



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação



**Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem do
Parque Estadual das Nascentes do rio Taquari-MS**

ROBERTO MACEDO GAMARRA

Campo Grande-MS

2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**

**Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem do
Parque Estadual das Nascentes do rio Taquari-MS**

ROBERTO MACEDO GAMARRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ecologia e Conservação, área de concentração Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Campo Grande-MS

2013

Gamarra, Roberto Macedo

Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem do Parque Estadual das Nascentes do rio Taquari-MS. Campo Grande, MS. 112p.

Orientador: Antonio Conceição Paranhos Filho

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Palavras chave: Ecologia da paisagem, geotecnologias, fitofisionomias, fragmentação, índice de vegetação.

BANCA EXAMINADORA DE TESE

Prof. Dr. ALFREDO MARCELO GRIGIO
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte - UERN

Prof. Dr. LUIZ EDUARDO MANTOVANI
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Prof. Dr. MARCO ANTONIO DIODATO
Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA

Prof. Dr. VENERANDO EUSTÁQUIO AMARO
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dr. VITOR MATHEUS BACANI
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois em muitos momentos achei que não conseguiria concluir o doutorado e nesses momentos me apoiei na fé.

Tenho muito a agradecer a minha amada esposa Mara Cristina Teixeira Gamarra, que praticamente me “carregou” quando foi preciso, ajudando nos trabalhos de campo, na confecção dos gráficos, na correção dos manuscritos e principalmente me ajudando a manter a “sanidade” nos momentos de desespero.

Agradeço também a minha família, meu pai Roberto Alves Gamarra, minha mãe Jennie Macedo Gamarra, minha irmã Janaina Macedo Gamarra, meu irmão caçula Ronnie Macedo Gamarra e meu sobrinho João Henrique Macedo Gamarra que sempre me apoiaram em todos os sentidos.

O que dizer do meu orientador e amigo Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho? Estamos nessa caminhada há mais de 10 anos, desde a primeira iniciação científica, monografia de graduação, mestrado e agora o doutorado. Sempre fez muito mais que o dever de orientador, protegeu quando foi preciso, mas também exigiu ao máximo quando era necessário.

À banca examinadora de tese, Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio (Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN), Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani (Universidade Federal do Paraná – UFPR), Prof. Dr. Marco Antonio Diodato (Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA), Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro (Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN) e Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani (Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS) pela disponibilidade, compromisso e preciosas contribuições ao trabalho.

Agradeço aos amigos do Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais, em especial ao Engenheiro Ambiental Alisson André Ribeiro, pelas dicas nos programas SIG e ao futuro Médico Veterinário Vinícius Santana da Silva Moraes, pela tradução dos resumos para o inglês.

À FUNDECT pelo apoio financeiro nos projetos de pesquisa nº 0081/08 e nº 0241/08 que fazem parte desta tese e pela bolsa de doutorado nº 057/10. Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação pela oportunidade, disciplinas oferecidas e apoio financeiro e também à CAPES pela bolsa de doutorado.

À SEMAC/IMASUL/GUC pela concessão da autorização ambiental para pesquisa em unidades de conservação nº 006/2008, à Martha Gilka Gutiérrez Carrijo (SEMAC/IMASUL de Costa Rica), seu Vanderlei e Professor Wilson (Prefeitura Municipal de Costa Rica) por todo apoio nos trabalhos de campo.

Agradeço também a Camila Aoki pela ajuda nas análises estatísticas e a todos os demais amigos que me ajudaram, mas que por descuido não tenham sido citados aqui.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
CAPÍTULO 1: ESTRUTURA DA PAISAGEM DO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1. Área de estudo.....	13
3.2. Materiais utilizados.....	14
3.3. Coleta de dados em campo	15
3.4. Cobertura do solo.....	16
3.5. Análise da fragmentação da paisagem.....	16
3.5.1. Métrica da paisagem: Índice de Circularidade (IC).....	17
3.6. Relação entre fitofisionomias, índice de vegetação e cobertura vegetal	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Relevo	19
4.2. Classes Espectrais de cobertura do solo.....	20
4.3. Cobertura do solo.....	28
4.4. Área ocupada pelos remanescentes.....	30
4.5. Tamanho dos fragmentos	31
4.6. Forma dos fragmentos	33
4.7. Relação entre fitofisionomias, índice de vegetação e cobertura vegetal	35
5. CONCLUSÕES.....	36
6. AGRADECIMENTOS.....	37
7. LITERATURA CITADA.....	37
CAPÍTULO 2: DINÂMICA DA COBERTURA DO SOLO DO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS	43
1. INTRODUÇÃO	44
2. OBJETIVOS	46
2.1. Objetivos específicos	46
3. MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1. Área de estudo.....	46
3.2. Materiais utilizados.....	48
3.3. Coleta de dados em campo	48
3.4. Cobertura do solo: classificação das imagens.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5. CONCLUSÕES.....	59
6. AGRADECIMENTOS.....	59
7. LITERATURA CITADA.....	60
CAPÍTULO 3: DINÂMICA DA FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS	65
1. INTRODUÇÃO	66
2. OBJETIVOS	67
2.1. Objetivos específicos	67

3. MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1. Área de estudo.....	67
3.2. Materiais utilizados.....	69
3.3. Coleta de dados em campo	70
3.4. Cobertura do solo: classificação das imagens.....	71
3.5. Análise da fragmentação da paisagem.....	71
3.5.1. Métrica da paisagem: Índice de Circularidade (IC).....	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1. Área ocupada pelos remanescentes.....	73
4.2. Grau de fragmentação	78
4.3. Tamanho dos fragmentos.....	79
4.4. Forma dos fragmentos	81
5. CONCLUSÕES.....	83
6. AGRADECIMENTOS.....	84
7. LITERATURA CITADA.....	84

CAPÍTULO 4: DINÂMICA DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS.....

1. INTRODUÇÃO	91
2. OBJETIVOS	92
2.1. Objetivos específicos	92
3. MATERIAIS E MÉTODOS	93
3.1. Área de estudo.....	93
3.2. Materiais utilizados.....	94
3.3. Coleta de dados em campo	95
3.4. Estrutura da vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	96
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
5. CONCLUSÕES.....	106
6. AGRADECIMENTOS.....	106
7. LITERATURA CITADA.....	107

APRESENTAÇÃO

A presente tese foi organizada em quatro capítulos independentes que, no entanto, abordam o mesmo tema, o uso da ecologia da paisagem e geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari-MS (PENRT). O PENRT é um dos últimos grandes remanescentes protegidos do Cerrado que conserva nascentes de um importante rio do Pantanal. Objetivamos aqui avaliar a efetividade da proteção conferida pela criação dessa importante unidade de conservação, utilizando diferentes conceitos e ferramentas e detalhando as técnicas para que possam ser utilizadas em estudos semelhantes.

O primeiro capítulo trata da estrutura da paisagem do Parque utilizando uma imagem do satélite LANDSAT 5 do ano de 2010. Nesse capítulo são abordados os temas cobertura do solo (focado nas fitofisionomias), análise da fragmentação da paisagem e o uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na distinção das diferentes fitofisionomias do PENRT.

Os outros três capítulos tratam da dinâmica da paisagem do PENRT entre os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2010 (26 anos) detalhando diferentes abordagens, também utilizando imagens do satélite LANDSAT 5. O capítulo 2 detalha a dinâmica da paisagem focada na cobertura do solo, priorizando a evolução das diferentes fitofisionomias ao longo do tempo. O capítulo 3 aborda a dinâmica da fragmentação da vegetação com o uso de métricas da paisagem, descrevendo a evolução do tamanho e forma dos fragmentos durante o período analisado. Já o capítulo 4 relaciona o NDVI com variáveis da estrutura da vegetação e descreve a dinâmica da complexidade e heterogeneidade do habitat durante os 26 anos analisados.

Apesar de termos quatro capítulos independentes, eles abordam um tema em comum, assim, algumas partes do texto podem se tornar repetitivas, mas foram mantidas para conservar a independência dos capítulos.

CAPÍTULO 1: ESTRUTURA DA PAISAGEM DO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS

Roberto Macedo Gamarra¹

Antonio Conceição Paranhos Filho²

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC)

²Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET)

Cidade Universitária, s/n - Caixa Postal 549. CEP 79070-900. Campo Grande-MS, Brasil. Tel.: (67) 3345-7495. Fax: (67) 3345-7450.

E-mail: ¹rmgamarra@gmail.com; ²antonio.paranhos@pq.cnpq.br

RESUMO: Uma das características fundamentais da ecologia da paisagem é o estudo da estrutura da paisagem, que consiste nas relações espaciais entre os distintos elementos presentes, mais especificamente, relacionar as dimensões, formas, número, tipo e configuração dos diferentes elementos da paisagem com a distribuição de matéria, energia e espécies. As geotecnologias são as ferramentas ideais para estudos que envolvem a análise da paisagem. Assim, o objetivo do presente trabalho é analisar a estrutura da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, descrevendo os elementos espaciais que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, utilizando geotecnologias. A análise em conjunto do relevo/geomorfologia, fitofisionomias, área ocupada pelos remanescentes de vegetação nativa, grau de fragmentação, do tamanho e da forma dos fragmentos, a relação do NDVI com a estrutura da vegetação, ou seja, dos parâmetros que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, mostraram-se ferramentas eficientes e fornecem subsídios para o melhor manejo desta unidade de conservação, ajudando-a na sua sustentabilidade e na manutenção da biodiversidade local.

PALAVRAS CHAVE: Ecologia da paisagem; Geotecnologias; Fitofisionomias; Fragmentação; Estrutura da vegetação; NDVI.

ABSTRACT: One of the fundamental characteristics of landscape ecology is the study of landscape structure, which consists in the spatial relationships between the distinct elements, specifically, relating dimensions, shapes, number and configuration of landscape elements with the distribution of matter, energy and species. Geotechnologies are the ideal tools for studies that involve landscape analysis. The aim of this study is analyzing the landscape structure of a formal conservation unit, the Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, describing the spatial elements that determine the existing ecological processes and its importance in biological conservation, using geotechnologies. The joint analysis of relief/geomorphology, phytophysionomies, vegetation remnants occupied areas, fragmentation degree, size and shape of fragments, the relationship between NDVI and vegetation structure, in other words, the parameters for the existing ecological processes and their importance in biological conservation, proved to be efficient tools and provide subsidies for the best management of this conservation unit, helping the sustainability and maintenance of local biodiversity.

KEY WORDS: Landscape Ecology; Geotechnology; Phytophysionomies; Fragmentation; Vegetation structure; NDVI.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é um dos biomas brasileiros mais modificados pelo homem, extensas áreas têm sido substituídas por pastagens, campos de agricultura ou por monoculturas florestais exóticas. Isto gera um mosaico de fragmentos de vegetação de diferentes tamanhos e grau de conservação (SILVANO *et al.*, 2005). É um dos locais mais ameaçados do planeta (MITTERMEIER *et al.*, 1998; MYERS *et al.*, 2000).

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado Sentido Restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo). Em sentido fisionômico, floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo. O termo savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. Já o termo campo designa áreas com predomínio de espécies herbáceo-arbustivas, com cobertura arbórea ausente ou sem destaque (RIBEIRO & WALTER, 1998).

A fragmentação de habitats e a conversão da cobertura do solo para fins agrícolas são ameaças constantes para a conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado. Estas paisagens dominadas por atividades agrícolas tornaram-se mosaicos dinâmicos, que são formados por diferentes usos da terra (CARVALHO *et al.*, 2009). MACHADO *et al.* (2004) estimam que o bioma Cerrado deverá ser totalmente destruído no ano de 2030 se as atuais taxas de perda de habitat se manterem.

Nesse contexto, os conceitos da Ecologia da Paisagem aliados às ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para o entendimento e planejamento para resolução de problemas ambientais.

A ecologia da paisagem visa estudar a estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos, concentrando-se nessas três características fundamentais da paisagem (FORMAN & GODRON, 1986; TURNER, 1987). A paisagem é resultante de processos geomorfológicos/geológicos e dos padrões de colonização dos organismos em diferentes escalas temporais, resultando em uma paisagem terrestre formada por diferentes tipos de relevo, vegetação e uso do solo que formam um agrupamento único de ecossistemas em interação (FORMAN & GODRON,

1986). O padrão de manchas gerado por esses processos atuando em diferentes escalas temporais e espaciais representa a assinatura de uma paisagem (URBAN *et al.*, 1987).

As geotecnologias representam um dos campos que mais crescem no mundo. Existe uma demanda mundial por profissionais que integrem dados ambientais e imagens de satélite (GEWIN, 2004; PARANHOS FILHO *et al.*, 2008), demonstrando a importância da utilização desse tipo de ferramenta em análises ambientais. De acordo com ROUGHGARDEN *et al.* (1991) as geotecnologias fornecem à ecologia, dados em larga escala e permitem uma visão de conjunto sobre a estrutura espacial da paisagem.

A relação entre a intensidade da radiação eletromagnética com o comprimento de onda é chamada de curva de resposta espectral. Uma única feição ou um grupo de feições (padrão ou textura) característico desta curva é chamado assinatura espectral, que permite a individualização do objeto (GUPTA, 1991).

É comum o uso de índices espectrais de sensoriamento remoto no estudo da cobertura vegetal. Estes índices são obtidos com operações entre bandas, mais especificamente entre o vermelho e o infravermelho próximo. A assinatura espectral de áreas vegetadas se caracteriza pela baixa reflectância do visível e, portanto, do vermelho e intensa reflectância na faixa do infravermelho próximo, assim apresentam um índice alto. Em contraste, nuvens, água e neve têm uma reflectância maior no visível do que no infravermelho próximo, atingindo valores negativos. Afloramentos rochosos e solos expostos apresentam resposta similar nas duas bandas e o resultado para o índice é próximo de zero (LILLESAND *et al.*, 2004).

2. OBJETIVOS

Analisar a estrutura da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, descrevendo os elementos espaciais que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), além de sua importância para o bioma Cerrado, abriga nascentes deste importante rio para o Pantanal. Está localizado na região Centro Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso de Sul, entre as coordenadas 17°59' a 18°15' S e 53°10' a 53°26' W. O PENRT foi criado através do Decreto Estadual nº 9.622 de 09 de outubro de 1999 (MATO GROSSO DO SUL, 1999), com área de 30.618,96 hectares, abrangendo 26.849,62 hectares no Município de Alcinópolis-MS e 3.769,34 hectares em Costa Rica-MS (Figura 1). É uma das áreas núcleo do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari (CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL, 2003), ou seja, um dos remanescentes ambientalmente mais importantes no Cerrado.

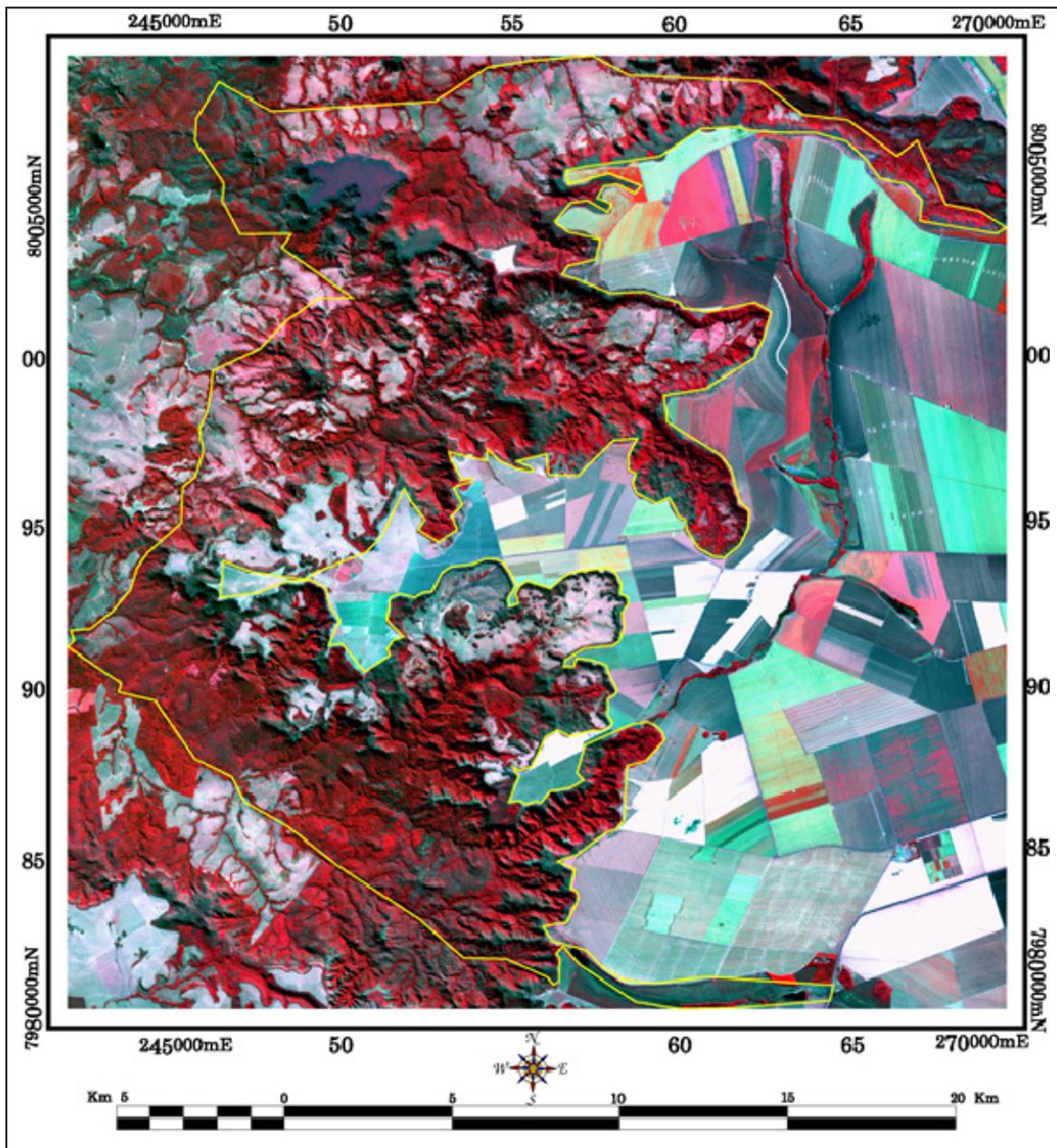


Figura 1. Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT). Fonte: Imagem do satélite ALOS sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m de 04 de julho de 2010. Composição falsa cor RGB 432. Limite do PENRT em amarelo. No lado esquerdo da imagem, as áreas em vermelho intenso significam vegetação densa. O padrão geométrico do lado direito da imagem mostra áreas agrícolas, que circundam o Parque.

