de 522 para 1.167, acompanhado de um acréscimo em área, passando de 2.240,88 ha para 3.609,63 ha. Isso evidencia que, em termos de representatividade em relação aos outros usos do solo na sub-bacia, os fragmentos florestais obtiveram um aumento de 7%, ao longo do período de 1975 a 2007 (Figura 2).

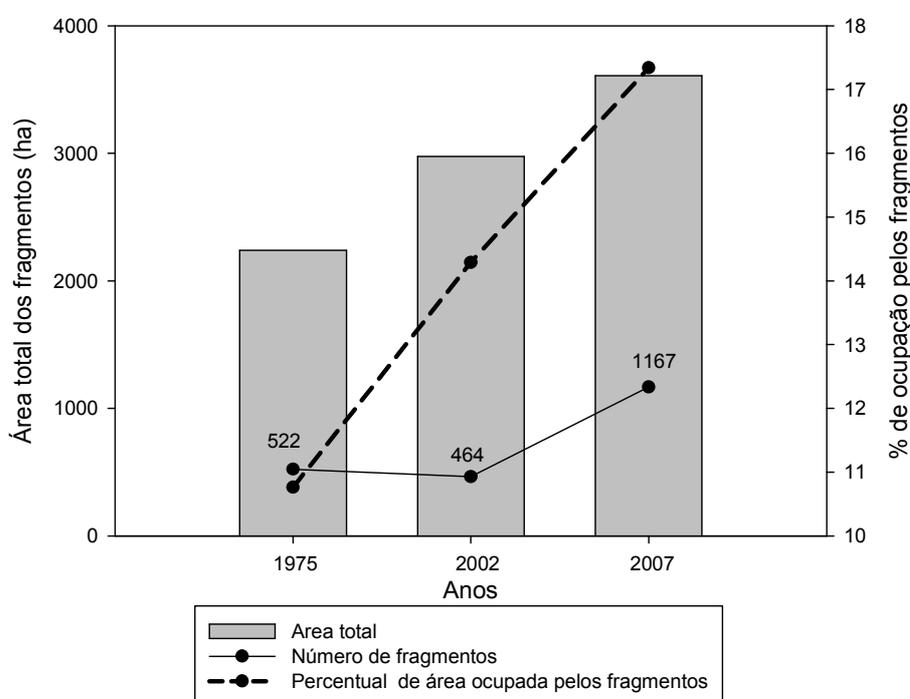


Figura 2. Área total (ha), número e percentual (%) de área ocupada pelos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES entre os anos de 1975, 2002 e 2007.

Esse fato pode estar associado à restrição imposta pela legislação ambiental e ao abandono de áreas de pastagens e lavouras, ao longo da sub-bacia. Isso pode ter possibilitado a regeneração da vegetação e a caracterização da cobertura florestal em diferentes estágios sucessionais. No entanto, vestígios históricos da extração da vegetação nativa para a

implantação de pastagens e cafeicultura ainda interferem na capacidade total de recomposição natural da vegetação (PAIVA et al.,2010).

Por ser tratar de uma matriz altamente antropizada, geralmente, os fragmentos florestais de maior significância, em termos de área, encontram-se localizados, principalmente, em topos de morro ou próximos a rios. Eles são circundados por pequenas propriedades rurais e núcleos urbanos (BENEDETTI, 2010), o que foi o caso de três fragmentos significativos, em termos de área, para a referida sub-bacia. Em bacias hidrográficas nas quais predominam pequenas propriedades rurais, é comum encontrar pequenas faixas de vegetação preservada em encostas íngremes e junto às margens de corpos d'água. Isto porque a legislação ambiental impõe ao produtor direcionar o plantio de culturas nas áreas mais planas (CEMIN; PÉRICO; REMPEL, 2009) que, por sinal, são poucas na sub-bacia avaliada.

Observou-se que a distribuição dos fragmentos florestais dentro da área de estudo tornou-se mais heterogênea ao longo dos anos (1975, 2002 e 2007). Esse fato ficou mais evidente em 2007, quando se observou a concentração de pequenos remanescentes mais a norte da sub-bacia, enquanto os maiores se aglomeraram ao sudoeste (Figura 3).

O maior fragmento florestal mapeado em 2007 apresentava área estimada em 246 ha. De 1975 a 2002, o mesmo fragmento passou de 97 ha para 252 ha, aproximadamente. O acréscimo significativo de 155 ha, em 12 anos, foi, provavelmente, em decorrência da ligação de fragmentos vizinhos, proporcionada pelo processo de regeneração. Nascimento et al. (2006), em trabalho realizado em 2002, encontraram um fragmento florestal com tamanho semelhante e, por considerarem-no importante para o equilíbrio ambiental do local, recomendaram a criação de uma área de proteção ambiental (APA).

EVOLUÇÃO TEMPORAL

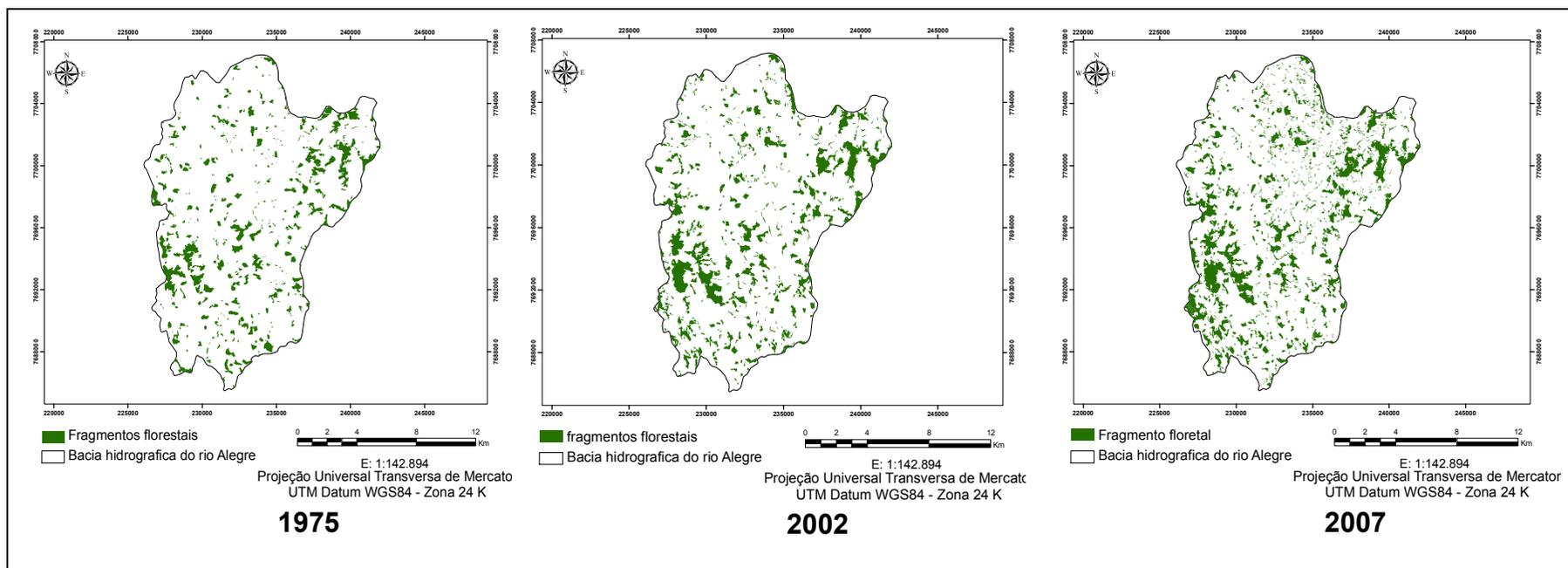


Figura 3. Espacialização dos fragmentos florestais presentes na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, referentes aos anos de 1975, 2002 e 2007.