3.2. Materiais utilizados

Na realização do trabalho foi utilizada uma cena do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 224/073, com 30 m de resolução espacial, de 26 de julho de 2010 (INPE, 2010). Como material de apoio foram utilizadas ainda duas cenas ortorretificadas do satélite ALOS (*Advanced*

Land Observing Satellite), uma do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com 10 m de resolução espacial, de 04 de julho de 2010 (GLOBALGEO, 2010 a) e outra do sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com 2,5 m de resolução espacial, de 19 de agosto de 2010 (GLOBALGEO, 2010 b). Também foi utilizado um Modelo Digital de Elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (MIRANDA, 2005), que descreve com detalhes a área do PENRT.

A cena do satélite LANDSAT 5 foi georreferenciada com erro inferior a 1 pixel, utilizando como base de referência as cenas do satélite ALOS (UTM, fuso 22, WGS84). Essa cena foi recortada utilizando o vetor do limite oficial do PENRT (em formato *shapefile*) obtido no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA) do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) (SISLA, 2008).

Os programas utilizados foram o Geomatica 9.1 (PCI, 2003) para o georreferenciamento e recorte das imagens de satélite e integração de todos os dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o Ecognition 2.0 (DEFINIENS, 2002) para classificação orientada a objetos e o Global Mapper 11.02 (GLOBAL MAPPER, 2010) para manipulação do modelo digital de elevação.

3.3. Coleta de dados em campo

Foram realizadas três etapas de trabalho de campo, em janeiro de 2009, agosto de 2010 e em dezembro de 2010, no intuito de identificar os tipos de cobertura do solo (incluindo as fitofisionomias descritas por RIBEIRO & WALTER, 1998) e fazer o reconhecimento dos fragmentos de vegetação para relacioná-los com as imagens de satélite da área de estudo, utilizando máquina fotográfica digital e receptor GPS de navegação (*Global Positioning System*).

Também foram coletados dados de estrutura da vegetação como cobertura por espécies lenhosas (árvores e arbustos) utilizando densiômetro esférico das fitofisionomias Mata seca e ciliar, Cerradão e Cerrado sentido restrito. Foram amostrados 4 fragmentos de cada fitofisionomia (Mata - 3 fragmentos de mata seca e um de mata ciliar; Cerradão - 4 fragmentos de Cerradão e Cerrado - 4 fragmentos de cerrado sentido restrito) com caminhadas aleatórias onde foram realizadas 10 medidas a

pelo menos 10 m de distância uma da outra em cada ponto, totalizando 12 fragmentos amostrados.

Durante o levantamento do histórico da área, os moradores e a gerente do Parque foram entrevistados sobre as mudanças ocorridas na cobertura do solo da área de estudo. Levantamentos bibliográficos também auxiliaram nessa atividade.

3.4. Cobertura do solo

A análise da imagem se baseou na identificação e interpretação, em campo, das diferentes classes de cobertura do solo e dos fragmentos de vegetação nativa. Foi estabelecida a relação entre as fitofisionomias e as respostas espectrais das imagens LANDSAT TM e ALOS AVNIR-2, sendo produzidas figuras com a descrição de cada classe de cobertura do solo, recortes das imagens de satélite e fotografias obtidas nos trabalhos de campo relacionando as assinaturas espectrais dessas duas imagens com a realidade de campo para cada classe espectral de cobertura do solo encontrada no PENRT.

Para geração da carta de cobertura do solo da área de estudo, foi realizada a classificação orientada a objetos no recorte da imagem do satélite LANDSAT 5 do ano de 2010, utilizando o programa Ecognition 2.0 (DEFINIENS, 2002), de acordo com o método utilizado em GAMARRA (2008). Foram utilizadas quatro classes de cobertura do solo, incluindo as fitofisionomias descritas na chave de RIBEIRO & WALTER (1998) e agrupando diferentes classes espectrais de cobertura do solo descritas em PARANHOS FILHO *et al.* (2006), que faz a relação entre fitofisionomias do Cerrado e imagens do satélite LANDSAT para o Cerrado.

3.5. Análise da fragmentação da paisagem

O grau de fragmentação da cobertura vegetal (avaliado através do número de fragmentos existentes no PENRT) e o índice de circularidade (IC) foram calculados a partir dos fragmentos de vegetação arbórea, ou seja, foram utilizadas nesse cálculo somente as classes espectrais de cobertura do solo que possuem árvores (fitofisionomias de Mata ciliar, Mata de galeria, Mata seca, Cerradão e Cerrado sentido restrito), pois este índice é geralmente utilizado em fragmentos florestais, mas visto que o Cerrado é

um bioma com vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, foram incluídos os fragmentos de fitofisionomias que possuem árvores.

A partir dos vetores gerados na classificação orientada a objetos do recorte da imagem da área de estudo (com atributos de área e perímetro dos polígonos) foi criado um banco de dados SIG.

O primeiro passo foi dissolver os polígonos adjacentes das classes que possuem árvores, desse modo os polígonos passaram a representar os fragmentos de vegetação.

Vale ressaltar que os fragmentos com área inferior a 1 ha foram descartados pois estão sujeitos a distorção de área e perímetro no momento da geração dos vetores a partir de imagens do satélite LANDSAT 5 (*pixel* de 30 x 30m).

3.5.1. Métrica da paisagem: Índice de Circularidade (IC)

O Índice de Circularidade (IC) de cada fragmento foi obtido por meio da equação:

$$IC = (2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}) / P \quad (\text{equação 1})$$

onde,

IC = índice de circularidade;

S = área do fragmento (em metros quadrados);

P = perímetro do fragmento (em metros).

A classificação dos fragmentos quanto à forma foi realizada a partir dos valores de IC, que permitem identificar se os fragmentos possuem tendências de formas alongadas ou circulares. Os valores de IC igual a 1 indicam fragmentos com tendência circular e, à medida que esse valor se torna menor, o fragmento apresenta-se com tendência mais alongada (NASCIMENTO *et al.*, 2006).

Assim, no presente trabalho, fragmentos que apresentaram valores de $IC < 0,4$ foram classificados como muito irregulares, com IC entre 0,4 e 0,65 como irregulares e com $IC > 0,65$ como regulares.

3.6. Relação entre fitofisionomias, índice de vegetação e cobertura vegetal

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação, como fitomassa/densidade da vegetação e seu valor

é normalizado para o intervalo de -1 a +1 (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007), sendo que o valor zero se refere aos pixels não vegetados. Esses valores representam uma medida indireta da fitomassa, indicando valores de matéria e energia presente na área amostrada.

O NDVI é calculado pela seguinte relação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (\text{equação 2})$$

onde,

NIR: Reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

R: Reflectância da vegetação na banda do vermelho.

Para o cálculo do NDVI primeiramente foi feita a correção atmosférica da imagem LANDSAT 5 do ano de 2010 através do algoritmo *ATCOR2* e após a correção atmosférica foi gerado o NDVI através da execução do *raster calculator* utilizando o programa Geomatica 9.1 (PCI, 2003).

Nos mesmos fragmentos onde foram coletadas as variáveis de estrutura da vegetação foram coletadas suas coordenadas. A partir dessas coordenadas foram criados *buffers* de 100 m que serviram de limite para o recorte da imagem NDVI. Os valores do NDVI desses recortes foram analisados em conjunto com as variáveis de estrutura da vegetação.

Para saber se o NDVI e a cobertura vegetal refletem significativamente a diferença entre as três fitofisionomias, Mata, Cerradão e Cerrado sentido restrito, foi feita uma ANOVA (teste *F*) de um fator (fitofisionomia) em conjunto com o teste de *Tukey* (*Q*) utilizando os valores médios do NDVI e da cobertura vegetal dos quatro fragmentos de cada fitofisionomia amostrada, através do programa BioEstat 5.0 (AYRES *et al.*, 2007), testando cada uma das variáveis separadamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Excelentes revisões sobre os aspectos conceituais, legais, históricos e culturais, caracterização física e biológica e regularização fundiária do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari são encontradas em CARRIJO (2005) e MATO GROSSO DO SUL (2009). Os aspectos aqui apresentados não são abordados em tais trabalhos.

4.1. Relevo

Foi utilizado um Modelo Digital de Elevação com dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (MIRANDA, 2005) (Figura 2), que descreve com detalhes o relevo do PENRT.

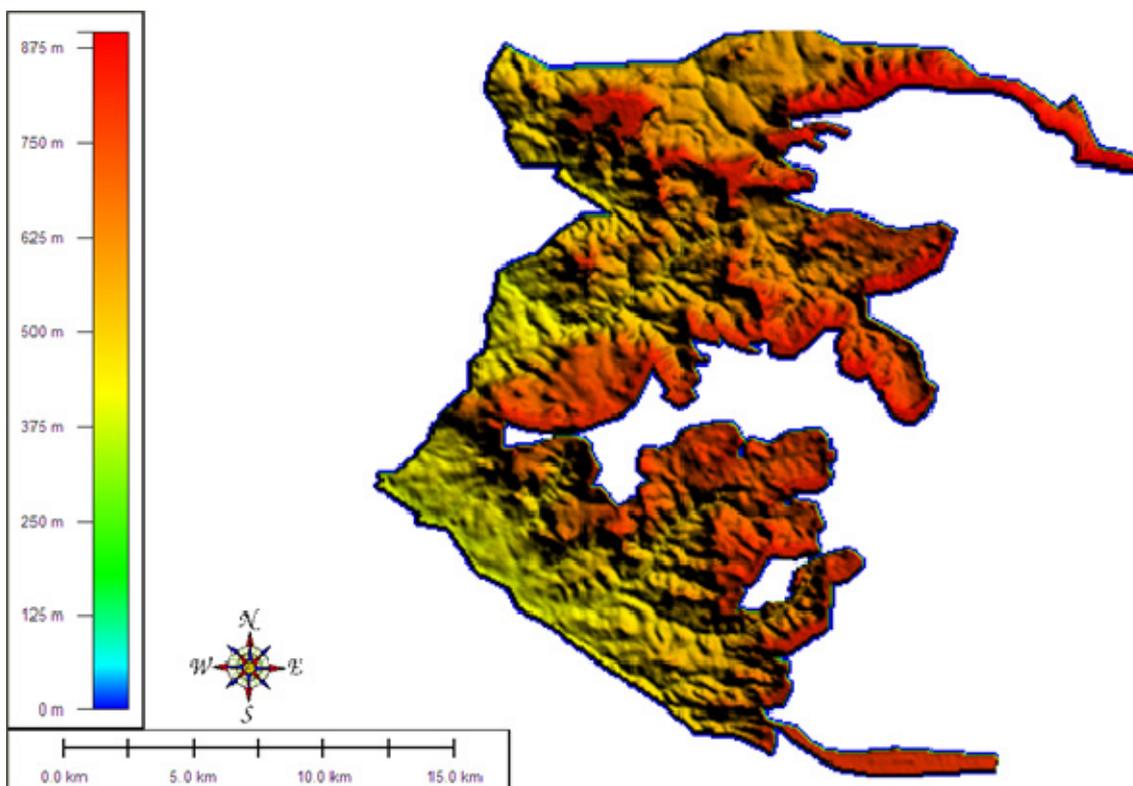


Figura 2. Modelo digital de elevação da área de estudo.

Através desse modelo tem-se uma noção que a área do PENRT é uma região de escarpa com relevo bastante acidentado, apresentando desníveis de até 300m em menos de 5 km, este relevo e sua geomorfologia (Figura 3) caracterizam o tipo de vegetação presente na unidade de conservação e ajuda a entender a distribuição dos fragmentos de vegetação. Além de explicar a escolha dos próprios limites da unidade de conservação, são áreas de difícil implantação da agricultura, onde as plantações de soja e algodão mecanizadas não conseguiram avançar, assim, o relevo também condiciona certo grau de proteção ao PENRT.

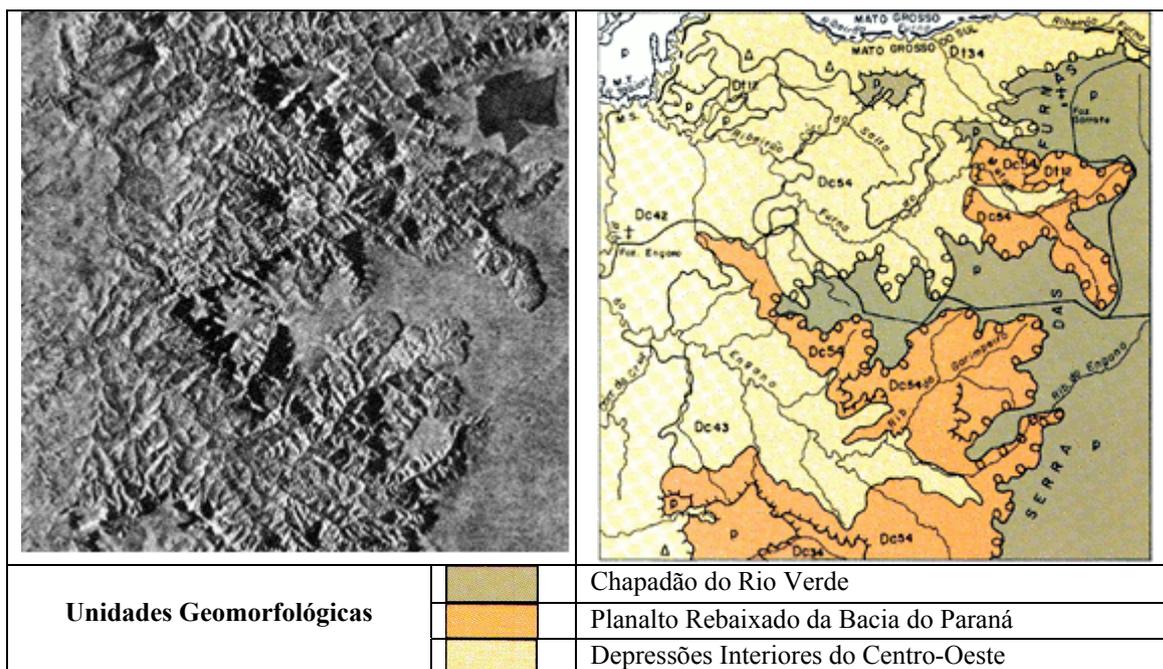


Figura 3. Imagem de radar (esquerda) e mapa geomorfológico (direita) da região do PENRT. Fonte: MATO GROSSO DO SUL (1990).

4.2. Classes Espectrais de cobertura do solo

Na área de estudo foram separados 4 tipos de cobertura do solo que foram utilizados como classes espectrais de referência (figuras 4 a 9), ou seja, classes que podem ser diferenciadas nas imagens LANDSAT e ALOS e que foram usadas para a classificação orientada a objetos da área de estudo, desse modo, estabelecendo a relação entre as respostas espectrais da referida imagem e os tipos de cobertura do solo:

- **Formação florestal:** Engloba as fitofisionomias Cerradão, Mata Seca, Mata Ciliar e Mata de Galeria;
- **Formação savânica:** Corresponde a fitofisionomia Cerrado Sentido Restrito;
- **Formação campestre:** Engloba as fitofisionomias Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre. Vale ressaltar que na classe formação campestre estão incluídos tanto campos nativos como pastagens e outras formações campestres exóticas/cultivadas;
- **Água/ Área úmida:** Corresponde a corpos aquosos como rios e lagos e áreas úmidas como brejos, veredas e banhados.

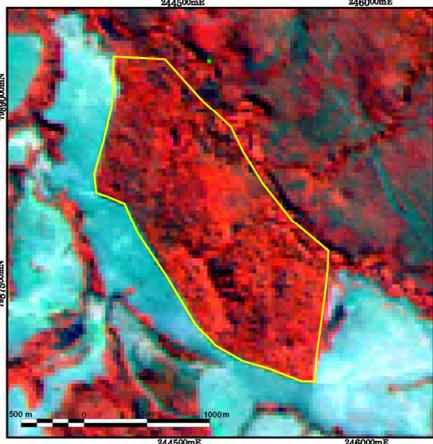
É importante destacar que foram incluídos na classe espectral de cobertura do solo Formação campestre os campos de Cambaúva ou cambauvais, que são campos

onde predominam uma espécie nativa de bambu (*Apoclada arenicola*), conhecida como Cambaúva que são encontradas predominantemente nas áreas de encostas do PENRT.

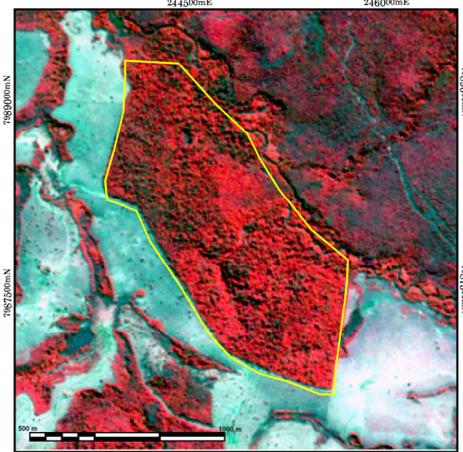
Observando-se as características de reflectância espectral da vegetação, solo e água, deve-se reconhecer que estes tipos amplos de feição, são normalmente separáveis espectralmente. No entanto, o grau de separação entre estes tipos é uma função da parte do espectro analisada. Respostas espectrais medidas por sensores remotos através de várias feições, frequentemente permitem uma avaliação do tipo e/ou da condição das feições, estas respostas têm sido muitas vezes apresentadas como assinaturas espectrais (LILLESAND *et al.*, 2004).

Formação florestal – Mata seca

Sob a designação Mata Seca estão incluídas as formações florestais caracterizadas por diversos níveis de caducifolia durante a estação seca, dependentes das condições químicas, físicas e principalmente da profundidade do solo (RIBEIRO & WALTER, 1998).



Mata seca destacada em amarelo na imagem LANDSAT 5-RGB 453, resolução espacial de 30 m.



Mata seca destacada em amarelo na imagem ALOS AVNIR-2-RGB 432, resolução espacial de 10 m.

A altura média do estrato arbóreo varia entre 15 e 25 metros. A grande maioria das árvores são eretas, com alguns indivíduos emergentes. Na época chuvosa as copas tocam-se fornecendo uma cobertura de dossel entre 70 a 95%. Na época seca a cobertura pode ser inferior a 50%, especialmente na Mata Decídua, onde predominam espécies caducifólias (RIBEIRO & WALTER, 1998).