3.2. QUANTIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA PAISAGEM

A análise da quantificação em relação à área de contribuição dos fragmentos florestais demonstrou que o número de fragmentos foi inversamente proporcional à área de contribuição, conforme apresentado na Figura 4.

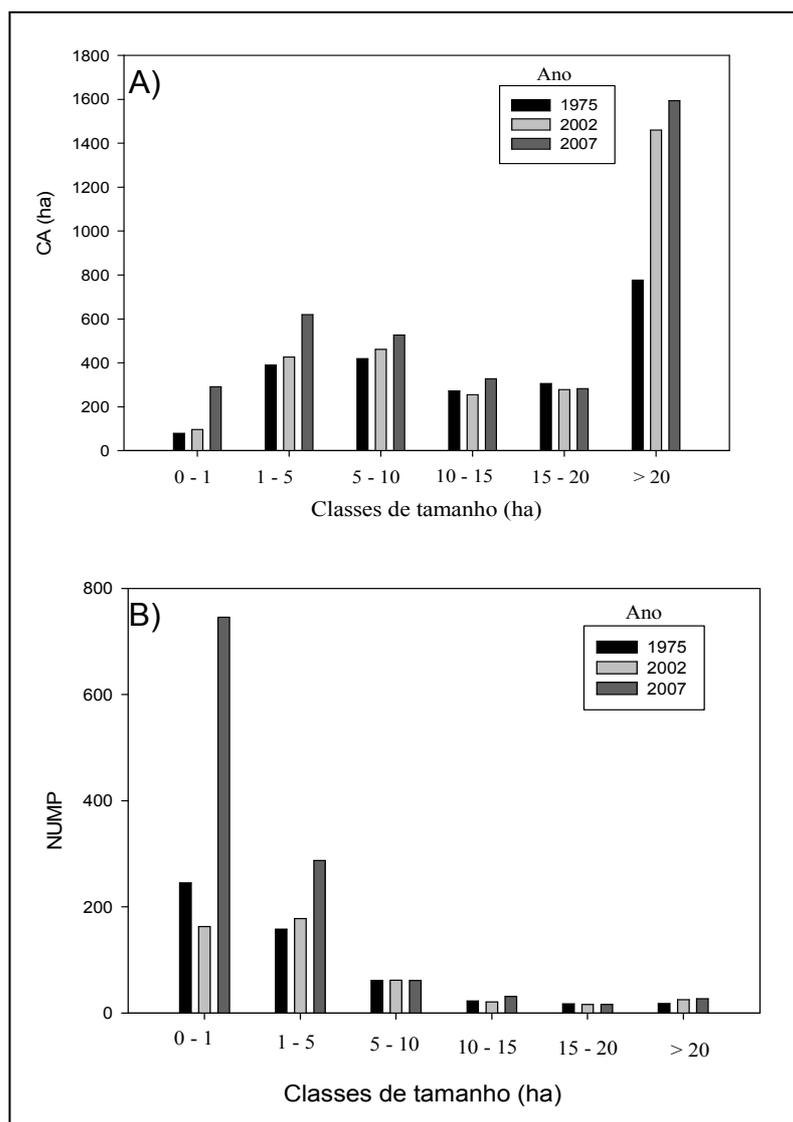


Figura 4. Índice de área (CA) e número (NUMP) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

A maior parte dos fragmentos florestais, nos três períodos estudados, foi composta pelos fragmentos com áreas inferiores a 1 ha, acompanhados dos fragmentos de 1 a 5 ha. Juntos representaram, em termos numéricos, cerca de 77,2%, em 1975; 73,5%, em 2002 e 88,5%, em 2007. Apesar de representarem a maioria dos fragmentos na área de estudo, a soma da área das duas classes de tamanho não superou os 20,9% da área total em 1975, 17,5% em 2002 e 25,2% em 2007 (Figuras 4 A e 4 B).

O número elevado de pequenos fragmentos representa uma ameaça para a conservação da biodiversidade na área de estudo, visto que, para o período mais atual, aproximadamente 88% da cobertura vegetal da sub-bacia pode estar integrando área composta por hábitat sob o efeito de borda.

A predominância da ocupação dos pequenos fragmentos é o reflexo do manejo da paisagem na sub-bacia hidrográfica em que, por conter pequenas propriedades rurais, o uso da terra se restringe às necessidades dos pequenos produtores. As melhores áreas para o plantio, de acordo com Cemin, Périco e Rempel (2009), geralmente não ocorrem próximas uma das outras. Isso implica na forma de distribuição espacial da cobertura florestal, caracterizando uma formação de ilhas de fragmentos florestais no mosaico da paisagem.

É preocupante a presença desses fragmentos, de pequeno tamanho, para as populações de plantas e animais. Em algumas espécies, existem indivíduos que prevalecem em habitats específicos e outros que se reproduzem entre parentes, devido ao isolamento dos remanescentes florestais. Esses comportamentos justificam um percentual considerável de extinção das espécies locais e de endogamia (COSTA, 2003). Por outro lado, os pequenos remanescentes podem funcionar como *steppin stones* (pontos de ligação ou trampolins ecológicos), pois, dependendo da sua disposição na matriz, eles possibilitam o fluxo de espécies entre fragmentos (ALMEIDA; MORO, 2007). A proximidade dos pequenos fragmentos com núcleos de biodiversidade e um manejo que visa o aumento de área favorecem a expansão e o cumprimento das funções desses fragmentos na paisagem (CALEGARI et al., 2010).

Em relação aos fragmentos maiores que 20 ha, a soma das áreas teve uma contribuição na área total de 34,6%, em 1975; 49,0%, em 2002 e 44,1%, em 2007. Para a mesma classe de tamanho, o percentual foi de 3,4%, em

1975; 5,4%, em 2002 e 2,3%, em 2007 (Figuras 4 A e 4B). Em síntese, os fragmentos maiores que 20 ha, embora em menor número, apresentaram áreas significativas e foram os responsáveis pela maior parte da cobertura florestal na paisagem, durante os anos estudados.

Do ponto de vista ecológico, comparando a variável área e número, estudos como o realizado por Santos et al. (2007) corroboram a idéia de que a área é uma indicadora fundamental para avaliar a qualidade do hábitat e a riqueza de espécies em fragmentos florestais. Os maiores remanescentes funcionam como núcleo de biodiversidade e garantem os processos ecológicos. Já o número de fragmentos representa os aspectos dos padrões da paisagem e o grau de fragmentação de uma determinada área (CALEGARI et al., 2010).