Altura (m)

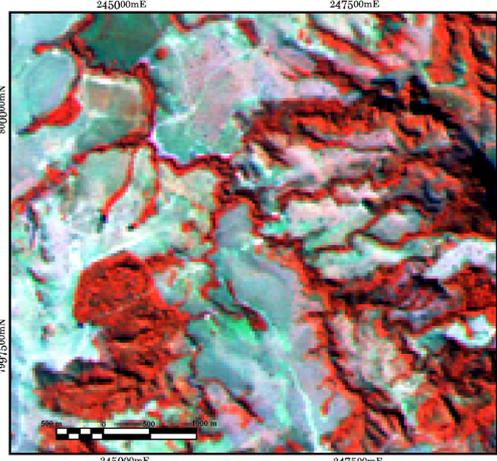


Imagem da borda de um fragmento de Mata seca com representação da altura. Reparar na pessoa usada como referência de escala.

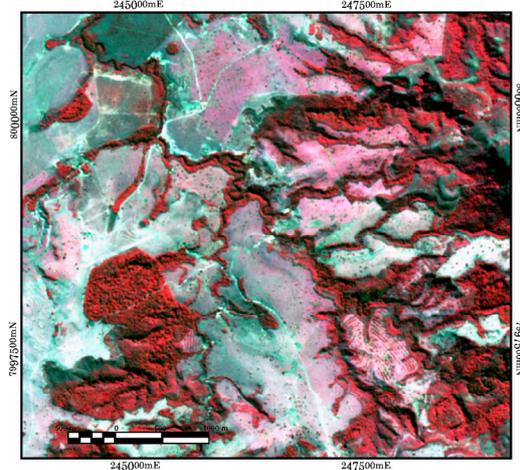
Figura 4. Classe espectral de cobertura do solo Formação florestal, representando a fitofisionomia Mata seca.

Formação florestal – Mata ciliar/Mata de Galeria

Por Mata Ciliar entende-se a vegetação florestal que acompanha os rios de médio e grande porte da região do Cerrado. Em geral essa Mata é relativamente estreita em ambas as margens, dificilmente ultrapassando 100 metros de largura em cada. É comum a largura em cada margem ser proporcional à do leito do rio, embora em áreas planas a largura possa ser maior. Porém, a Mata Ciliar ocorre geralmente sobre terrenos acidentados, podendo haver uma transição nem sempre evidente para outras fisionomias florestais como a Mata Seca e o Cerradão (RIBEIRO & WALTER, 1998).



Mata ciliar acompanhando a drenagem na imagem LANDSAT 5-RGB 453, resolução espacial de 30 m.



Mata ciliar acompanhando a drenagem na imagem ALOS AVNIR-2-RGB 432, resolução espacial de 10 m.

As árvores, predominantemente eretas, variam em altura de 20 a 25 metros, com alguns poucos indivíduos emergentes alcançando 30 metros ou mais. As espécies típicas são predominantemente caducifólias, com algumas sempre-verdes, conferindo à Mata Ciliar um aspecto semidecíduo. Ao longo do ano as árvores fornecem uma cobertura arbórea variável de 50 a 90%. Na estação chuvosa a cobertura chega a 90%, dificilmente ultrapassando este valor, ao passo que na estação seca pode até mesmo ser inferior a 50% em alguns trechos (RIBEIRO & WALTER, 1998).

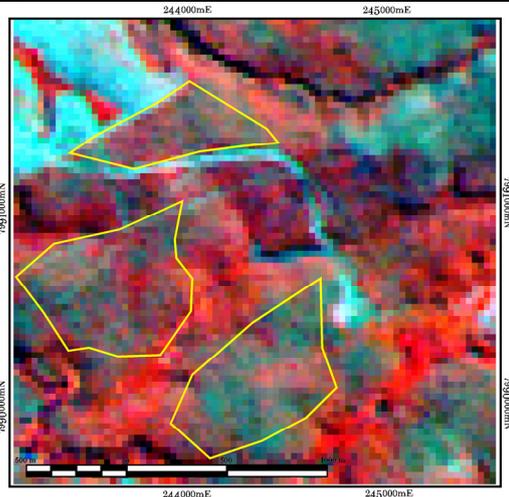


Imagem da borda de um fragmento de Mata Ciliar com representação da altura. Reparar na pessoa usada como referência de escala.

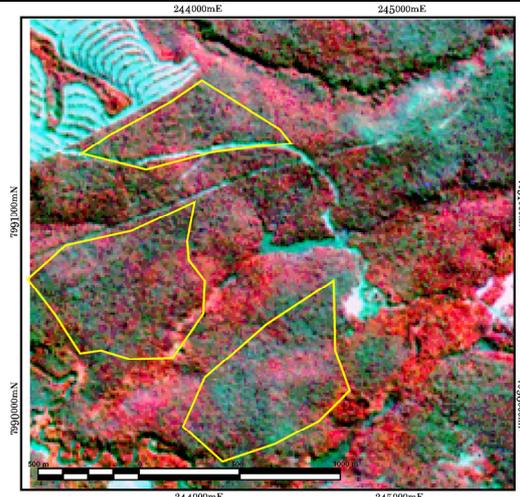
Figura 5. Classe espectral de cobertura do solo Formação florestal, representando a fitofisionomia Mata ciliar.

Formação florestal – Cerradão

O Cerradão é uma formação florestal com aspectos xeromórficos, tendo sido conhecido pelo nome "Floresta Xeromorfa" (RIZZINI, 1963). Para CAMPOS (1943) "o Cerradão é mata mais rala e fraca". Caracteriza-se pela presença de espécies de mata. Do ponto de vista fisionômico é uma floresta, mas floristicamente é mais similar a um Cerrado. De acordo com a fertilidade do solo o Cerradão pode ser classificado como Cerradão Distrófico (solos pobres) ou Cerradão Mesotrófico (solos mais ricos), cada qual possuindo espécies características adaptadas a esses ambientes (RATTER *et al.*, 1978; RIBEIRO *et al.*, 1982 e 1985; ARAÚJO & HARIDASAN, 1989; RIBEIRO & HARIDASSAN, 1990; OLIVEIRA FILHO & RATTER, 1995 *apud* RIBEIRO & WALTER, 1998).



Cerradão destacado em amarelo na imagem LANDSAT 5-RGB 453, resolução espacial de 30 m.



Cerradão destacado em amarelo na imagem ALOS AVNIR-2-RGB 432, resolução espacial de 10 m.

O Cerradão apresenta dossel predominantemente contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50 a 90%. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, proporcionando condições de luminosidade que favorecem à formação de estratos arbustivo e herbáceo diferenciados. Embora possa ser perenifólio, muitas espécies comuns ao Cerrado como *Caryocar brasiliense*, *Kielmeyera coriacea* e *Qualea grandiflora* apresentam caducifolia em determinados períodos na estação seca; períodos nem sempre coincidentes com aqueles das populações do Cerrado (RIBEIRO *et al.* 1982).



Imagem da borda de um fragmento de Cerradão com representação da altura. Reparar na pessoa usada como referência de escala.

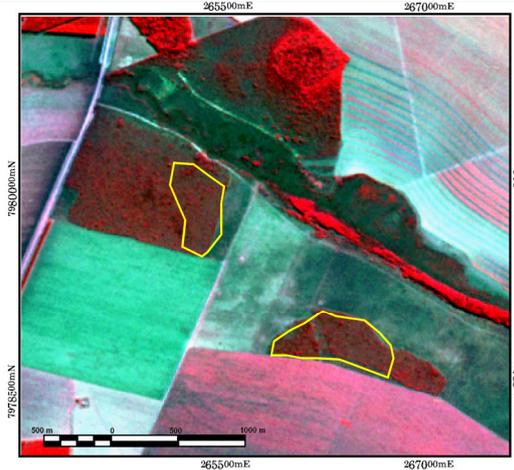
Figura 6. Classe espectral de cobertura do solo Formação florestal, representando a fitofisionomia Cerradão.

Formação savânica – Cerrado Sentido Restrito

Caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas e geralmente com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (xilopódios), que permitem a rebrota após queima ou corte. Na época chuvosa os estratos subarbustivo e herbáceo tornam-se exuberantes devido ao seu rápido crescimento. Devido à complexidade dos fatores condicionantes, originam-se subdivisões fisionômicas distintas do Cerrado sentido restrito, sendo as principais: o **Cerrado Denso**, o **Cerrado Típico** e o **Cerrado Ralo**, além do **Cerrado Rupestre**. As três primeiras refletem variações na forma dos agrupamentos e espaçamento entre os indivíduos lenhosos, seguindo um gradiente de densidade decrescente do Cerrado Denso ao Cerrado Ralo (RIBEIRO & WALTER, 1998).



Cerrado sentido restrito destacado em amarelo na imagem LANDSAT 5-RGB 453, resolução espacial de 30 m.



Cerrado sentido restrito destacado em amarelo na imagem ALOS AVNIR-2-RGB 432, resolução espacial de 10 m.

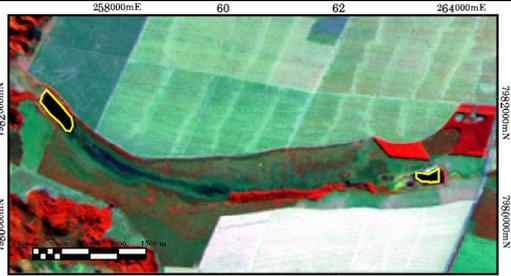


Imagem da borda de um fragmento de Cerrado Sentido Restrito com representação da altura. Reparar na pessoa usada como referência de escala.

Figura 7. Classe espectral de cobertura do solo Formação savânica, representando a fitofisionomia Cerrado sentido restrito.

Água/Área úmida

Corpos aquosos como rios e lagos e áreas úmidas como brejos, veredas e banhados.



Lago destacado em amarelo na imagem LANDSAT 5-RGB 453, resolução espacial de 30 m.



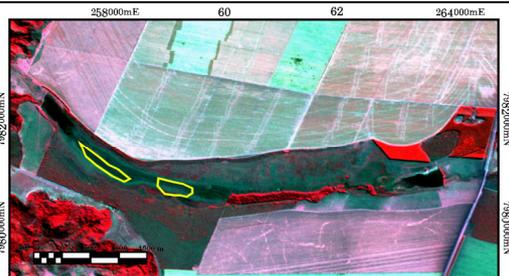
Lago destacado em amarelo na imagem ALOS AVNIR-2-RGB 432, resolução espacial de 10 m.



Imagem de um lago dentro do PENRT.



Área úmida destacada em amarelo na imagem LANDSAT 5-RGB 453, resolução espacial de 30 m.



Área úmida destacada em amarelo na imagem ALOS AVNIR-2-RGB 432, resolução espacial de 10 m.



Imagem de uma área úmida dentro do PENRT.

Figura 9. Classe espectral de cobertura do solo Água/Área úmida, representando um lago e uma área úmida dentro do PENRT.

4.3. Cobertura do solo

Foi produzida uma carta de cobertura do solo para o ano de 2010 e também o gráfico com a porcentagem da área ocupada pelas quatro classes espectrais de cobertura do solo (Figura 10).

De acordo com FORMAN & GODRON (1986), uma das características fundamentais da ecologia da paisagem é o estudo da estrutura da paisagem, que consiste nas relações espaciais entre os distintos elementos presentes, mais especificamente, relacionar as dimensões, formas, número, tipo e configuração dos diferentes elementos da paisagem com a distribuição de matéria, energia e espécies.

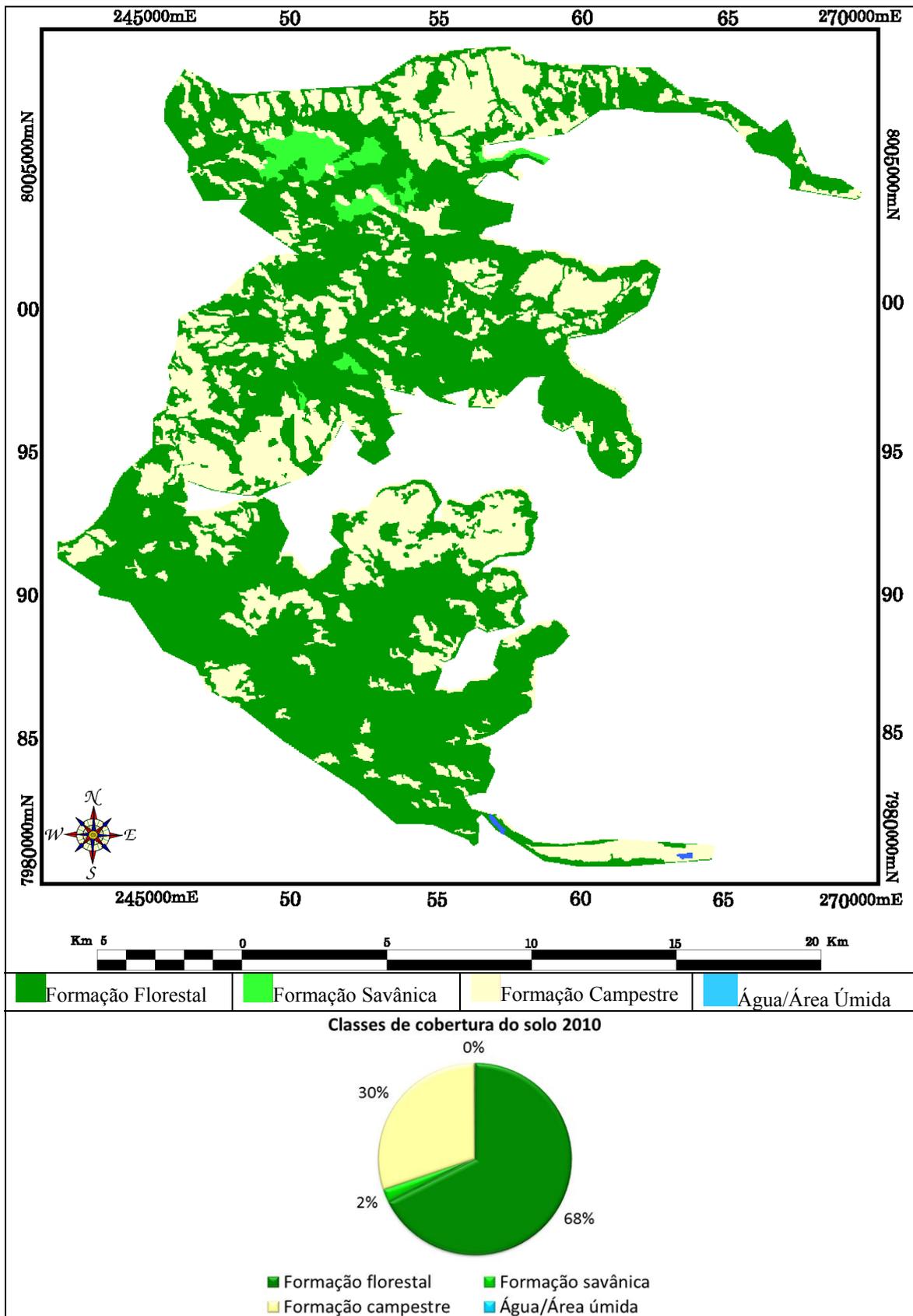


Figura 10. Carta de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT.

4.4. Área ocupada pelos remanescentes

A área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT (somatório das áreas dos fragmentos maiores que 1 ha), em julho de 2010, pode ser visualizada na figura 11.

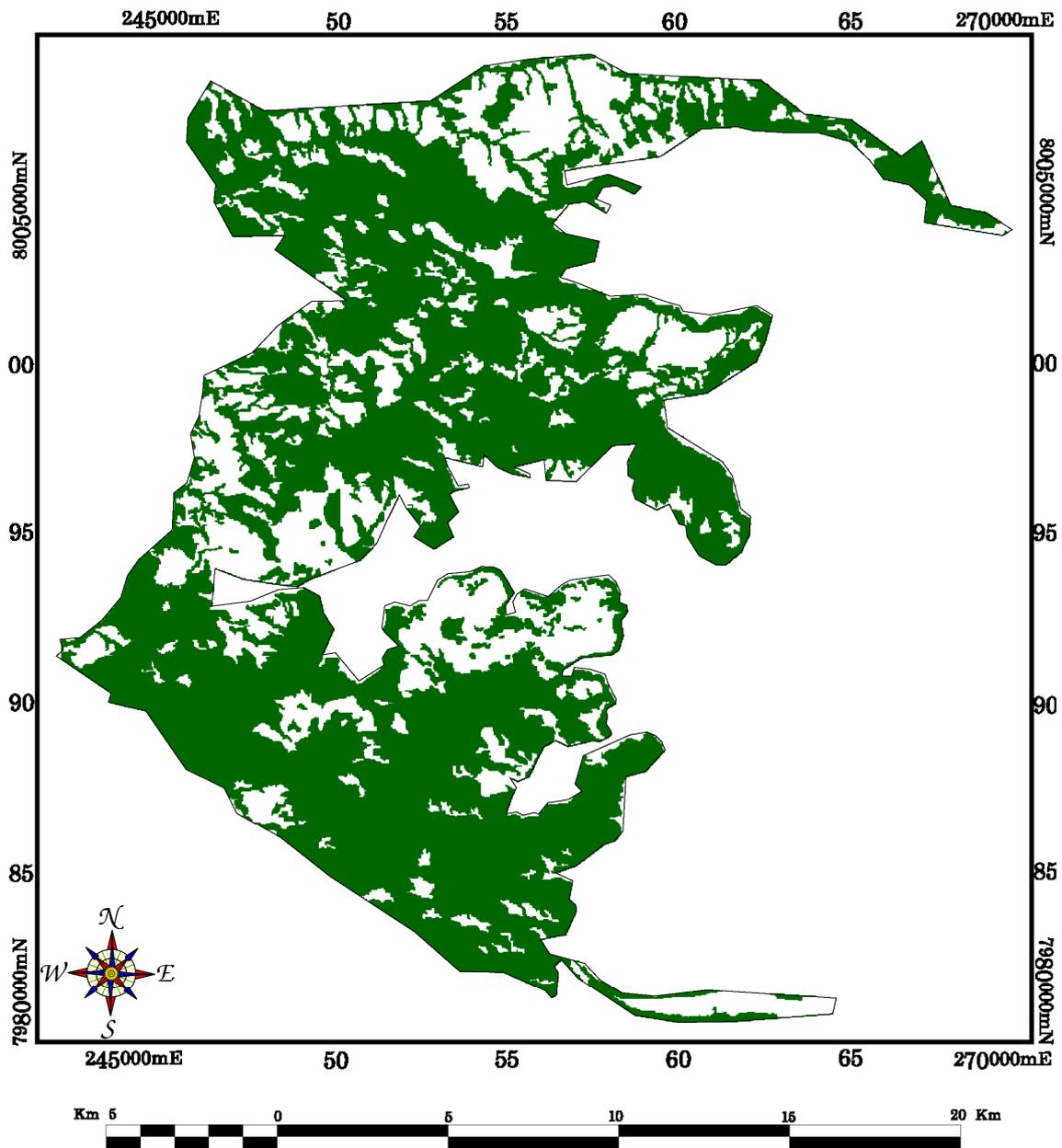


Figura 11. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no ano de 2010 (em verde) e seu limite (em preto).