Verificou-se que o índice de tamanho médio (MPS) oscilou para os fragmentos de 5 a 10 ha (Figura 5), fato justificado pela oscilação no número dos fragmentos dessa classe e o aumento na área (Figuras 4 A e 4 B). Isso indica que a variação no número de fragmentos influenciou diretamente o comportamento do MPS dessa classe (Figura 4 B). Neste caso, o aumento de área e a variação no número dos fragmentos podem indicar tanto o surgimento de novos fragmentos florestais como, também, o incremento no tamanho, o que é mais interessante para a sustentabilidade da paisagem florestal.

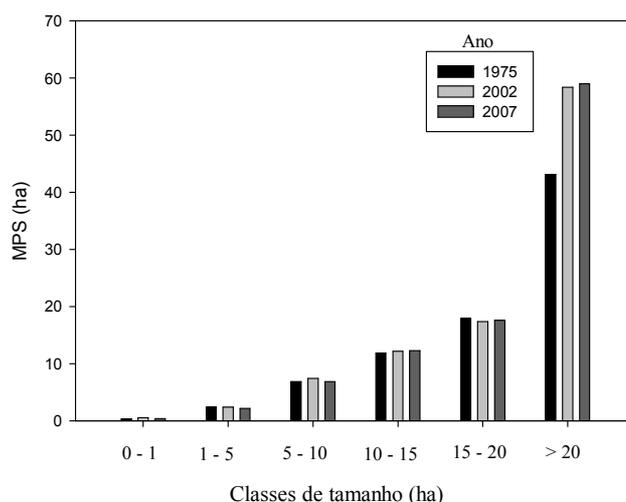


Figura 5. Índice de tamanho médio (MPS) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Em relação aos fragmentos maiores que 20 ha, o MPS aumentou de 43,15 ha (em 1975) para 59,03 ha (em 2007), acompanhado do acréscimo de 11,85 ha (em 1975) para 12,30 ha (em 2007), para os fragmentos da classe de tamanho de 10 a 15 ha (Figura 6). Esse comportamento justifica-se pelo acréscimo de área para ambas as classes e o número constante de fragmentos florestais (Figuras 4 A e 4 B). Em contrapartida, Greggio, Pissara e Rodrigues (2009) se depararam com um fato contrário. A redução de área da mata no município de Jaboticabal (SP), estudada no decorrer de 29 anos (1971 a 2001), ocorreu em virtude da diminuição da área e a manutenção no número dos fragmentos.

Os índices de borda (total de bordas e densidade de borda) realçam como o processo de fragmentação florestal vem se intensificando durante os anos, com o aumento de pequenos fragmentos na evolução temporal (Figuras 6 e 7).

As classes de tamanho dos fragmentos de área inferior a 1 ha e entre 1 a 5 ha apresentaram os maiores perímetros ao longo dos três períodos estudados: aproximadamente 61.493 e 126.902 m (em 1975), 72.016 e 179.523 m (em 2002) e 274.221 e 273.816 m (em 2007) (Figura 6). Em seguida, vem a classe dos fragmentos maiores que 20 ha. O aumento estimado de 122.012 m no total do perímetro, durante 32 anos (1975 a 2007), pode ser explicado pelo aumento da área (Figura 5 A), já que o surgimento de novos fragmentos foi mínimo (Figura 4 B).

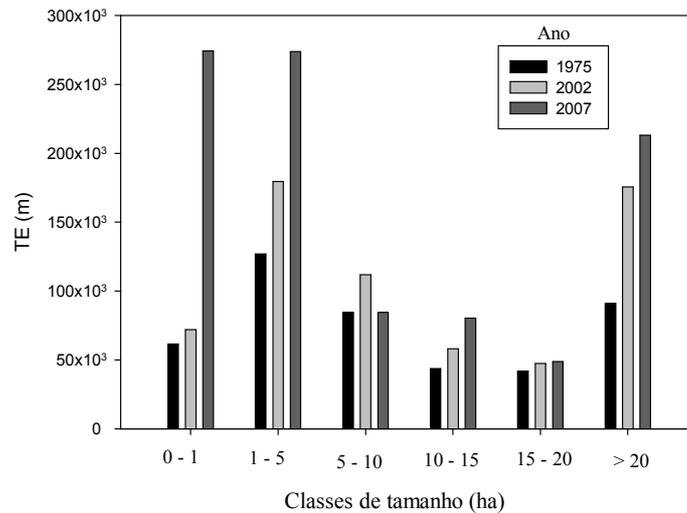


Figura 6. Índice total de bordas (TE) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Um aumento brusco no TE foi constatado nos fragmentos menores que 1 ha. Isso ocorreu do ano de 2002 (72.016,6 m) para 2007 (274.221,3 m) (Figura 6). Esse valor elevado no perímetro adveio da evolução no número desses fragmentos em 2007 (Figura 4 B). De acordo com Valente (2001), a presença de um grande número de pequenos fragmentos implica no declínio na população de espécies (animais e vegetais) que vivem exclusivamente em seu interior, acompanhando os efeitos na redução do hábitat e no tamanho dos remanescentes florestais.

Em relação ao índice de densidade de borda (ED), os fragmentos menores que 1 ha apontaram os maiores valores (Figura 7). Em 1975, apresentou 778,1 m/ha, chegando a 944,3 m/ha, em 2007. Pirovani (2010), ao estudar os fragmentos florestais da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES, ressaltou que os fragmentos menores que 5 ha, considerados pequenos, apresentaram maiores valores de ED (523,24 m) do que as demais classes. Tal fato foi atribuído à ocorrência de um grande número de fragmentos florestais desta classe e ao baixo valor de área. Todavia, nos fragmentos maiores que 20 ha, os valores de ED foram mais baixos em relação às outras classes e não ultrapassaram os 133,6 m/ha em 2007 (Figura 7).

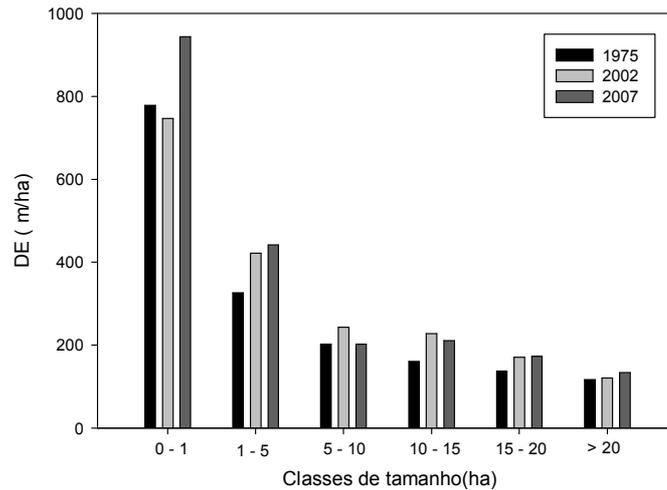


Figura 7. Índice de densidade de borda (DE) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Dos resultados expostos, evidenciou-se que os fragmentos maiores que 20 ha estão menos vulneráveis aos efeitos de borda. Os padrões espaciais da classe indicaram o grau de conservação e integridade dos fragmentos florestais. Entretanto, os fragmentos menores que 1 ha apresentaram alta proporção de borda/área, estando mais susceptíveis aos efeitos de borda. Segundo Ranta et al. (1998), a intensidade desse efeito é inversamente proporcional ao tamanho do fragmento e influencia diretamente os processos ecológicos.