A riqueza de espécies de mamíferos e aves de florestas em paisagens fragmentadas é fortemente influenciada pela extensão total da cobertura florestal na paisagem (VIRGOS, 2001; RADFORD *et al.*, 2005). A melhor maneira e a mais correta

para medir a cobertura vegetal é através da utilização de geotecnologias. SIG e Sensoriamento Remoto são considerados “as mais importantes ferramentas holísticas para a análise, planejamento e gestão da paisagem (BASTIAN & STEINHARDT, 2002 *apud* LANG & BLASCHKE, 2009).

4.5. Tamanho dos fragmentos

Na área de estudos foram encontrados 85 fragmentos de vegetação arbórea. Vale ressaltar que os fragmentos com área inferior a 1 ha foram descartados pois estão sujeitos a distorção de área e perímetro no momento da geração dos vetores a partir da imagem do satélite LANDSAT 5. Utilizando o banco de dados SIG foi produzida uma Carta de Avaliação dos Fragmentos de Vegetação por Tamanho (Figura 12).

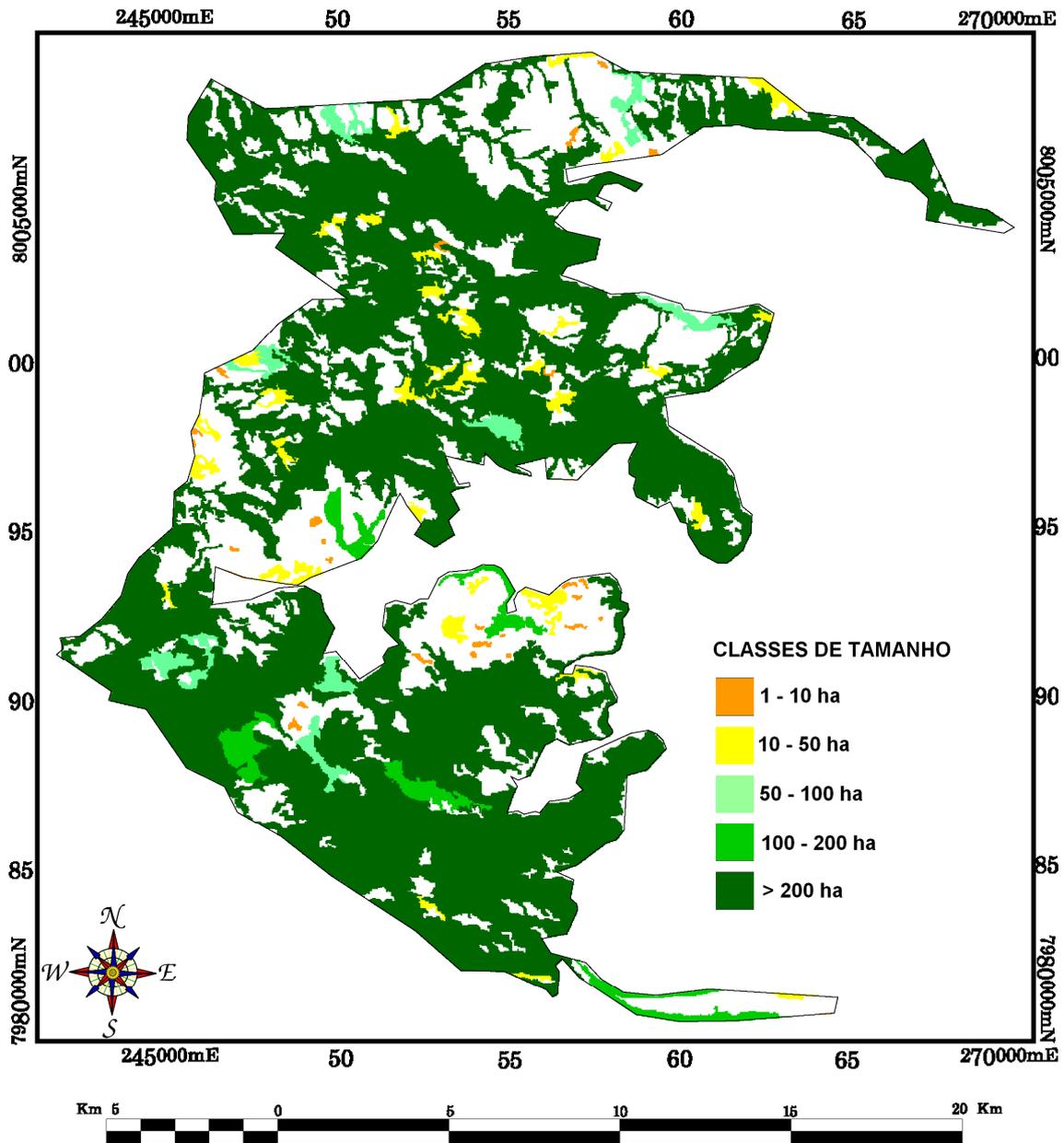


Figura 12. Carta de avaliação dos fragmentos por tamanho.

Os valores de área dos fragmentos variaram de 1,08 ha a 9.401,67 ha. Grande parte dos fragmentos do PENRT encontra-se nas classes de tamanho 1 – 10 ha com 30 fragmentos e na classe 10 – 50 ha, com 36 fragmentos indicando que grande parte dos fragmentos do PERNT no ano de 2010 são pequenos. No entanto, ainda existem alguns fragmentos grandes. Na classe 50 – 100 ha existem 9 fragmentos, na classe 100 – 200 ha existem 5 fragmentos e na classe > 200 ha existem 5 fragmentos também, totalizando 85 fragmentos de vegetação arbórea no PENRT em 2010.

Pode-se verificar para área de estudo que existem três grandes fragmentos com mais de 500 ha. Um deles com mais de 8.000 ha e o outro com mais de 9.000 ha merecem destaque.

Estes fragmentos praticamente conectam todos os outros fragmentos menores que existem no Parque permitindo que toda a unidade de conservação funcione como um só grande fragmento, pois os fragmentos menores são próximos a eles. A grande quantidade de cursos d'água dentro do Parque também pode promover a conectividade desses fragmentos, funcionando como corredores de biodiversidade.

Um conjunto de pequenos fragmentos isolados, porém próximos, pode efetivamente proporcionar vias de acesso, funcionando como trampolins ecológicos. Enquanto os grandes fragmentos são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala, os pequenos remanescentes cumprem funções extremamente relevantes ao longo da paisagem, funcionando como elementos de ligação entre grandes áreas, promovendo um aumento no nível de heterogeneidade da matriz e atuando como refúgio para espécies que requerem ambientes particulares que só ocorrem nessas áreas (FORMAN & GODRON, 1986).

4.6. Forma dos fragmentos

Os valores de IC dos fragmentos variaram de 0,06 a 0,88. Grande parte dos fragmentos apresenta forma irregular e muito irregular. Na classe Muito Irregular (IC < 0,4) existem 42 fragmentos. Na classe Irregular (IC 0,4 – 0,65) existem 34 fragmentos e na classe Regular (IC > 0,65) existem somente 9 fragmentos, totalizando 85 fragmentos. Utilizando o banco de dados SIG também foi produzida uma Carta de Avaliação dos Fragmentos de Vegetação por Forma (Figura 13).

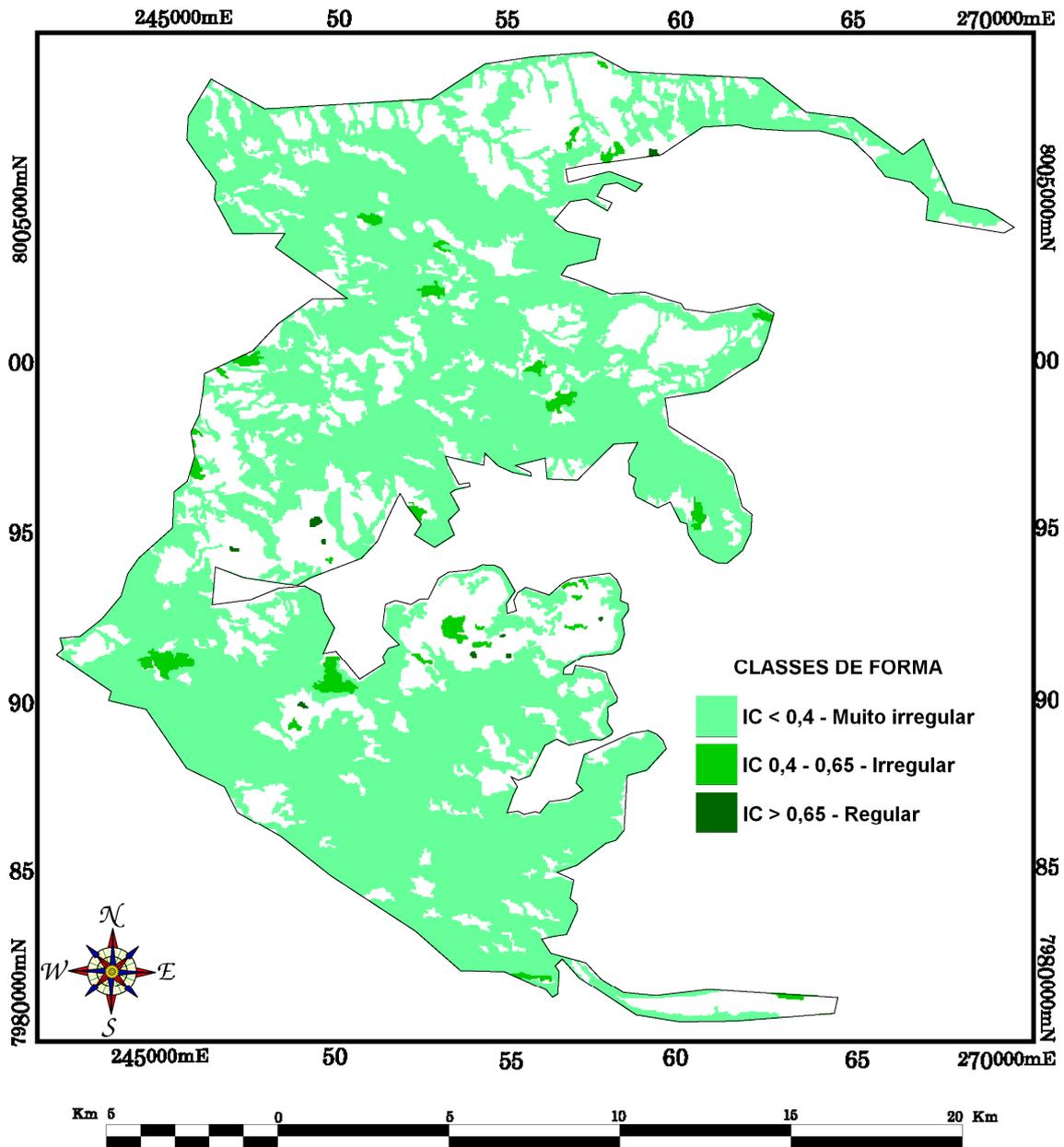


Figura 13. Carta de avaliação dos fragmentos por forma.

Fragmentos de habitats mais próximos ao formato circular têm a razão borda-área minimizada e, portanto, o centro da área está mais distante das bordas e consequentemente, mais protegido dos fatores externos.

Todos os efeitos relacionados às bordas são particularmente mais intensos em fragmentos pequenos, porém a forma dos fragmentos, e especialmente aqueles muito estreitos e alongados ou com formas muito irregulares, com muitas invaginações, podem permitir que as alterações penetrem em grande parte da área ou mesmo em toda a área do fragmento. Isto faz com que espécies sensíveis a estas alterações sejam excluídas de toda a área do fragmento (KAPOS, 1989; LAURANCE *et al.*, 1998).

O predomínio de formas irregulares dos fragmentos pode ser explicado por vários fatores, um deles é o relevo do Parque que é bastante acidentado formando dessa maneira fragmentos de forma bastante irregular.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a situação fundiária do Parque, que é formado por muitas fazendas que ainda não foram desapropriadas, nessas fazendas a principal atividade é a criação de gado, dessa maneira parte da vegetação foi suprimida para formação de pastagem.

Assim, esses remanescentes de vegetação arbórea acabam sendo “recortados” de diversas maneiras, fazendo com que existam fragmentos de diversos formatos e muitas vezes esses formatos apresentam um perímetro muito grande em relação a sua área.

4.7. Relação entre fitofisionomias, índice de vegetação e cobertura vegetal

Os valores do índice de vegetação e da cobertura vegetal (cobertura por espécies lenhosas - árvores e arbustos) para cada fragmento estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e cobertura vegetal para cada fragmento de três diferentes fitofisionomias.

Fitofisionomia	Fragmento	NDVI ¹	Cobertura Vegetal ²
Mata	1	0,745 ±0,036	92,297 ±1,396
Mata	2	0,831 ±0,060	91,554 ±2,258
Mata	3	0,864 ±0,053	92,905 ±2,836
Mata	4	0,963 ±0,069	95,068 ±1,236
Cerradão	1	0,790 ±0,038	88,378 ±7,683
Cerradão	2	0,774 ±0,110	91,351 ±3,963
Cerradão	3	0,685 ±0,086	79,189 ±8,622
Cerradão	4	0,821 ±0,040	89,797 ±4,291
Cerrado	1	0,468 ±0,110	31,893 ±23,778
Cerrado	2	0,661 ±0,155	47,973 ±25,715
Cerrado	3	0,603 ±0,117	76,802 ±12,346
Cerrado	4	0,560 ±0,102	35,811 ±16,230

¹ Valor médio e desvio padrão. ² Porcentagem média e desvio padrão.

O NDVI médio separou significativamente as fitofisionomias analisadas ($F=13,4446$; $p=0,0024$). O NDVI médio separou bem a Mata do Cerrado ($Q=7,1447$; $p < 0,01$) e o Cerradão do Cerrado ($Q=5,0032$; $p < 0,05$). No entanto a diferença não foi significativa entre Mata e Cerradão ($Q=2,1415$).

A cobertura por espécies lenhosas apresentou resultado semelhante ao NDVI médio, pois, separou significativamente as fitofisionomias analisadas ($F=16,0573$; $p=0,0014$). A cobertura vegetal separou bem a Mata do Cerrado ($Q=7,3663$; $p < 0,01$) e o Cerradão do Cerrado ($Q=6,4172$; $p < 0,01$). No entanto a diferença não foi significativa entre Mata e Cerradão ($Q=0,9491$), pois tratam-se de duas formações florestais que nas condições de regeneração do PENRT mostram-se bastante semelhantes.

Os resultados corroboram com BITENCOURT *et al.* (1997), MESQUITA JÚNIOR (1998), e GIRALDELLI & PARANHOS (2006) que também conseguiram diferenciar algumas fitofisionomias do Cerrado utilizando o NDVI apesar dos valores do índice diferirem entre os estudos, pois dependem das condições fenológicas no momento da obtenção das imagens.

5. CONCLUSÕES

A relação entre as assinaturas espectrais e uma chave de identificação de tipos fitofisionômicos representa um passo importante na homogeneização de metodologias de trabalho em sensoriamento remoto no bioma Cerrado.

A análise em conjunto do relevo/geomorfologia, fitofisionomias, área ocupada pelos remanescentes de vegetação nativa, grau de fragmentação, do tamanho e da forma dos fragmentos, a relação do NDVI com a estrutura da vegetação, ou seja, dos parâmetros que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, mostraram-se ferramentas eficientes e fornecem subsídios para o melhor manejo desta unidade de conservação, ajudando-a na sua sustentabilidade e na manutenção da biodiversidade local.

A descrição da estrutura da paisagem através dos parâmetros citados também ajuda a entender a função que cada fragmento de vegetação desempenha na paisagem como um todo. Grandes remanescentes, fragmentos de diferentes tamanhos, formas e quantidade de matéria, energia e espécies (fitofisionomias e fitomassa) fornecem uma diversidade de habitats com diferentes funções na paisagem, que permitem a manutenção da biodiversidade local, principalmente em uma área protegida.

O PENRT é uma unidade de conservação nova, criada no ano de 1999 e grande parte da sua área ainda não foi desapropriada, assim ainda ocorrem atividades agropecuárias dentro do Parque. Outra preocupação é sua zona de amortecimento, seu limite leste é totalmente tomado por extensas plantações de soja e algodão. Algumas nascentes (Ribeirão do Engano) encontram-se próximas ao Parque, em seu entorno, mas fora da área de proteção, cercadas de plantações. Seria de grande importância que a região do entorno do Parque também recebesse atenção, para que na medida em que as desapropriações forem sendo feitas, a vegetação do Parque e seu entorno possa se regenerar.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos à FUNDECT pelos projetos de pesquisa nº 0081/08 e nº 0241/08 e pela bolsa de doutorado nº 057/10, ao PPGEC e CAPES pela bolsa de doutorado, à SEMAC/IMASUL/GUC pela concessão da autorização ambiental para pesquisa em unidades de conservação nº 006/2008, à Martha Gilka Gutiérrez Carrijo (SEMAC/IMASUL de Costa Rica), seu Vanderlei e Professor Wilson (Prefeitura Municipal de Costa Rica) por todo apoio nos trabalhos de campo.

7. LITERATURA CITADA

AYRES, M. AYRES JUNIOR, M. AYRES, D.L. SANTOS, A.A.S. & AYRES, L.L. *BioEstat versão 5.0 Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Bio-Médicas*. Belém-PA. 2007.

BITENCOURT, M.D. MESQUITA JR, H.N. MANTOVANI, W. BATALHA, M.A. PIVELLO, V.R. *Identificação de fisionomias de cerrado com imagens índice de vegetação*. In: Laércio Leonel Leite & Carlos Hiroo Saito. (Org.). *Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado*. Brasília: UnB/ECL, p. 316-320. 1997.

CAMPOS, L.F.G. *Mapa florestal do Brasil*. Boletim Geográfico, v.1, n.9, p.9-27, 1943.

CARRIJO, M.G.G. *Vulnerabilidade ambiental: O Caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari - MS*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação

em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 98 p. 2005.

CARVALHO, F.M.V., MARCO JÚNIOR, P. & FERREIRA, L.G. The Cerrado intopieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*. 142. 1392–1403. 2009.

CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL. Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari. (<http://www.conservation.org.br/onde/cerrado/index.php?id=155>). Último acesso em 18 de setembro de 2012. 2003.

DEFINIENS IMAGING. *Ecognition version 2.0*. Munchen, Alemanha. 1 CD-ROM. 2002.

FORMAN, R.T., GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Willey. Nova Iorque. 619 p. 1986.

GAMARRA, R.M.. *Identificação de fitofisionomias e análise da fragmentação da vegetação na região do Parque Natural Municipal Salto do Sucuriú, utilizando imagem de alta resolução*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 73 p. 2008.

GEWIN, V. *Mapping opportunities*. Nature 427. p. 376-377. 22 January 2004.

GIRALDELLI, G.R. & PARANHOS FILHO, A.C. *Relação entre as variáveis estruturais do habitat e o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em três tipos de habitat de cerrado na fazenda Diamante, Coxim, MS*. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.341-350. 2006.

GLOBAL MAPPER. Global Mapper version 11.02. Blue Marble Geographics, Hallowell, Maine U.S.A. 2010.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2. Bandas 1, 2, 3 e 4. ID ALAV2A236673960. Órbita/Ponto 405/3960 de 04 de julho de 2010. 2010 a.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor PRISM. Banda Pan. ID ALPSMN243383960. Órbita/Ponto 405/3960 de 19 de agosto de 2010. 2010 b.

GUPTA, R.P. *Remote Sensing Geology*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 1 ed. 356 p. 1991.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 26 de julho de 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2010.

KAPOS, V. *Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon*. J. Trop. Ecol., 5: 173-185. 1989.

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

LAURANCE, W. F., FERREIRA, L. V., RANKIN-DE-MERONA, J. M. & LAURANCE, S. G. *Rain Forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities*. Ecology, 79: 2032-2040. 1998.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. New York – USA. 5 ed. 763 p. 2004.

MACHADO, R.B., RAMOS NETO, M.B., PEREIRA, P.G.P., CALDAS, E.F., GONÇALVES, D.A., SANTOS, N.S., TABOR, K. & STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MATO GROSSO DO SUL. *Atlas Multirreferencial*. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN). 28 p. 1990.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto nº 9.662, de 9 de outubro de 1999. *Cria o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, e dá outras providências*. Publicado no Diário Oficial de Mato Grosso do Sul de 14 de outubro de 1999.

MATO GROSSO DO SUL. *Plano de Manejo do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari*. CARRIJO, M.G.G. & TORRECILHA, S. (org). IMASUL. Campo Grande-MS. 297p. 2009.

MESQUITA JÚNIOR, H.N. *Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga – SP)*. Dissertação mestrado IB-USP. São Paulo. 1998.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2005.

MITTERMEIER, R.A. MYERS, N. THOMSEN, J.B. FONSECA, G.A.B. OLIVIERI, S. *Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities*. *Conservation Biology*, 12 (3):516-520. 1998.

MYERS, N. MITTERMEIER, R.A. MITTERMEIER, C.G. FONSECA, G.A.B. KENT, J. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. *Nature*, 403 (24): 853-858. 2000.

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*. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.389-398, 2006.

PARANHOS FILHO, A.C. LASTORIA, G. TORRES, T.G. *Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução as Geotecnologias*. Ed. UFMS. Campo Grande-MS. 198p. 2008.

PARANHOS FILHO, A.C., GAMARRA, R.M., PAGOTTO, T.C., FERREIRA, T.S., TORRES, T.G., & MATOS FILHO, H.J.S. (2006). *Sensoriamento Remoto do Complexo Aporé-Sucuriú*. In: PAGOTTO, T.C.S. & SOUZA, P.R. (org.). Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 31-44 p. 2006.

PCI Geomatics. Geomatica Versão 9.1 for Windows. Ontário, Canadá. 16 de dezembro de 2003. 1 CD-ROM. 2003.

PONZONI F.J. & SHIMABUKURO Y.E. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. INPE. Editora Parêntese. São José dos Campos – SP. 2007.

RADFORD, J. Q., BENNETT, A. F., and CHEERS, G. J. *Landscape-level thresholds of habitat cover for woodland-dependent birds*. Biological Conservation, 124, 317–337. 2005.

RIBEIRO, J. F.; GONZÁLES, M. I.; OLIVEIRA, P. E. A. M.; MELO, J. T. de. *Aspectos fenológicos de espécies nativas do Cerrado*. In: Congresso Nacional de Botânica, 32. 1981, Teresina, PI: Anais. Teresina: Sociedade Botânica do Brasil. p.181-198. 1982.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. *Fitofisionomias do Bioma Cerrado*. In. SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, xii + 556p. 1998.

RIZZINI, C.T. *A flora do Cerrado, análise florística das savanas Centrais*. In: Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo. Anais. São Paulo: EDUSP. p.125-177. 1963.

ROUGHGARDEN, J.; RUNNING, S.W.; MATSON, P.A. *What does Remote Sensing do for Ecology?*. *Ecology*. 72(6). pp 1918-1922. 1991.

SILVANO, D.L., COLLI, G. R., DIXO, M. B. O., PIMENTA, B. V. S. & WIEDERHECKER, H. C. *Anfíbios e répteis*. p. 184 -199. In: Ministério do Meio

Ambiente – MMA. Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas / Denise Marçal Rambaldi, Daniela América Suárez de Oliveira (orgs.). Brasília: 2ª ed., MMA/SBF. 510 p. 2005.

SISLA. Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. (http://sisla.imasul.ms.gov.br/Downloads/dados_complementares/). Último acesso em 5 de novembro de 2012. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). 2008.

TURNER, M.G. *Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models*. Landscape Ecology. 1: 27-39. 1987.

URBAN, D.L., O' NEILL, R.V. & SHUGART, J.R. *Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists to understand spatial patterns*. BioScience 37(2): 119 – 127. 1987.

VIRGOS, E. *Role of isolation and habitat quality in shaping species abundance: a test with badgers (Meles meles L.) in a gradient of forest fragmentation*. Journal of Biogeography, 28, 381–389. 2001.

CAPÍTULO 2: DINÂMICA DA COBERTURA DO SOLO DO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS

Roberto Macedo Gamarra¹

Antonio Conceição Paranhos Filho²

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC)

²Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET)

Cidade Universitária, s/n - Caixa Postal 549. CEP 79070-900. Campo Grande-MS,
Brasil. Tel.: (67) 3345-7495. Fax: (67) 3345-7450.

E-mail: ¹rmgamarra@gmail.com; ²antonio.paranhos@pq.cnpq.br

RESUMO: A análise da alteração das relações espaciais entre os distintos elementos presentes na paisagem que influenciam a distribuição de matéria, energia e espécies ao longo do tempo é uma das características fundamentais da ecologia da paisagem, chamada de dinâmica da paisagem. O estudo da dinâmica da paisagem permite analisar o comportamento e a variação (fluxo) de matéria, energia e espécies. Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da variação da cobertura do solo (priorizando as fitofisionomias) ao longo do tempo, utilizando geotecnologias. A análise multitemporal de imagens de satélite é uma técnica que permite quantificar as mudanças ocorridas na paisagem em diferentes épocas. Comparamos a sucessão de fitofisionomias em diferentes períodos juntamente com a descrição dos elementos espaciais que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica. Foi possível também analisar a mudança da função dos elementos presentes na paisagem através da variação da estrutura da vegetação (fitofisionomias), que indiretamente fornecem informações sobre matéria, energia e espécies, ao longo do tempo. Desse modo, foi possível avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação.

PALAVRAS CHAVE: Ecologia da paisagem; Geotecnologias; Fitofisionomias; Análise multitemporal; Dinâmica da paisagem.

ABSTRACT: The alteration analysis of the spatial relations between the distinct elements in the landscape that influence the distribution of matter, energy and species through time is one of the fundamental characteristics of landscape ecology, named landscape dynamics. The study of landscape ecology allows analysing the behavior and variation (flow) of matter, energy and species. The objective of this study is analysing the landscape dynamics of one formal conservation unit, the Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, through soil coverage variation (prioritizing phytophysognomies) over time, using geotechnologies. The multitemporal analysis of satellite imagery is a technique that allows quantifying the changes in landscape at different times. The phytophysognomic forms succession were analyzed in different periods along with the description of spatial elements that determine the existing ecological processes and its importance in biological conservation. It was possible to analyze the change of function of landscape elements through the variation of vegetation structure (phytophysognomies), that indirectly provides information about matter, energy and species over time. Thus, it was possible to evaluate the effectiveness of the protection of this conservation unit.

KEY WORDS: Landscape ecology; Geotechnology; Phytophysognomies; Multitemporal analysis; Landscape dynamics.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado localiza-se predominantemente no Planalto Central do Brasil, ocupando cerca de 1,8 milhão de km² (23% do território nacional). Possui grande diversidade de fitofisionomias que compreendem formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO & WALTER, 1998). Apresenta alta riqueza de espécies, representando cerca de 5% da diversidade da fauna e flora mundiais e 1/3 da biota brasileira (ALHO & MARTINS, 1995), com estimativas de cerca de 7.000 espécies de plantas e altos níveis de endemismo. A diversidade de aves, peixes, répteis, anfíbios e insetos são igualmente altas (KLINK & MACHADO, 2005). Além disso, no Cerrado estão presentes as maiores bacias hidrográficas da América do Sul (PAGOTTO *et al.*, 2006).

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado Sentido Restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo). Em sentido fisionômico, floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo. O termo savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. Já o termo campo designa áreas com predomínio de espécies herbáceo-arbustivas, com cobertura arbórea ausente ou sem destaque (RIBEIRO & WALTER, 1998).

A fisionomia inclui a estrutura, as formas de crescimento (árvores, arbustos e ervas) e as mudanças estacionais (sempre-verde, semidecídua e decídua) predominantes na vegetação. A estrutura, por sua vez, refere-se à disposição, organização e arranjo dos indivíduos na comunidade, tanto em altura (estrutura vertical) quanto em densidade (estrutura horizontal) (EITEN, 1979 *apud* RIBEIRO & WALTER, 1998).

De acordo com DURIGAN (2006), em regiões de domínio de Cerrado, impactos antrópicos e/ou naturais (como pastoreio, extração de madeira, efeito de borda, fogo, saturação de alumínio, acidez, fertilidade do solo e disponibilidade hídrica), quanto mais intensos e frequentes, levam a fitofisionomias mais abertas e que as diferentes fitofisionomias caracterizam diferentes estádios sucessionais ou estados de conservação, bem como parâmetros de matéria, energia e espécies. A fisionomia da vegetação vai

evoluindo de campo sujo (menor fitomassa) para campo cerrado, cerrado sentido restrito, cerradão e mata seca (maior fitomassa).

Nas últimas décadas cerca de 50% da área original do Cerrado foi convertida em áreas antropizadas devido às atividades agropecuárias, extrativismo mineral, aumento populacional e construção de estradas e barragens para hidrelétricas (ALHO & MARTINS, 1995; MITTERMEIER *et al.*, 1999). Este fato é agravado pelo baixo número de áreas protegidas por unidades de conservação, apenas 4,1% e pela distribuição restrita de muitas espécies da fauna e flora (FELFILI, 2002; FELFILI *et al.*, 2002).

A perda de habitat natural ocorre quando este é alterado de forma tão dramática que não suporta mais as espécies que originalmente sustentava. Populações de plantas e animais são destruídas ou deslocadas, levando a perda da biodiversidade. A perda de habitat é considerada a principal causa da extinção de espécies em todo o mundo. Globalmente, a agricultura é a maior causa da destruição de habitats. Outras atividades humanas, tais como mineração, supressão de vegetação e a expansão urbana também destroem ou degradam severamente os habitats. Nos países em desenvolvimento, onde a maior perda de habitat está ocorrendo agora, as causas das alterações ambientais mudaram fundamentalmente nas últimas décadas. Em vez de ser causada principalmente pelos pequenos agricultores e moradores da zona rural, a perda de habitat, especialmente nos trópicos (caso do bioma Cerrado no Brasil), é agora substancialmente impulsionada pela globalização, promoção da agricultura intensiva e outras atividades industriais (LAURANCE, 2010).

Nesse contexto, os conceitos da Ecologia da Paisagem aliados às ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para o entendimento e planejamento para resolução de problemas ambientais.

Assim a ecologia de paisagem na atualidade é uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento da paisagem, ela possibilita que a paisagem seja avaliada sob diversos pontos de vista, permitindo que seus processos ecológicos possam ser estudados em diferentes escalas temporais e espaciais (TURNER, 1987).

O mapeamento desses padrões pelo sensoriamento remoto e a análise de suas relações espaciais permite caracterizar diferentes paisagens e entender os processos de que resultam. Assim, o sensoriamento remoto deve estar presente em quaisquer projetos

de controle da fragmentação ambiental e conservação da diversidade biológica e é uma das técnicas que mais vem sendo empregada em ecologia de paisagem em função de sua capacidade de coletar dados em diferentes escalas, épocas e amplitudes espectrais. Esses atributos fazem com que as imagens de sensores remotos sejam fundamentais nas diferentes aplicações da ecologia de paisagem como estudos da vegetação (HAYNES-YOUNG *et al.*, 1993; ACCACIO *et al.*, 2005).

2. OBJETIVOS

Avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da variação da cobertura do solo (priorizando as fitofisionomias) ao longo do tempo, utilizando geotecnologias.

2.1. Objetivos específicos

- Realizar a análise multitemporal da cobertura do solo, focada nas diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, comparando a sucessão de fitofisionomias durante 26 anos (de 1984 até 2010).
- Avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação, ou seja, avaliar as mudanças na vegetação (priorizando as fitofisionomias) em dois cenários distintos, antes e depois de sua criação (outubro de 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), além de sua importância para o bioma Cerrado, abriga nascentes deste importante rio para o Pantanal. Está localizado na região Centro Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso do Sul, entre as coordenadas 17°59' a 18°15' S e 53°10' a 53°26' W. O PENRT foi criado através do Decreto Estadual nº 9.622 de 09 de outubro de 1999 (MATO GROSSO DO SUL, 1999), com área de 30.618,96 hectares, abrangendo 26.849,62 hectares no Município de Alcínópolis-MS e 3.769,34 hectares em Costa Rica-MS (Figura 1). É uma das áreas núcleo do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari

(CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL, 2003), ou seja, um dos remanescentes ambientalmente mais importantes no Cerrado.

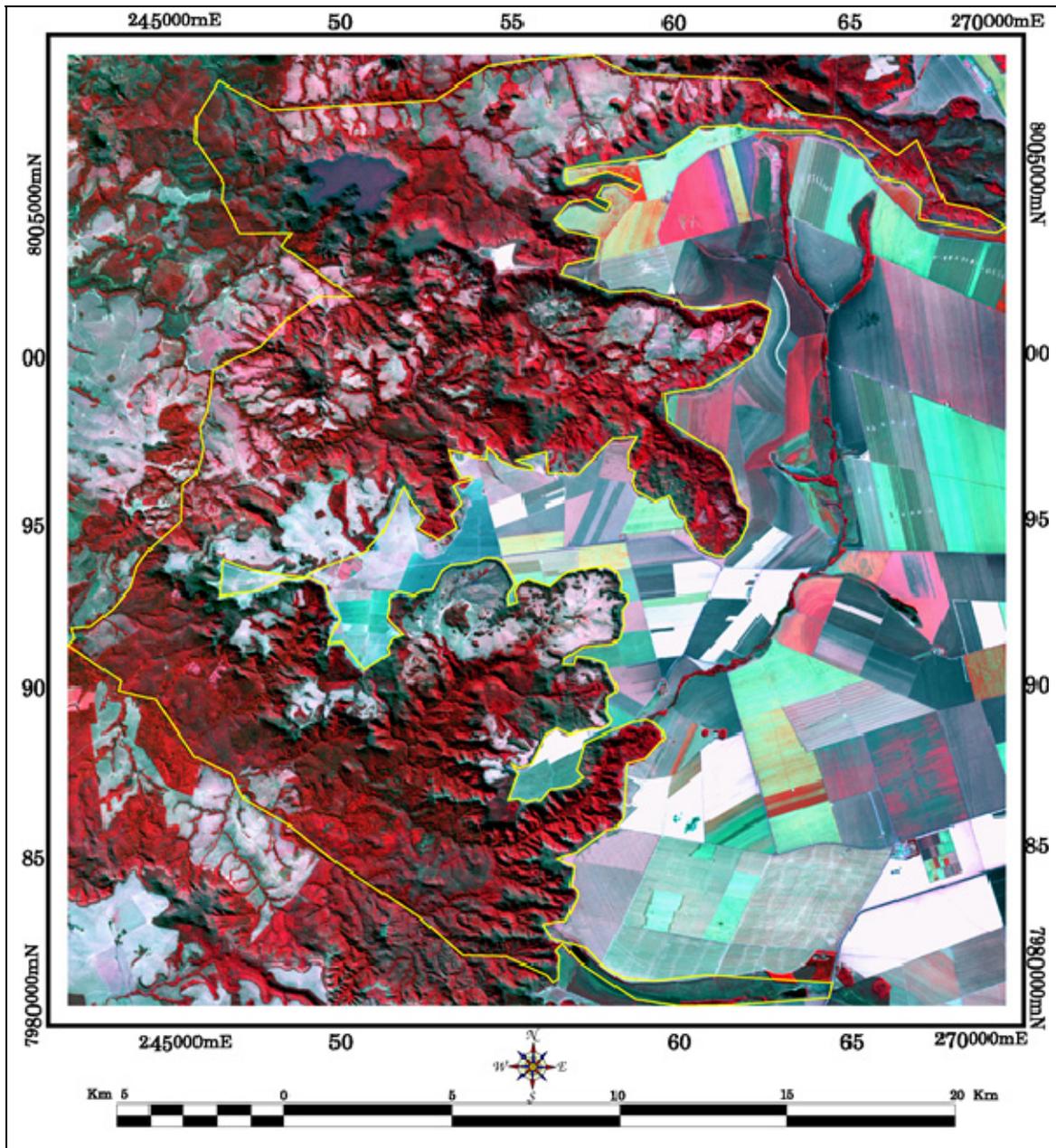


Figura 1. Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT). Fonte: Imagem do satélite ALOS sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m de 04 de julho de 2010. Composição falsa cor RGB 432. Limite do PENRT em amarelo. No lado esquerdo da imagem, as áreas em vermelho intenso significam vegetação densa. O padrão geométrico do lado direito da imagem mostra áreas agrícolas, que circundam o Parque.