Assim, como é importante conhecer o número e densidade de borda, a forma dos fragmentos também é necessária para avaliar a estrutura e o nível de perturbação nos remanescentes florestais. De acordo com Nascimento et al. (2006), a análise da forma dos fragmentos torna-se relevante na medida em que se evidencia a possibilidade de indicar o grau de proteção no interior do remanescente.

Em nível de comparação para a paisagem, deve-se adotar um formato padrão. Nesse sentido, o formato adotado é de um círculo, quando o arquivo é vetorial e quadrado, para *raster* ou matricial. Assim, quanto mais o formato do fragmento se desviar do padrão redondo, maior será o índice de forma (LANG; BLASCHKE, 2009).

A partir dos valores de índice de forma média (MSI), evidenciou-se que os fragmentos menores que 1 ha e os de 1 ha a 5 ha foram os que apresentaram formas mais simples, se comparados aos maiores que 20 ha. Observou-se que os fragmentos até 5 ha, apresentaram baixa tendência de tornarem-se irregulares, o que é evidenciado pela pequena variação (0,35) para a classe até 1 ha e para a classe de 1 a 5 ha (0,41), durante os 32 anos analisados (Figura 8).

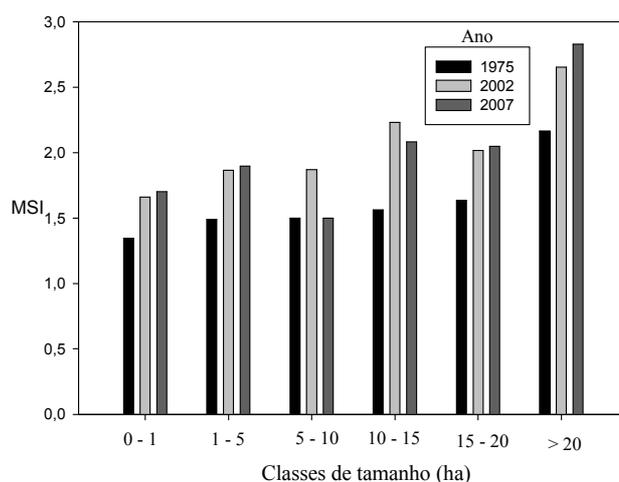


Figura 8. Índice de forma média (MSI) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Em termos de conservação, a reduzida área desses fragmentos interfere negativamente nos processos ecológicos. Isso ocorre com menor intensidade nos fragmentos maiores que 20 ha, uma vez que, mesmo não possuindo uma forma ideal (simples) para os parâmetros de conservação, conseguem manter uma sustentabilidade e integridade em seu interior. Neste contexto, dependendo da forma, quanto maior a área do fragmento, maior será a área de interior, o que reduz o efeito de borda. Segundo Forman (1995), essa situação, geralmente, acontece em fragmentos de formato circular, pois tal formato minimiza a relação borda-área. Neste caso, o centro fica mais distante da borda, o que não ocorre nos fragmentos de forma alongada.

Quanto ao índice de forma média ponderada (AWMSI) pela área, a classe maior que 20 ha concentrou os valores mais altos (entre 2 a 4) em

relação às demais classes (Figura 9). Isso ocorreu justamente pelo aumento do tamanho médio, que representa um fator determinante para a manutenção das espécies que vivem nesse habitat (Figura 5). Essa relação entre o AWMSI e o tamanho ocorreu em função do estabelecimento de pesos de acordo com o tamanho dos fragmentos (MCGARIGAL; MARKS, 1995). As demais classes mantiveram valores estáveis no decorrer dos anos, exceto as classes de 5 a 10 ha e de 10 a 15 ha, que oscilaram (Figura 9).

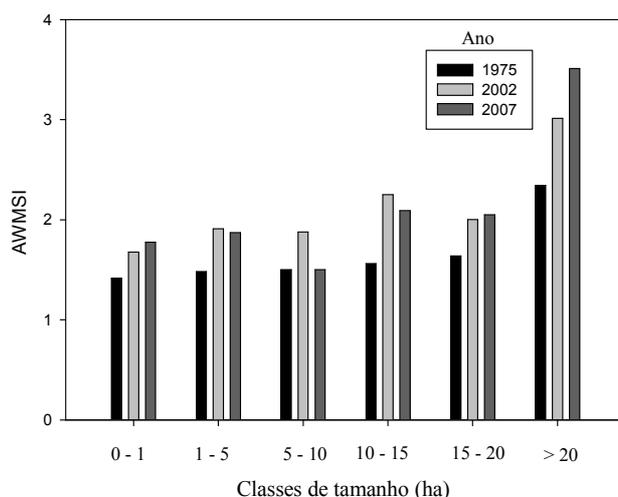


Figura 9. Índices de forma média ponderada (AWMSI) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Apesar do aumento de área dos maiores fragmentos, a forma complexa ainda compromete a integridade dos mesmos. Em razão disso, são necessárias medidas que visem à melhoria na forma desses fragmentos. Segundo Cabacinha, Castro e Gonçalves (2010), a recomposição da vegetação no entorno dos fragmentos promove a formação de áreas circulares, como também o aumento das áreas centrais. Com a concretização dessa proposta, esses fragmentos tornam-se verdadeiros núcleos de conservação para região, uma vez que há uma tendência de incremento de área, evidenciado pelo aumento de 9,5 há, no decorrer de 32 anos.

O isolamento entre os fragmentos, geralmente, é determinado pela distribuição espacial na paisagem e pelos tipos de elementos que separam ou conectam os remanescentes florestais (SCARIOT et al., 2003).

Neste contexto, o grau de isolamento expresso pela distância média do vizinho mais próximo (MNN) apresentou as menores distâncias e uma oscilação nos valores de MNN nos fragmentos menores que 1 ha. Tal fato foi ocasionado pelo aumento no número de fragmentos, principalmente entre 2002 e 2007, e a conseqüente aglutinação (Figura 10). Uma tendência de redução nos valores de MNN ao longo dos anos foi evidenciada entre os fragmentos das classes de 1 ha a 5 ha e maiores que 20 ha. Isso significa que a proximidade, principalmente entre os fragmentos maiores que 20 ha, torna-se favorável, se incrementada com ações voltadas para o aumento de tamanho dos pontos de ligação (fragmentos pequenos), para promover a conectividade física entre os remanescentes, formando corredores ecológicos.

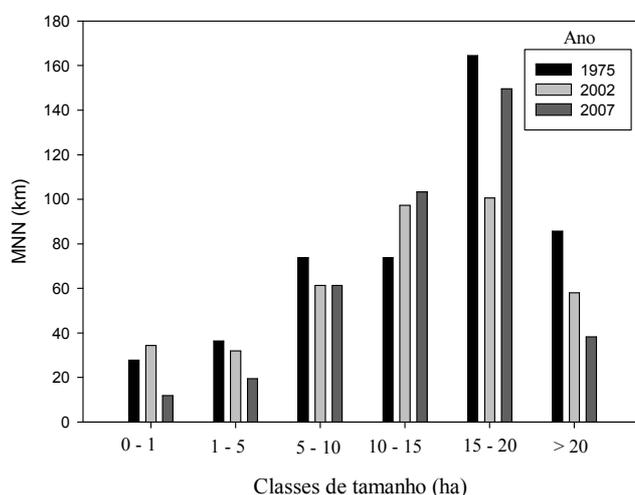


Figura 10. Índice de distância média do vizinho mais próximo (MNN) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Entre os fragmentos da classe 15 a 20 ha, a oscilação foi mais expressiva e alcançou os maiores valores de MNN, com aproximadamente 160 km em 1975, 100 km em 2002 e 150 km em 2007. O manejo de fragmentos com alto grau de isolamento é complexo, uma vez que as interações, tanto da flora como da fauna, são dificultadas, o que compromete a variedade de vida na região. O reflexo do isolamento pode variar de acordo com cada espécie. Awade e Metzger (2008) apresentaram o exemplo de algumas espécies de

aves que vivem em sub-bosque e que evitam cruzar em áreas abertas com distâncias superiores a 40 m.