3.2. Materiais utilizados

Na realização do trabalho foram utilizadas seis cenas do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 224/073, com 30 m de resolução espacial, de 18 de julho de 1984 (INPE, 1984), 16 de julho de 1989 (INPE, 1989), 30 de julho de 1994 (INPE, 1994), 28 de julho de 1999 (INPE, 1999), 25 de julho de 2004 (INPE, 2004) e 26 de julho de 2010 (INPE, 2010). Como material de apoio foram utilizadas ainda duas cenas ortorretificadas do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), uma do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com 10 m de resolução espacial de 04 de julho de 2010 (GLOBALGEO, 2010 a) e outra do sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com 2,5 m de resolução espacial de 19 de agosto de 2010 (GLOBALGEO, 2010 b).

Todas as seis cenas do satélite LANDSAT 5 foram georreferenciadas com erro inferior a 1 pixel, utilizando como base de referência as cenas do satélite ALOS (UTM, fuso 22, WGS84). Essas cenas foram recortadas utilizando o vetor do limite oficial do PENRT (em formato *shapefile*) obtido no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA) do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) (SISLA, 2008).

Na análise multitemporal foram utilizadas somente imagens LANDSAT, todas da época seca, para garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor interferência da sazonalidade (fenologia). Além de manter as mesmas características da imagem (resolução espacial, espectral e radiométrica).

Os programas utilizados foram o Geomatica 9.1 (PCI, 2003) para o georreferenciamento e recorte das imagens de satélite e integração de todos os dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Ecognition 2.0 (DEFINIENS, 2002) para classificação orientada a objetos.

3.3. Coleta de dados em campo

Foram realizadas três etapas de trabalho de campo, em janeiro de 2009, agosto de 2010 e em dezembro de 2010, no intuito de identificar os tipos de cobertura do solo (incluindo as fitofisionomias descritas por RIBEIRO & WALTER, 1998) e fazer o reconhecimento dos fragmentos de vegetação para relacioná-los com as imagens de

satélite da área de estudo, utilizando máquina fotográfica digital, densiômetro esférico e receptor GPS de navegação (*Global Positioning System*). Durante o levantamento do histórico da área, os moradores e a gerente do parque foram entrevistados sobre as mudanças ocorridas na cobertura do solo da área de estudo. Levantamentos bibliográficos também auxiliaram nessa atividade.

3.4. Cobertura do solo: classificação das imagens

Depois dos trabalhos de campo, para geração das cartas de cobertura do solo dos diferentes anos, foi realizada a classificação orientada a objetos nos seis recortes das imagens do satélite LANDSAT 5, utilizando o programa Ecognition 2.0 (DEFINIENS, 2002), de acordo com o método utilizado em GAMARRA (2008). Foram utilizadas quatro classes de cobertura do solo, incluindo as fitofisionomias descritas na chave de RIBEIRO & WALTER (1998) e agrupando diferentes classes espectrais de cobertura do solo descritas em PARANHOS FILHO *et al.* (2006), que faz a relação entre fitofisionomias do Cerrado e imagens do satélite Landsat para o Cerrado:

1. Formação florestal: Engloba as fitofisionomias Cerradão, Mata Seca, Mata Ciliar e Mata de Galeria;
2. Formação savânica: Corresponde a fitofisionomia Cerrado Sentido Restrito;
3. Formação campestre: Engloba as fitofisionomias Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre. Vale ressaltar que na classe Formação campestre estão incluídos tanto campos nativos como pastos e outras formações campestres exóticas/cultivadas;
4. Água/ Área úmida: Corresponde a corpos aquosos como rios e lagos e áreas úmidas como brejos, veredas e banhados.

É importante destacar que foram incluídos na classe espectral de cobertura do solo Formação Campestre os campos de Cambaúva ou cambauvais, que são campos onde predominam uma espécie nativa de bambu (*Apoclada arenicola*), conhecida como Cambaúva que são encontradas predominantemente nas áreas de encostas do PENRT.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram produzidas seis cartas de cobertura do solo, uma para cada ano analisado (1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2010) e também gráficos com a porcentagem da área ocupada pelas quatro classes espectrais de cobertura do solo em cada ano.

De acordo com FORMAN & GODRON (1986), uma das características fundamentais da ecologia da paisagem é o estudo da estrutura da paisagem, que consiste nas relações espaciais entre os distintos elementos presentes, mais especificamente, relacionar as dimensões, formas, número, tipo e configuração dos diferentes elementos da paisagem com a distribuição de matéria, energia e espécies. O estudo da alteração dessa estrutura ao longo do tempo é outra característica fundamental da ecologia da paisagem, chamada de dinâmica da paisagem. O estudo da dinâmica da paisagem permite analisar o comportamento e a variação (fluxo) de matéria, energia e espécies (relação espécie-área).

A riqueza de espécies de mamíferos e aves de florestas em paisagens fragmentadas é fortemente influenciada pela extensão total da cobertura florestal na paisagem (VIRGOS, 2001; RADFORD *et al.*, 2005). A melhor maneira e a mais correta para medir a cobertura vegetal é através da utilização de geotecnologias. SIG e Sensoriamento Remoto são considerados “as mais importantes ferramentas holísticas para a análise, planejamento e gestão da paisagem (BASTIAN & STEINHARDT, 2002 *apud* LANG & BLASCHKE, 2009).

Assim, pode-se verificar (Figura 2) que entre os anos de 1984 e 1989 houve redução de 1% na área ocupada pelas formações florestais, aumento de 3% na área de formações savânicas e redução de 2% na área ocupada pelas formações campestres. Indicando que não houve grandes mudanças na cobertura do solo. Os resultados mostram que algumas áreas foram desmatadas enquanto em outras houve regeneração da vegetação. Parte dessa mudança está relacionada ao fogo, pois, os incêndios são muito frequentes na região. De acordo com CARRIJO (2005) e informações do presente trabalho, houve um grande incêndio entre julho de 1984 e agosto de 1985 que consumiu 8% da área do PENRT, explicando parte da mudança ocorrida nesse período.

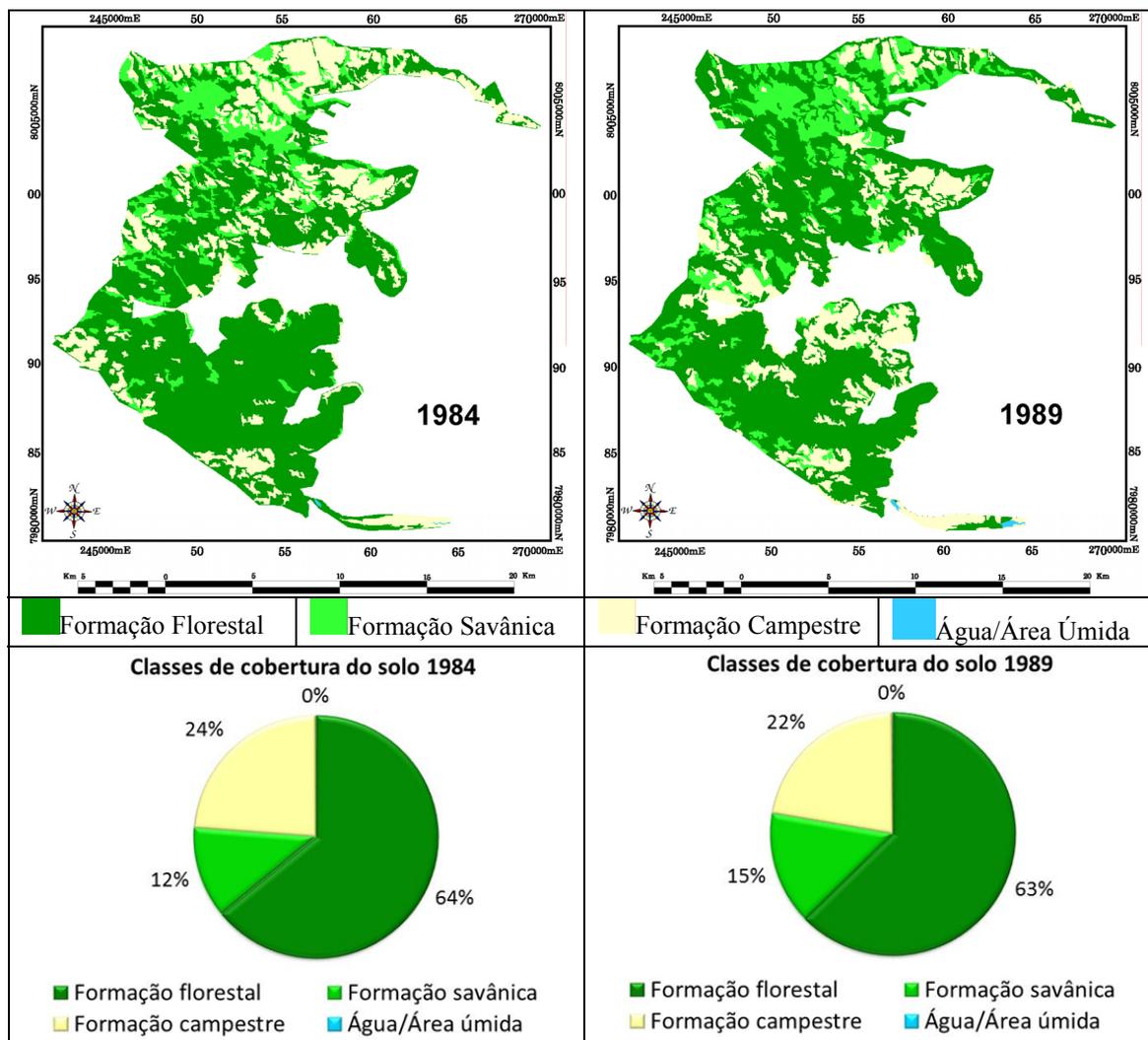


Figura 2. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1984 e 1989.

No período de 1989 a 1994 (Figura 3) houve redução de 8% nas áreas de florestas e de 4% nas áreas ocupadas pelas formações savânicas, conduzindo consequentemente a um aumento de 12% nas formações campestres. Verifica-se nesse intervalo de 5 anos uma perda considerável de fitofisionomias arbóreas, provavelmente por ações antrópicas para a abertura de áreas para pastagem.

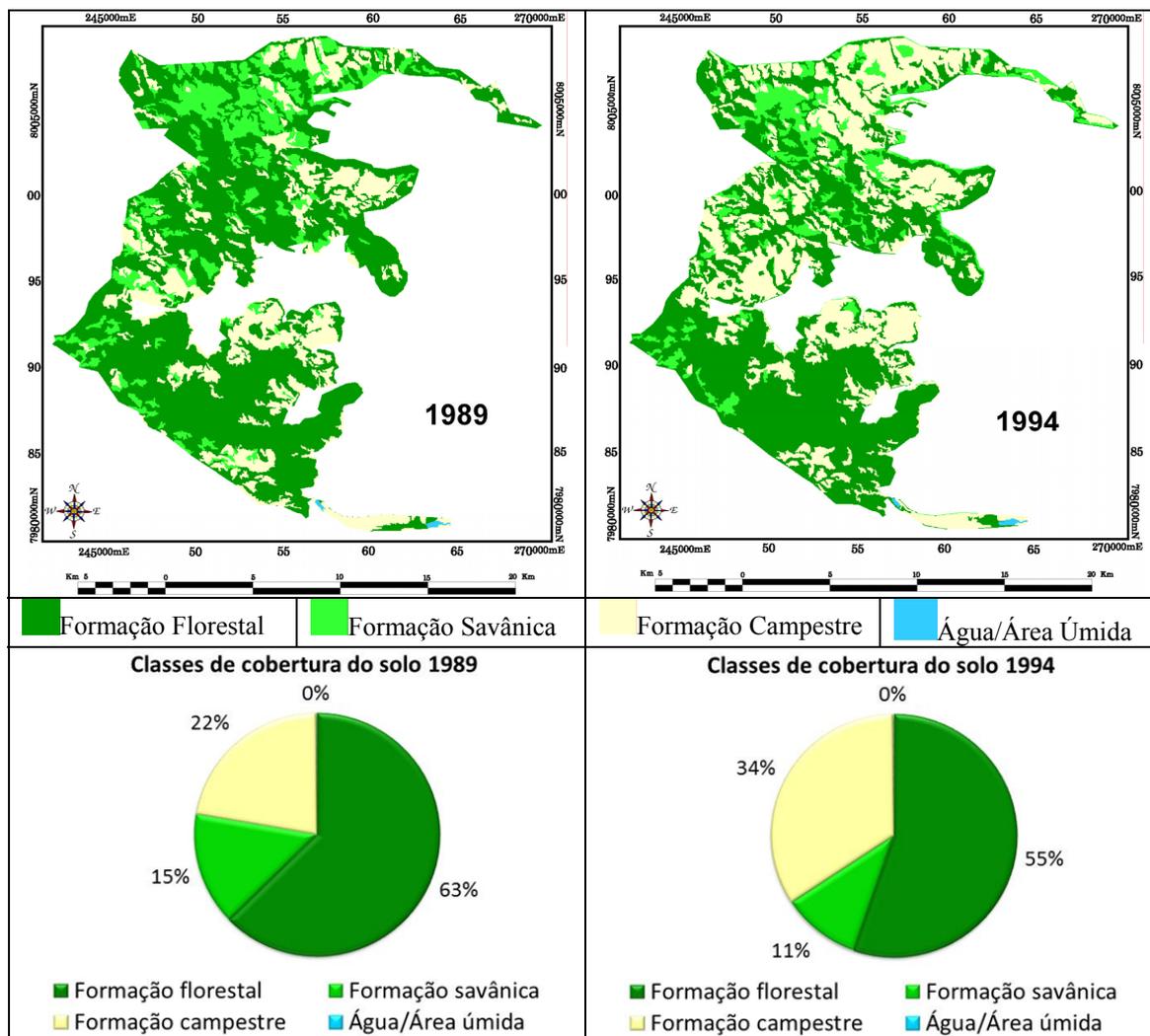


Figura 3. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1989 e 1994.

Entre os anos de 1994 e 1999 (Figura 4) houve aumento de 4% na área ocupada pelas formações florestais, redução de 5% na área ocupada pelas formações savânicas e aumento de 1% nas áreas de formações campestres. Percebe-se que nesse período houve conversão de áreas de cerrado em áreas de florestas, ou seja, houve evolução positiva da vegetação em termos de fitomassa.

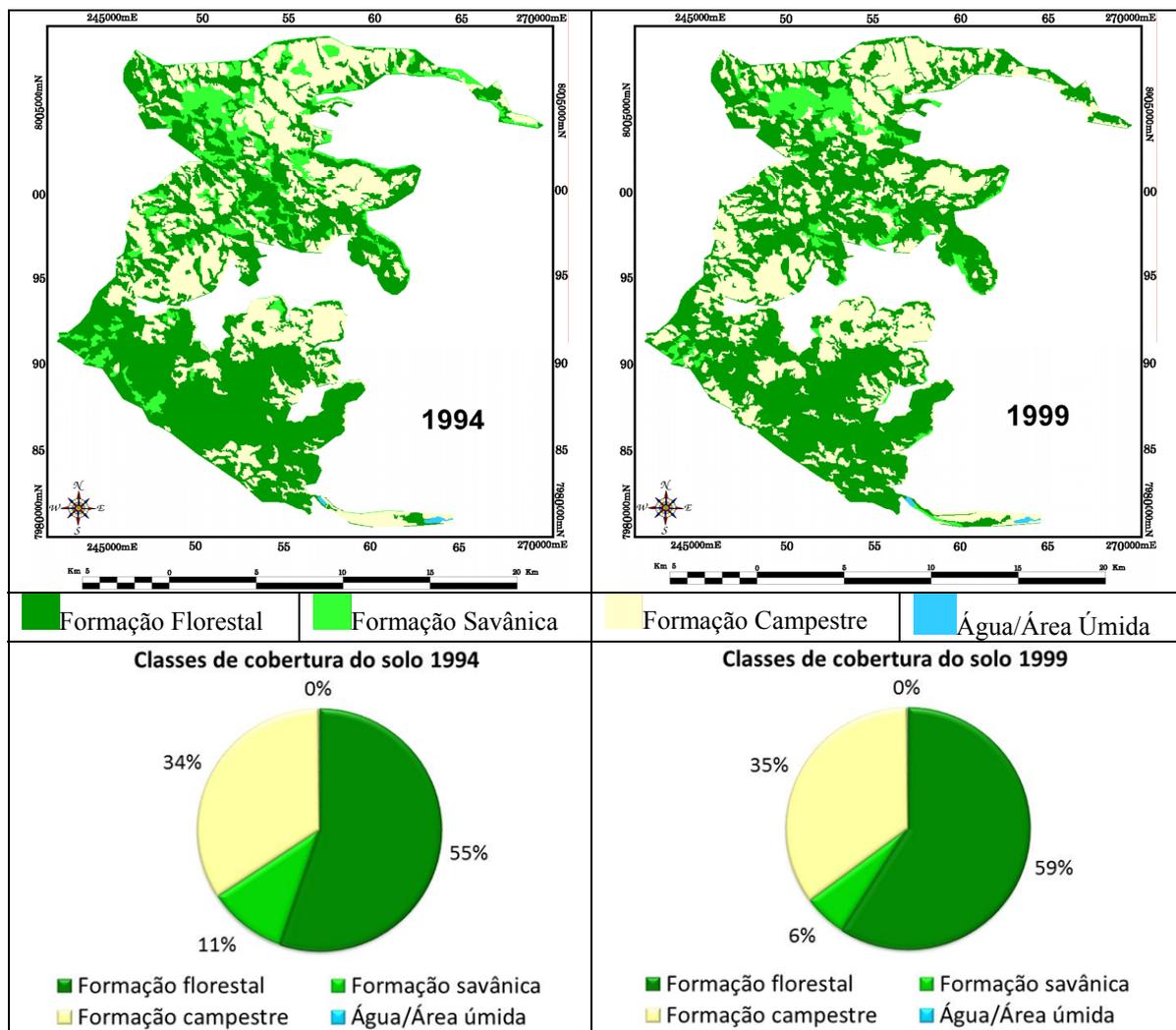


Figura 4. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1994 e 1999.