O aumento na distância entre os fragmentos da classe de 15 a 20 ha pode ter sido ocasionado pela presença de barreiras físicas. Nessa situação, os fragmentos ficam distribuídos entre construções rurais, estradas e culturas agrícolas. Nascimento et. al (2006) afirmam que a matriz em que se inserem o fragmento e o seu tipo de vizinhança implica tanto em sérios distúrbios ambientais, como também os deixa vulneráveis aos efeitos de borda.

Com o aumento dos efeitos de borda no decorrer do tempo, tem-se a redução proporcional da área central que, em curto, médio ou longo período de tempo, implicará na depreciação da qualidade da estrutura dos remanescentes florestais (VALENTE, 2001). Assim, as métricas de área nuclear ou central indicam quanto há realmente de área efetiva de um fragmento, após a retirada do efeito de borda (VIDOLIN; BIONDI; WANDEMBRUCK, 2011).

Como, na literatura, não existem informações conclusivas sobre a profundidade de borda ideal para cada enfoque de estudo, pesquisadores utilizam mais de uma distância para analisar o efeito de borda (ALMEIDA, 2008).

No caso deste estudo, considerou-se efeito de borda hipotético de 20, 40 e 60 m. A presença da malha viária na matriz em que os fragmentos estão inseridos foi decisiva na escolha das faixas de distância.

A partir do índice de área central (CAI), evidenciou-se que, com um efeito de borda de 20 m, os fragmentos de 5 a 10 ha e até os maiores que 20 ha apresentaram mais de 50% de área de interior. Quando a distância de borda aumentou para 40 m, apenas as classes de 15 a 20 ha e maior que 20 ha evidenciaram mais que 50% de área central. A partir da distância de 60 m da borda, os fragmentos menores que 1 ha encontram-se sob total efeito de borda e não se identificou nenhuma classe que apresentasse pelo menos 50% de área nuclear (Figuras 11 B, 12 B e 13 B).

É importante considerar distâncias maiores da extremidade (borda) até o centro dos fragmentos, em razão da maior proteção das espécies de interior em relação às ameaças externas (PIRES, 1995). As alterações causadas nas áreas consideradas de borda certamente não são permanentes, pois, com o

tempo, ocorre o crescimento da vegetação nessa região (PÉRICO; CEMIN, 2006; CEMIN; PÉRICO; REMPEL, 2009).

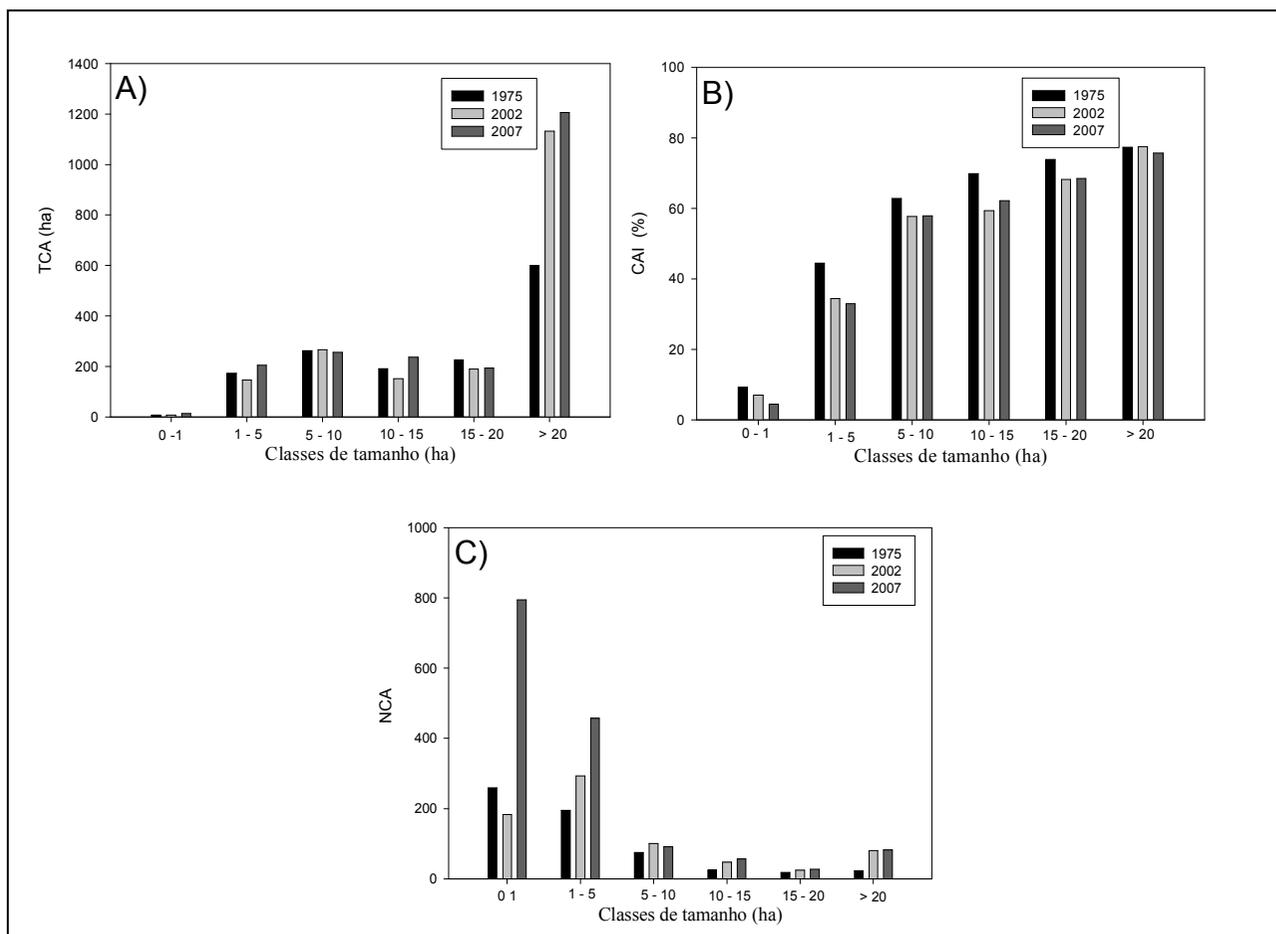


Figura 11. Índice total de áreas centrais (TCA), índice de área central (CAI) e número de áreas centrais (NCA) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, sob efeito de borda de 20 m, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

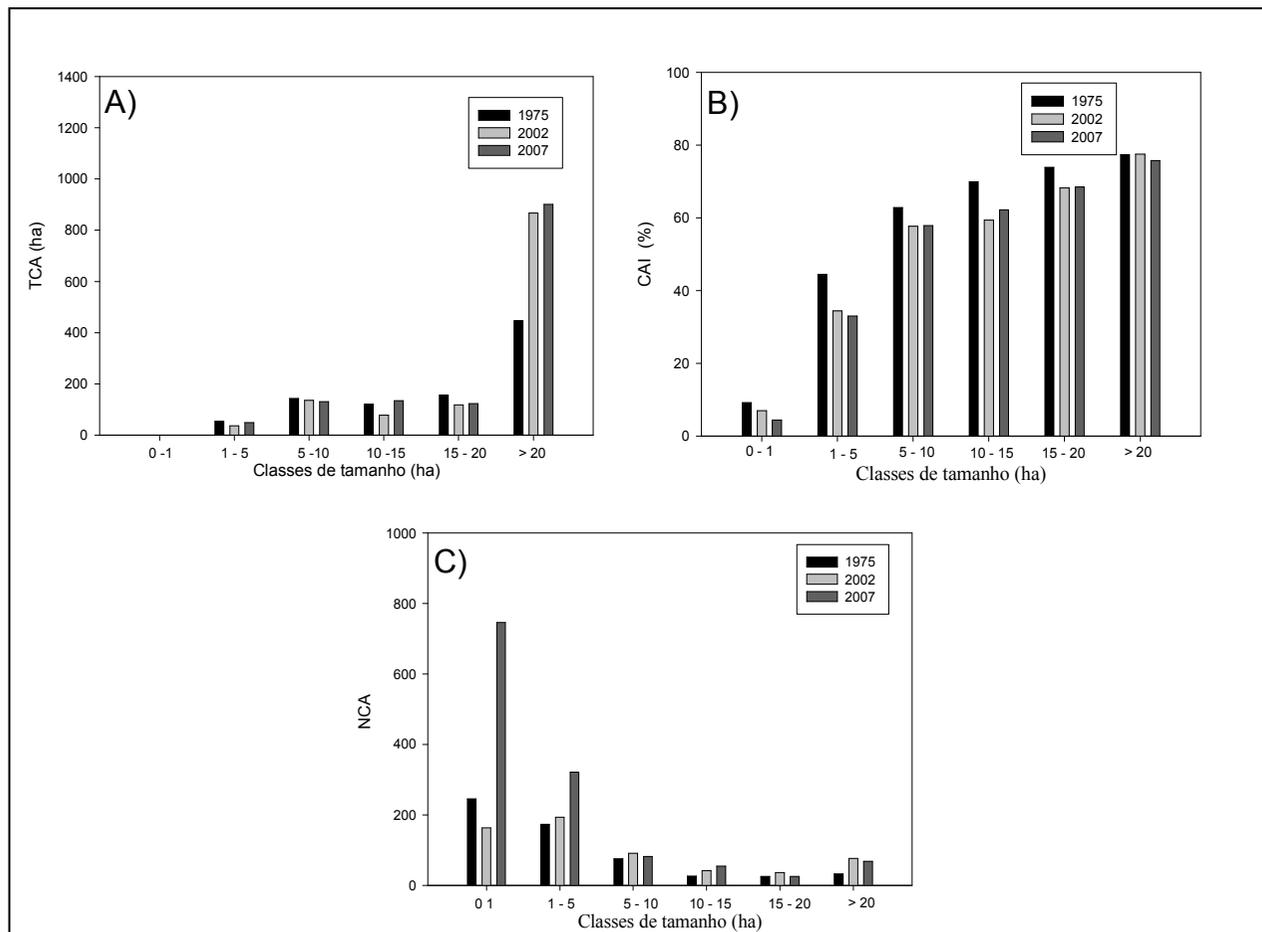


Figura 12. Índice total de áreas centrais (TCA), índice de área central (CAI) e número de áreas centrais (NCA) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, sob efeito de borda de 40 m, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

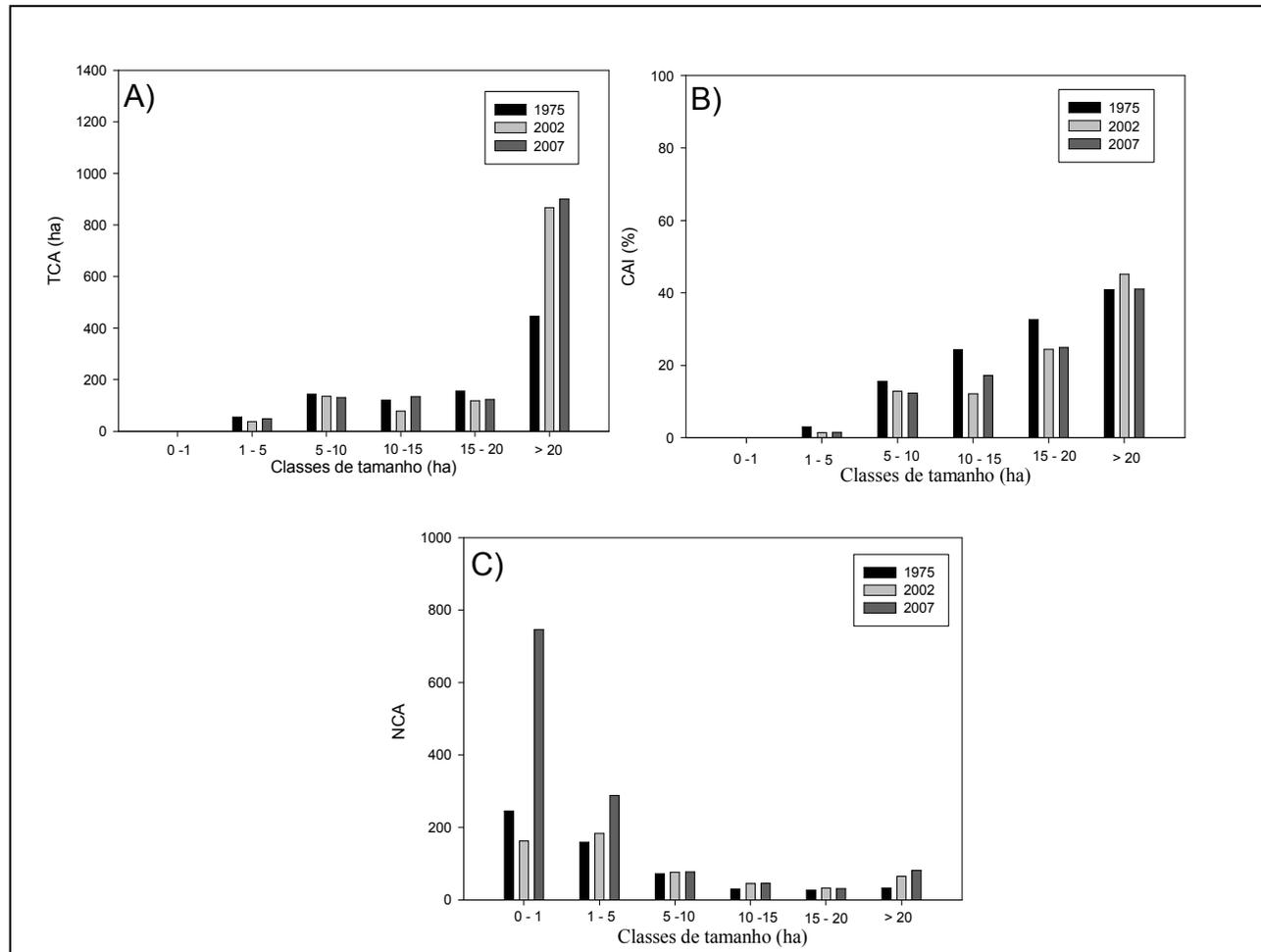


Figura 13. Índice total de áreas centrais (TCA), índice de área central (CAI) e número de áreas centrais (NCA) dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES, sob efeito de borda de 60 m, contemplando os períodos de 1975, 2002 e 2007.