No período de 1999 a 2004 (Figura 5) houve aumento de 3% nas áreas de floresta e de 6% nas áreas de cerrado e redução de 9% nas áreas ocupadas pela classe formação campestre. Indicando que houve continuidade do processo de regeneração da vegetação iniciado em 1994.

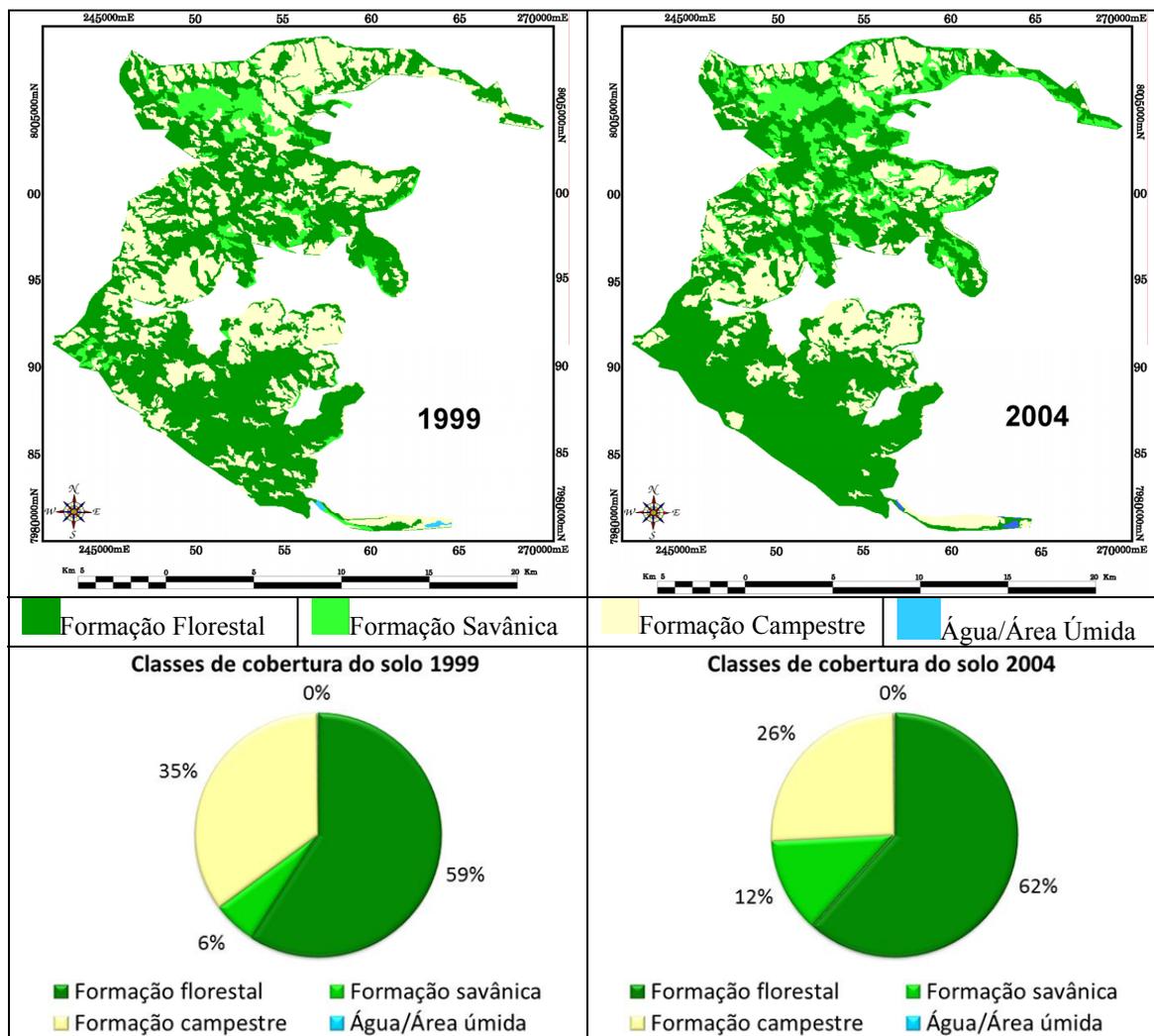


Figura 5. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1999 e 2004.

Já entre os anos de 2004 e 2010 (Figura 6) houve aumento de 6% nas áreas de floresta, redução de 10% nas áreas ocupadas pelas formações savânicas e aumento de 4% nas formações campestres. Percebe-se também que nesse período houve substituição de áreas de cerrado em áreas de florestas ao mesmo tempo que em outras áreas do PENRT, houve conversão de fitofisionomias arbóreas em áreas de pastagem.

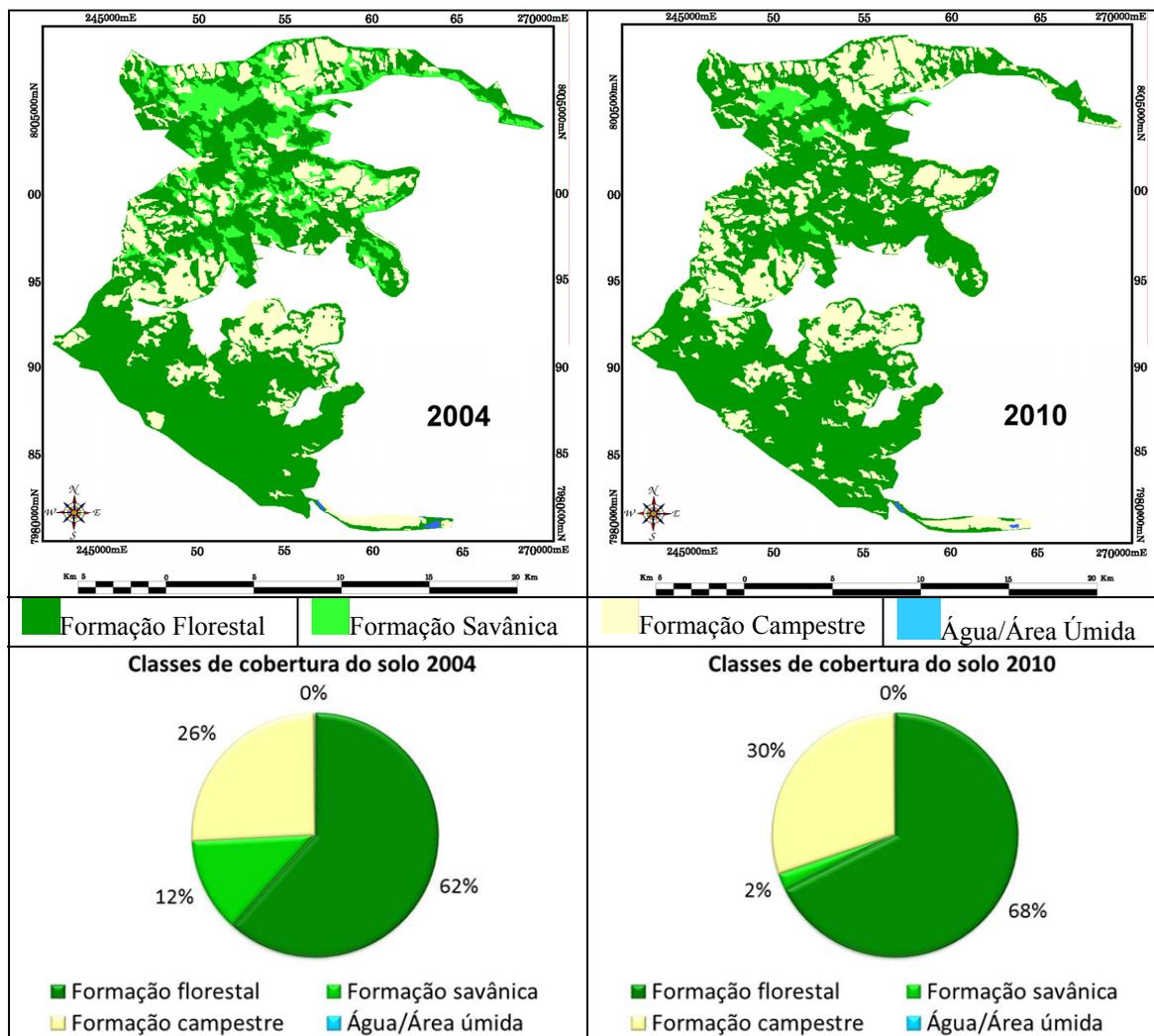


Figura 6. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 2004 e 2010.

Analisando o período de 1984 a 1999 (período anterior à criação do PENRT) (Figura 7), verifica-se que houve redução de 5% nas áreas ocupadas pelas formações florestais, 6% nas áreas ocupadas pelas formações savânicas e houve aumento de 11% nas áreas ocupadas pelas formações campestres. Ou seja, as fitofisionomias arbóreas foram substituídas para formação de pastagens, foram degradadas pela extração de madeira ou também sofreram com incêndios, frequentes na região.

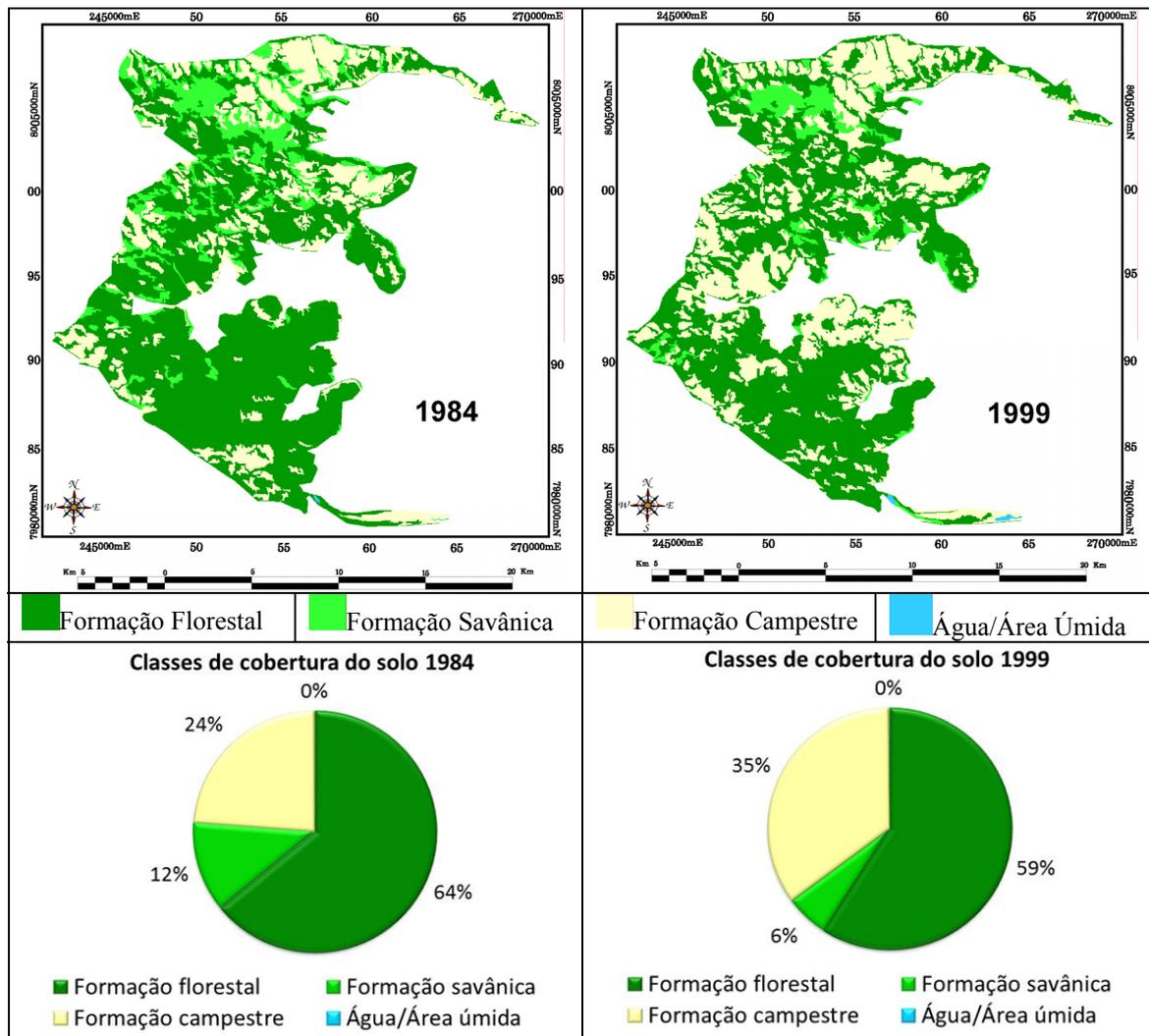


Figura 7. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1984 e 1999, período anterior a criação da unidade de conservação.

Já no período de 1999 a 2010 (período posterior à criação do PENRT) (Figura 8) houve aumento de 9% nas áreas ocupadas pelas formações florestais e redução de 4% nas áreas de formações savânicas e de 5% nas áreas de formações campestres. Percebe-se claramente que houve substituição das áreas de cerrado por florestas e redução nas áreas de pastagem. Apesar da situação fundiária do PENRT, onde apenas pequena parte das fazendas foi desapropriada e o fato de ser uma unidade de conservação nova (apenas 13 anos) e com pouca infraestrutura, já é possível perceber que houve, embora parcialmente, uma conscientização de preservação ambiental por parte dos moradores da região.

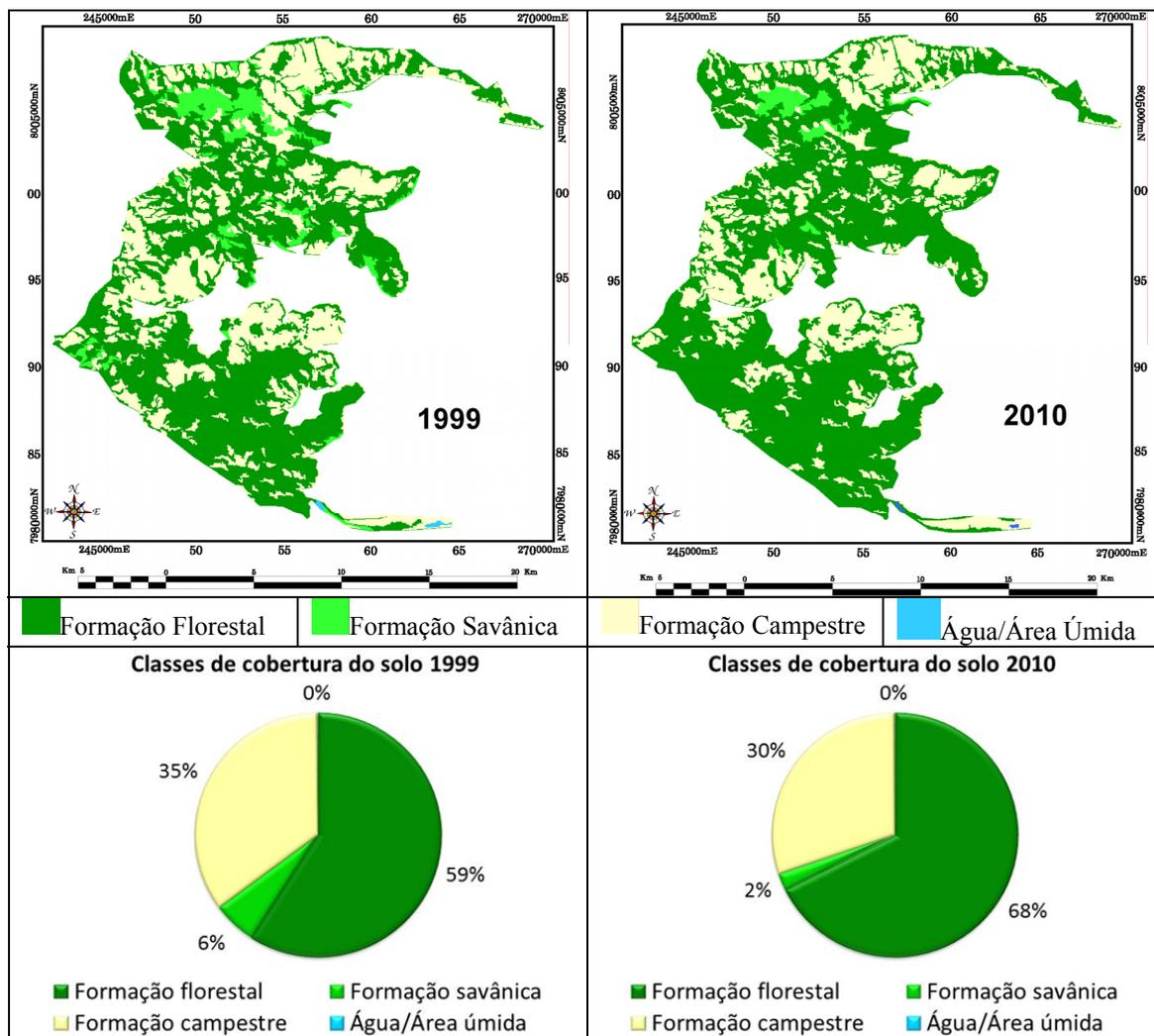


Figura 8. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1999 e 2010, período posterior a criação da unidade de conservação.

Analisando a dinâmica da paisagem ao longo de todo período estudado, de 1984 a 2010 (26 anos) (Figura 9), verifica-se que houve aumento de 4% nas áreas de floresta, redução de 10% nas áreas ocupadas pelas formações savânicas e aumento de 6% nas áreas ocupadas pelas formações campestres. O aumento nas áreas de floresta vem ocorrendo principalmente após a criação da unidade de conservação. A redução nas áreas de cerrado deve-se a regeneração dessas áreas em florestas, reflexo da criação do PENRT. Já a sua conversão em áreas de pastagem é reflexo da supressão da vegetação ocorrida em todo o período analisado.