Considerando um efeito de borda de 20 m, os valores relativos ao total de área central (TCA) demonstraram que a classe >20 ha apresentou um aumento expressivo, quando comparado com as outras classes. Isto correspondeu a 77% (em 1975) e 75% (em 2007) de áreas centrais, no decorrer dos anos, possivelmente justificado pelo aumento no número de áreas centrais (NCA), que passou de 21, em 1975, para 82, em 2007 (Figura 11). Nestas ocasiões, geralmente, quanto maior a área total do fragmento, maior a sua área central. De acordo com Calegari et al. (2010), se ocorre um alto índice de forma, fragmentos de mesmo tamanho podem apresentar grande diferença de área nuclear, que é o caso deste estudo.

Dos fragmentos menores que 1 ha, mesmo com a menor distância de borda estudada, essa classe obteve uma reduzida área central, com valores de 9%, 7% e 4,5 %, de sua área total, em 1975, 2002 e 2007 respectivamente (Figura 11 B). Isso indica que de 91% a 95% da área dessa classe esteve sob efeito de borda, durante os 32 anos analisados. Mesmo assim, o valor de TCA quase dobrou, tendo aumentado de 7 ha (ano de 1975) para 13 ha (ano de 2007), aproximadamente, devido ao aumento do NCA (Figuras 11 A e 11 C).

Com a simulação da distância de 40 m, os fragmentos de área inferior a 1 ha apresentaram valores de métricas de área central muito baixos. Os valores de CAI decaíram de 0,06%, no ano de 1975, para 0,03%, no ano de 2007 (Figura 12 B). Isso equivale a um total de área central de 0,05 ha, em 1975 e 0,09 ha, em 2007, representados por 245 áreas centrais em 1975 e 746 em 2007 (Figuras 12 A e 12 C). A redução do CAI comprova que o aumento do TCA dessa classe incidiu exclusivamente pelo acréscimo do NCA, como ocorrido no estudo de Périco e Cemin (2006), na cidade de Arvorezinha, RS.

Nas classes de 1 a 5 ha e de 10 a 15 ha, os valores de NCA dobraram durante o período de 1975 a 2007, o que correspondeu à perdas de, aproximadamente, 6% (classe de 1 ha a 5 ha) e 9% (classe de 10 ha a 15 ha) de áreas centrais, durante os 32 anos (Figuras 12 C e 12 B). Em relação às demais classes, o comportamento foi aparentemente semelhante, quando considerado o efeito de borda de 20 m.

Diante dessas observações, evidenciou-se que os fragmentos com área inferior a 1 ha, os de 1 a 5 ha e os de 10 a 15 ha não têm potencial para

conservação da biodiversidade da região. Verificou-se que a integridade desses fragmentos encontra-se comprometida. A área efetiva (área central) dos fragmentos reduziu significativamente devido aos efeitos de bordas analisados. Diante disso, infere-se que praticamente toda a área desses fragmentos está sob constantes ameaças de fatores externos.

Para todas as classes de tamanho, o aumento da distância de 20 m para 40 m representou uma redução gradativa em relação aos índices de área central (TCA e CAI), durante os anos.

Com a distância de 60 m, os menores fragmentos (<1ha) não apresentaram área central. Isso indica que a área desses fragmentos é correspondente à borda, estando totalmente sujeito as alterações da matriz (Figuras 13 A e 13 B). Do mesmo modo, Ranta et al (1998) observaram que, com o aumento para 60 m de distância da borda, os menores fragmentos da Mata Atlântica, em Pernambuco, passaram a não ter área nuclear.

Os valores de TCA e CAI para a classe de tamanho de 1 a 5 ha reduziu drasticamente, quando comparados com as simulações de distâncias de bordas anteriores (Figura 13 B e C). Porém, quando se observa o NCA, nota-se que os resultados correspondem a valores iguais ou superiores ao número de fragmentos (Figura 4 B). Geralmente, esse fato está associado à forma dos fragmentos que, quando apresentam formatos irregulares, possivelmente têm mais de uma área central.

Com base nos resultados expostos, entende-se que não são pertinentes estudos com borda de 60 m na área de estudo. Como na sub-bacia predominam pequenos fragmentos, essa faixa de distância eliminaria todos eles. Entende-se que apesar de esses fragmentos não possuírem nenhum potencial para conservação, ainda cumprem funções relevantes para as interações ecológicas.

Assim, a distância de borda de 40 m pode ser recomendada para outros trabalhos, já que, dentro desta faixa, ainda permanecem fragmentos com metade da área protegida de fatores externos. Essa faixa de borda suporta fragmentos que futuramente poderão ser remanescentes com potencial para conservação se forem manejados para o aumento de tamanho.

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que o estudo foi conduzido, as análises dos resultados permitiram apresentar as seguintes conclusões:

4.1 a área total da cobertura florestal da sub-bacia hidrográfica do rio Alegre aumentou 7% durante o intervalo de tempo analisado (1975 a 2007);

4.2 os fragmentos florestais, em sua maioria, foram representados pelas classes de tamanho de área de até 5 ha;

4.3 a área de contribuição dos fragmentos foi baixa, enquanto o número foi elevado;

4.4 ocorreram alta relação de borda/área e aumento da intensidade dos efeitos de borda, entre os fragmentos com área inferior a 1 ha;

4.5 na paisagem, a predominância de fragmentos de forma geométrica simples ocorreu entre os menores fragmentos até 5 ha;

4.6 no geral, os fragmentos florestais ainda se encontram isolados entre si;

4.7 somente na classe dos maiores fragmentos (>20 ha) a proximidade aumentou;

4.8 ocorreu o aumento de área de borda e baixa área efetiva dos remanescentes florestais, das classes de tamanho até 15 ha, quando aumentou a distância de borda de 20 para 40 m;

4.9 a distância de borda de 40 m é recomendada para futuros trabalhos, cujo principal objetivo seja avaliar remanescente com potencial para produção de sementes e mudas para a implantação de práticas conservacionistas na sub-bacia estudada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

ALMEIDA, C. G.; MORO, R. S. Análise da cobertura florestal no Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná, como subsídio ao seu plano de manejo. **Terra Plural**, Ponta Grossa, v.1, n.1, p.115-122, 2007.

AWADE, M.; METZGER, J. P. Importance of functional connectivity to evaluate the effect of habitat fragmentation for three Atlantic rainforests birds. **Austral Ecology**, n. 33, p. 863-871, 2008.

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul.** 2010.166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CABACINHA, C. D; CASTRO, S. S; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. **Floresta**, Curitiba, v.40, n. 4, p. 675-690, 2010.

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

CEMIN, G; PERICO, E; REMPEL, C. Composição e configuração da paisagem da sub-bacia do Arroio Jacaré, Vale do Taquari, RS, com ênfase nas áreas de florestas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.4, p.705-711, 2009.

COSTA, R. B. **Fragmentação florestal e alternativa de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste.** Campo Grande: UCDB, 2003. 246 p.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: The ecology of landscapes and region.** New York: Cambridge Press, 1995. 632 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica:** período 2008-2010. São Paulo, 2011. 122 p.

GREGGIO, T.C.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M. Avaliação dos fragmentos florestais do município de Jaboticabal - SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.1, p.117-124, 2009.

LANG, S. BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG.** Tradução: Hermann Kux, São Paulo : Oficina de textos, 2009. 424 p.

MCGARIGAL, K; MARKS, B.J. **FRAGSTATS:** spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure – versão 2.0. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Station, 1994.134 p.

- MCGARIGAL, K; MARKS, B.J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. For Science Department Oregon State University .Covarrilis Oregon , 1995. 56 p.
- NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P; RIBEIRO, C. A. A. S; SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.389-398, 2006.
- PAIVA, Y. G.; SILVA, K. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, A. Q; CECILIO, R. A. Delimitação de Sítios florestais e análise dos fragmentos pertencentes na Bacia do Rio Itapemirim. **Idésia**, Chile, v.28, n.1, p.17-22, 2010.
- PÉRICO, E.; CEMIN, G. Caracterização da paisagem do município de Arvorezinha, RS, com ênfase na dinâmica dos fragmentos florestais, por meio de sistemas de informações geográfica (SIGs). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 9 – 21, 2006.
- PIRES, J. S. R. **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural: abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antonio – SP**. 1995. 232f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.
- PIROVANI, D. B. **Fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES**. 2010. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.
- RANTA, P.; BLOM, T.; NIEMELA, J.; JOENSUU, E.; SIITONEN, M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, Holanda, v. 7, p. 385-403, 1998.
- SANTOS, R. M; VIEIRA, F. A; FAGUNDES, M; NUNES, Y. R. F; GUSMÃO, E. Riqueza e similaridade florística de oito remanescentes florestais no Norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.1, p.135-144, 2007.
- SCARIOT, A.; FREITAS, S.R.; MARIANO NETO, E.; NASCIMENTO, M. T.; OLIVEIRA, L. C. ; SANAIOTTI, T. ; SEVILHA, A. C.; VILLELA, D. Vegetação e Flora. In: RAMBALDI, D.; OLIVEIRA, D. A. S. (Org.). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas e efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2003, p. 103-123.
- VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP**. 2001. 144f. Dissertação (Mestrado em Recursos florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, USP, 2001.
- VIDOLIN, G.P.; BIONDI, D.; WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com araucária, Paraná, Brasil. **Revista Arvoré**, Viçosa, v. 35, n.3, p.515 – 525, 2011.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 1, a aplicação de índices de vegetação permitiu representar a dinâmica da vegetação numa análise temporal entre 1987 e 2010, na sub-bacia hidrográfica do rio Alegre, ES. O processo de regeneração determinou a sucessão ecológica na região, com o aumento da cobertura florestal.

O acréscimo na vegetação florestal foi direcionado na zona rural, no entanto, o processo de fragmentação ainda predomina na região. Nesse sentido, propriedades rurais sem reserva legal podem adotar os sistemas agroflorestais para promover ilhas de vegetação interligando fragmentos e diversificando a renda familiar;

No capítulo 2, as análises realizadas por meio das métricas da paisagem permitiram evidenciar o nível de fragmentação dos remanescentes florestais da sub-bacia estudada.

Diante do exposto, compreende-se que, para promover a reabilitação da vegetação nativa, o manejo da paisagem florestal deve visar à redução no grau de isolamento, o aumento de tamanho dos pequenos fragmentos e à melhoria na forma. A recomposição da vegetação, de forma natural ou artificial e a redução dos agentes de degradação, quando possível, são ações primordiais para a concretização de tais propostas;

Como, na região, existe a predominância de pequenos fragmentos, deve-se priorizar a ligação entre eles para a formação de núcleos de biodiversidade (fragmentos maiores), garantido a redução dos efeitos dos fatores adjacentes a matriz.

Para alcançar os propósitos expostos acima, as ações voltadas para a proximidade e a conectividade entre esses fragmentos podem utilizar os instrumentos legais. A recomposição de áreas destinadas à preservação ambiental, como regiões de mata ciliar, pode promover a formação de corredores ecológicos, como também o retorno do fluxo gênico de espécies de animais.

ANEXO

Fórmulas das métricas definidas pelo aplicativo computacional *Patch analyst* versão 4.0

Área Total	Tamanho médio
$CA = \sum_{i=1}^n c_i$ <p>CA = soma das áreas de todas as manchas de determinada classe em hectare (ha); c_i = área da i-ésima mancha correspondente a classe.</p>	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$ <p>MPS = tamanho médio dos fragmentos em ha; a_{ij} = área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos; n_i = número de fragmentos da classe.</p>
Número de manchas	Total de borda
$NUMP = \sum n_i$ <p>NUMP = número total de manchas ou fragmentos dentro de uma mesma classe; n_i = quantidade de manchas a nível de classe.</p>	$TE = \sum_{i=1}^n e_i$ <p>TE = soma de todas as bordas da classe; e_i = borda (perímetro) da i-ésimas mancha.</p>
Densidade de borda	Forma média
$ED = \frac{TE}{TLA}$ <p>ED = densidade de borda em ha; TE = total de bordas; TLA = áreas total da paisagem.</p>	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{0,25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{n_i}$ <p>MSI = Índice de forma média; p_{ij} = perímetro do fragmento ij; a_{ij} = área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos; e n_i = número de fragmento na classe.</p>
Forma média ponderada	Distância média do vizinho mais próximo
$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0,25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \times \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$ <p>AWMSI = Índice de forma média ponderada pela área; p_{ij} = perímetro do fragmento ij; a_{ij} = área do fragmento i na classe j; j = 1 a n número de fragmentos.</p>	$MNN = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n'_i}$ <p>MNN = distância media do vizinho mais próximo em quilômetros; h_{ij} = distância (km) mínima do fragmento ij ao vizinho mais próximo de mesma classe; n'_i = número de fragmentos da classe i na paisagem, que tenham vizinho próximo.</p>
Total de áreas centrais	Índice de área central
$TCA = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c$ <p>TCA = total de área central; a_{ij}^c = área (m²) do núcleo da mancha ij com um valor de <i>buffer</i> especificado em (m).</p>	$TCAI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^e}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \times 100$ <p>TCAI = índice área central total em percentagem; a_{ij}^e = área interior do fragmento ij; j = 1 a n número de fragmentos.</p>
Número de áreas centrais	
$NCA = \sum_{j=1}^n n_{ij}^e$ <p>NCA = número de fragmentos com área central; n_{ij}^e = número de áreas interiores do fragmento; j = 1 a n número de fragmentos.</p>	