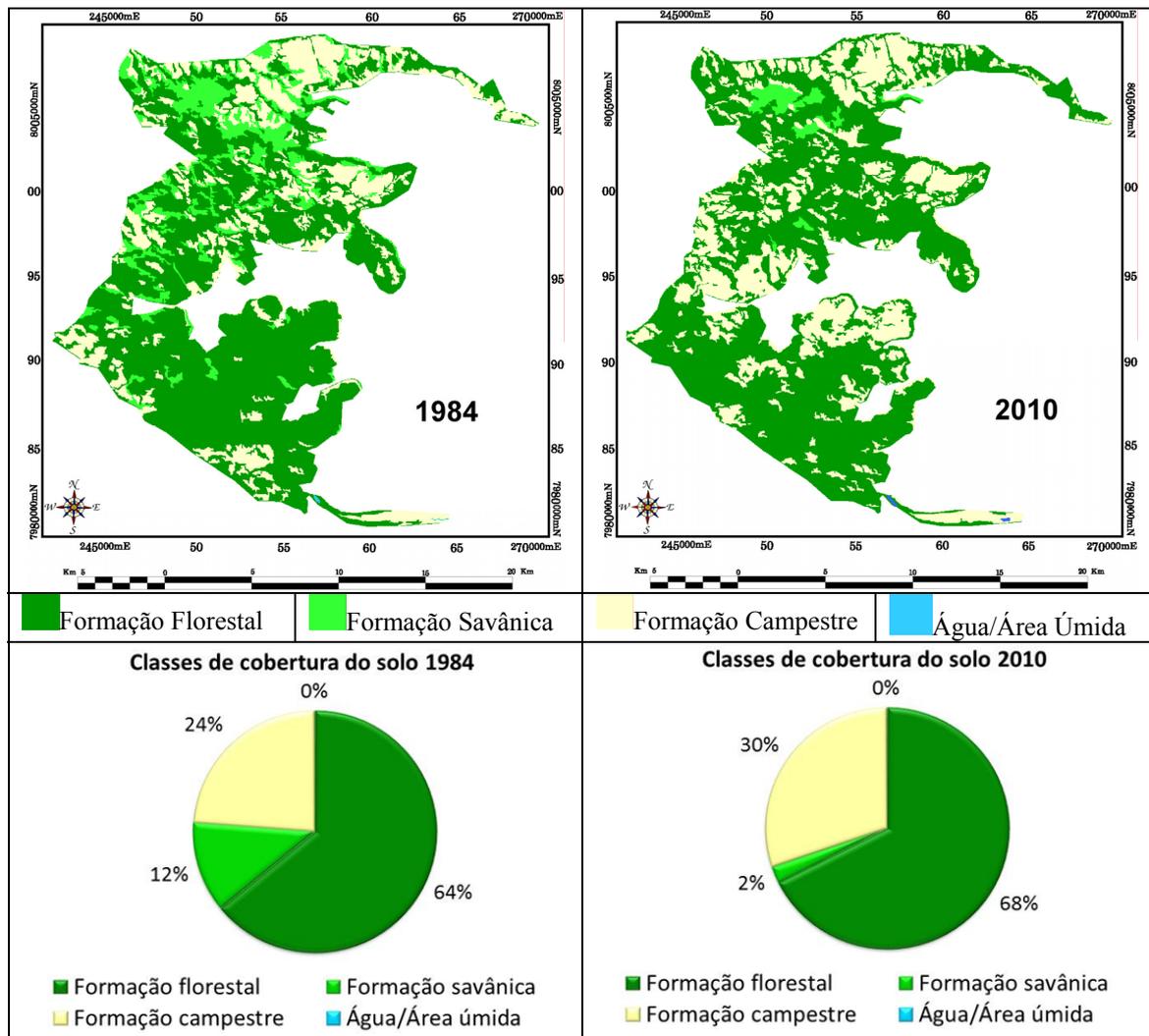


Figura 9. Análise multitemporal das cartas de cobertura do solo e a porcentagem da área ocupada por cada classe espectral de cobertura do solo do PENRT entre os anos de 1984 e 2010, todo período estudado (26 anos).

Assim foi possível avaliar a efetividade da proteção conferida pela unidade de conservação estudada. A implantação do PENRT mostrou-se efetiva para proteger os remanescentes da região, corroborando com os dados obtidos por CARRIJO (2005), pois de acordo com CARVALHO *et al.*, (2009) a fragmentação de habitats e a conversão da cobertura do solo para fins agrícolas são ameaças constantes para a conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado. Estas paisagens dominadas por atividades agrícolas tornaram-se mosaicos dinâmicos, que são formados por diferentes usos da terra. MACHADO *et al.* (2004) estimam que o bioma Cerrado deverá ser totalmente destruído no ano de 2030 se as atuais taxas de perda de habitat se manterem, demonstrando a importância da manutenção e criação de unidades de conservação.

5. CONCLUSÕES

A análise multitemporal da cobertura do solo, focada nas diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, permitiu comparar a sucessão de fitofisionomias em diferentes períodos juntamente com a descrição dos elementos espaciais que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica. Foi possível também analisar a mudança da função dos elementos presentes na paisagem através da variação da estrutura da vegetação (fitofisionomias), que indiretamente fornecem informações sobre matéria, energia e espécies, ao longo do tempo. Desse modo, foi possível avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação.

O PENRT é uma unidade de conservação nova, criada no ano de 1999 e grande parte da sua área ainda não foi desapropriada, assim ainda ocorrem atividades agropecuárias dentro do parque. Outra preocupação é sua zona de amortecimento, seu limite leste é totalmente tomado por extensas plantações de soja e algodão. Algumas nascentes (Ribeirão do Engano) encontram-se próximas ao parque, em seu entorno, fora da área de proteção, cercadas de plantações. Seria de grande importância que a região do entorno do parque também recebesse atenção visto que, na medida em que as desapropriações forem sendo feitas, a vegetação do parque possa se regenerar.

Assim o presente trabalho visa contribuir para que as autoridades responsáveis consigam manejar melhor esta unidade de conservação, ajudando na sua sustentabilidade e na manutenção da biodiversidade local.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos à FUNDECT pelos projetos de pesquisa nº 0081/08 e nº 0241/08 e pela bolsa de doutorado nº 057/10, ao PPGEC e CAPES pela bolsa de doutorado, à SEMAC/IMASUL/GUC pela concessão da autorização ambiental para pesquisa em unidades de conservação nº 006/2008, à Martha Gilka Gutiérrez Carrijo (SEMAC/IMASUL de Costa Rica), seu Vanderlei e Professor Wilson (Prefeitura Municipal de Costa Rica) por todo apoio nos trabalhos de campo.

7. LITERATURA CITADA

ACCACIO, G.M., BRANT, A., BRITEZ, R.M., CERQUEIRA, R., ESPINDOLA, E.L.G., GODOY, F., LANDAU, E.C., LOPES, A.T. L., MIKICH, S.B., OLIFIERS, N., PIMENTA, B.V.S., ROCHA, O., SILVANO, D.L., SMITH, W. S. & VENTORIN, L.B. *Ferramentas Biológicas para Avaliação e Monitoramento de Habitats Naturais Fragmentados*. p. 367 - 389. In: Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas* / Denise Marçal Rambaldi, Daniela América Suárez de Oliveira (orgs.). Brasília: 2ª ed., MMA/SBF, 510 p. 2005.

ALHO, C.J.R. & MARTINS, E.S. *De Grão em Grão o Cerrado Perde Espaço*. (Cerrado - Impactos do Processo de Ocupação). WWF – Fundo Mundial para a Natureza, Brasília. 1995.

CARRIJO, M.G.G. Vulnerabilidade ambiental: *O Caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari - MS*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 98 p. 2005.

CARVALHO, F.M.V., MARCO JÚNIOR, P. & FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*. 142. 1392–1403. 2009.

CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL. Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari. (<http://www.conservation.org.br/onde/cerrado/index.php?id=155>). Último acesso em 18 de setembro de 2012. 2003.

DEFINIENS IMAGING. *Ecognition version 2.0*. Munchen, Alemanha. 1 CD-ROM. 2002.

DURIGAN, G. *Métodos para análise de vegetação arbórea*. In: CULLEN Jr., L., RUDRAN, R., & VALLADARES-PÁDUA, C. (organizadores). *Métodos de Estudos*

em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 2. ed. Curitiba – PR. Editora da UFPR. 652p. 2006.

FELFILI, J.M. *Padrões de diversidade do cerrado do Centro-Oeste brasileiro*. 58 – 61 p.. In: E.L. Araújo, A.N. Moura, E.S.B Sampaio, L.M.S Gestinari & J.M.T Carneiro. Biodiversidade, Conservação e Uso Sustentável da Flora do Brasil. Recife: UFRPE. Imprensa Universitária. 2002.

FELFILI, J.M.; NOGUEIRA, P.E; SILVA-JÚNIOR, M.C.; MARIMOM, B.S. & DELITTI, W. B. C. *Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa – MT*. Acta Botanica Brasilica. 16(1): 103-112. 2002.

FORMAN, R.T., GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Willey. Nova Iorque. 619 p. 1986.

GAMARRA, R.M.. *Identificação de fitofisionomias e análise da fragmentação da vegetação na região do Parque Natural Municipal Salto do Sucuriú, utilizando imagem de alta resolução*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 73 p. 2008.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2. Bandas 1, 2, 3 e 4. ID ALAV2A236673960. Órbita/Ponto 405/3960 de 04 de julho de 2010. 2010 a.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor PRISM. Banda Pan. ID ALPSMN243383960. Órbita/Ponto 405/3960 de 19 de agosto de 2010. 2010 b.

HAYNES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S.H. *Landscape ecology and geographical information systems*. In: Haines-Young, R.; Green, D.R.; Cousins, S.H. (Eds), Landscape Ecology and GIS, London, Taylor & Francis. 129-139 P. 1993.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 18 de julho de 1984. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1984.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 16 de julho de 1989. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1989.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 30 de julho de 1994. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1994.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 28 de julho de 1999. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1999.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 25 de julho de 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2004.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 26 de julho de 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2010.

KLINK, C.A.; MACHADO, R. *A conservação do Cerrado brasileiro*. Megadiversidade. Volume 1. Número 1. 147-155. 2005.

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

LAURANCE, W.F. Habitat destruction: death by a thousand cuts. In: SODHI, N.S. and EHRLICH, P.R. *Conservation Biology for All*. Oxford University Press. New York. 73-86 p. 2010.

MACHADO, R.B., RAMOS NETO, M.B., PEREIRA, P.G.P., CALDAS, E.F., GONÇALVES, D.A., SANTOS, N.S., TABOR, K. & STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto nº 9.662, de 9 de outubro de 1999. *Cria o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, e dá outras providências*. Publicado no Diário Oficial de Mato Grosso do Sul de 14 de outubro de 1999.

MITTERMEIER, R.A., MYERS, N.; MITTERMEIER, C.G. *Hotspots. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX. Conservation International. 1999.

PAGOTTO, T.C.S.; CAMILOTTI, D.C.; LONGO, J.M. & SOUZA, P.R. *Bioma Cerrado e Área Estudada*. In: PAGOTTO, T.C.S. & SOUZA, P.R. (org.). *Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado*. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 18 – 30 p. 2006.

PARANHOS FILHO, A.C., GAMARRA, R.M., PAGOTTO, T.C., FERREIRA, T.S., TORRES, T.G., & MATOS FILHO, H.J.S. (2006). *Sensoriamento Remoto do Complexo Aporé-Sucuriú*. In: PAGOTTO, T.C.S. & SOUZA, P.R. (org.). *Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado*. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 31-44 p. 2006.

PCI Geomatics. *Geomatica Versão 9.1 for Windows*. Ontário, Canadá. 16 de dezembro de 2003. 1 CD-ROM. 2003.

RADFORD, J. Q., BENNETT, A. F., and CHEERS, G. J. *Landscape-level thresholds of habitat cover for woodland-dependent birds*. *Biological Conservation*, 124, 317–337. 2005.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. *Fitofisionomias do Bioma Cerrado*. In. SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, xii + 556p. 1998.

SISLA. Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. (http://sisla.imasul.ms.gov.br/Downloads/dados_complementares/). Último acesso em 5 de novembro de 2012. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). 2008.

TURNER, M.G. *Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models*. *Landscape Ecology*. 1: 27-39. 1987.

VIRGOS, E. *Role of isolation and habitat quality in shaping species abundance: a test with badgers (*Meles meles* L.) in a gradient of forest fragmentation*. *Journal of Biogeography*, 28, 381–389. 2001.

CAPÍTULO 3: DINÂMICA DA FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS

Roberto Macedo Gamarra¹

Antonio Conceição Paranhos Filho²

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC)

²Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET)

Cidade Universitária, s/n - Caixa Postal 549. CEP 79070-900. Campo Grande-MS,
Brasil. Tel.: (67) 3345-7495. Fax: (67) 3345-7450.

E-mail: ¹rmgamarra@gmail.com; ²antonio.paranhos@pq.cnpq.br

RESUMO: A análise da alteração das relações espaciais entre os distintos elementos presentes na paisagem que influenciam a distribuição de matéria, energia e espécies ao longo do tempo é uma das características fundamentais da ecologia da paisagem, chamada de dinâmica da paisagem. O estudo da dinâmica da paisagem permite analisar o comportamento e a variação (fluxo) de matéria, energia e espécies. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da análise da fragmentação da vegetação ao longo do tempo, utilizando geotecnologias. Com a análise multitemporal de diferentes elementos espaciais como a área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea, indicando a perda/ganho de habitat, do grau de fragmentação, do tamanho e da forma dos fragmentos (através de métricas da paisagem), ou seja, dos parâmetros que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, foi possível avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação. E também permitiu relacionar parâmetros simples como número, área e perímetro dos fragmentos com quantidade de matéria, energia e espécies. A comparação dos valores desses parâmetros ao longo do tempo indica o comportamento e a variação de matéria, energia e espécies (fluxo) em cada fragmento e na paisagem como um todo.

PALAVRAS CHAVE: Ecologia da paisagem; Geotecnologias; Análise multitemporal; Métricas da paisagem.

ABSTRACT: The analysis of changing spatial relationship between the distinct elements in the landscape that influence the distribution of matter, energy and species through time is one of the fundamental characteristics of landscape ecology, named landscape dynamics. The study of landscape dynamics allows analyzing the behavior and variation (flow) of matter, energy and species. The aim of this study was evaluating the landscape dynamics of one formal conservation unit, the Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, by vegetation fragmentation over time, utilizing geotechnologies. With the multitemporal analysis of different spatial elements as the area occupied by remnants of arboreal vegetation, indicating the gain/loss of habitat, the degree of fragmentation, the size and shape of fragments (through landscape metrics), in other words, the parameters for the existing ecological processes and their importance in biological conservation, was possible to evaluate the effectiveness of the protection of this conservation unit. It was also possible to relate simple parameters such as number, area and perimeter of fragments with amount of matter, energy and species. The comparison of these parameters over time indicates the behavior and variation of matter, energy and species (flow) in each fragment and the landscape as a whole.

KEY WORDS: Landscape ecology; Geotechnology; Multitemporal analysis; Landscape metrics.

1. INTRODUÇÃO

No Mato Grosso do Sul, cuja área é de aproximadamente 358.000 km², o Cerrado ocupa 65,5% da área total do Estado (COSTA *et al.*, 2003). Em 1985, 41,6% do Cerrado no Mato Grosso do Sul estava ocupado por áreas destinadas às atividades agropecuárias, sendo intensificada a ocupação destas áreas na década de 90 (POTT & POTT, 2003). Atualmente, a área encontra-se bem mais reduzida e em muitas propriedades não existem nem os 20% de vegetação nativa exigidos por lei (POTT & POTT, 2003; PAGOTTO *et al.*, 2006).

A fragmentação de habitats e a conversão da cobertura do solo para fins agrícolas são ameaças constantes para a conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado. Estas paisagens dominadas por atividades agrícolas tornaram-se mosaicos dinâmicos, que são formados por diferentes usos da terra (CARVALHO *et al.*, 2009). MACHADO *et al.* (2004) estimam que o bioma Cerrado deverá ser totalmente destruído no ano de 2030 se as atuais taxas de perda de habitat se manterem.

Diante da drástica fragmentação das áreas de Cerrado é fundamental a realização de pesquisas, sobretudo nos locais que possuem fragmentos significativos e que estão protegidos sob alguma forma de unidade de conservação. Segundo KLINK & MACHADO (2005), um dos obstáculos para a conservação da diversidade biológica do Cerrado é a insuficiência de estudos direcionados para a resolução de problemas ambientais. Conhecer a variabilidade ambiental e a dinâmica da fragmentação florestal fornece dados para o manejo correto e a conservação.

Dentre as consequências mais importantes do processo de fragmentação florestal, destacam-se a diminuição da diversidade biológica, a extinção de espécies, a modificação na polinização, dispersão de sementes por animais, herbivoria, predação de herbívoros e outros distúrbios do regime hidrológico das bacias hidrográficas, as mudanças climáticas, a degradação dos recursos naturais e a deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais (SCARIOT *et al.*, 2005). Além disso, a fragmentação resulta em remanescentes de vegetação nativa que se avizinham a áreas agrícolas e outras formas de uso, alterando significativamente a água e os nutrientes dos solos (SAUNDERS *et al.*, 1991). Reduz e isola as áreas propícias à sobrevivência das populações nativas, provocando mudanças na paisagem como um todo (METZGER, 1999).

Nesse contexto, os conceitos da Ecologia da Paisagem aliados às ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para o entendimento e planejamento para resolução de problemas ambientais.

A ecologia da paisagem traz um enfoque centrado nas relações horizontais entre as diferentes unidades da paisagem e considera o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, a interação e troca através da paisagem, a influência da heterogeneidade nos processos bióticos e abióticos e seu manejo (TURNER, 1987; METZGER, 2001).

Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto são considerados “as mais importantes ferramentas holísticas para a análise, planejamento e gestão da paisagem (BASTIAN & STEINHARDT, 2002 *apud* LANG & BLASCHKE, 2009).

2. OBJETIVOS

Avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da análise da fragmentação da vegetação ao longo do tempo, utilizando geotecnologias.

2.1. Objetivos específicos

- Realizar a análise multitemporal da área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea e da fragmentação da paisagem durante 26 anos (de 1984 até 2010).
- Avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação, ou seja, avaliar as mudanças na fragmentação da vegetação em dois cenários distintos, antes e depois de sua criação (outubro de 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), além de sua importância para o bioma Cerrado, abriga nascentes deste importante rio para o

Pantanal. Está localizado na região Centro Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso de Sul, entre as coordenadas 17°59' a 18°15' S e 53°10' a 53°26' W. O PENRT foi criado através do Decreto Estadual nº 9.622 de 09 de outubro de 1999 (MATO GROSSO DO SUL, 1999), com área de 30.618,96 hectares, abrangendo 26.849,62 hectares no Município de Alcinópolis-MS e 3.769,34 hectares em Costa Rica-MS (Figura 1). É uma das áreas núcleo do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari (CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL, 2003), ou seja, um dos remanescentes ambientalmente mais importantes no Cerrado.

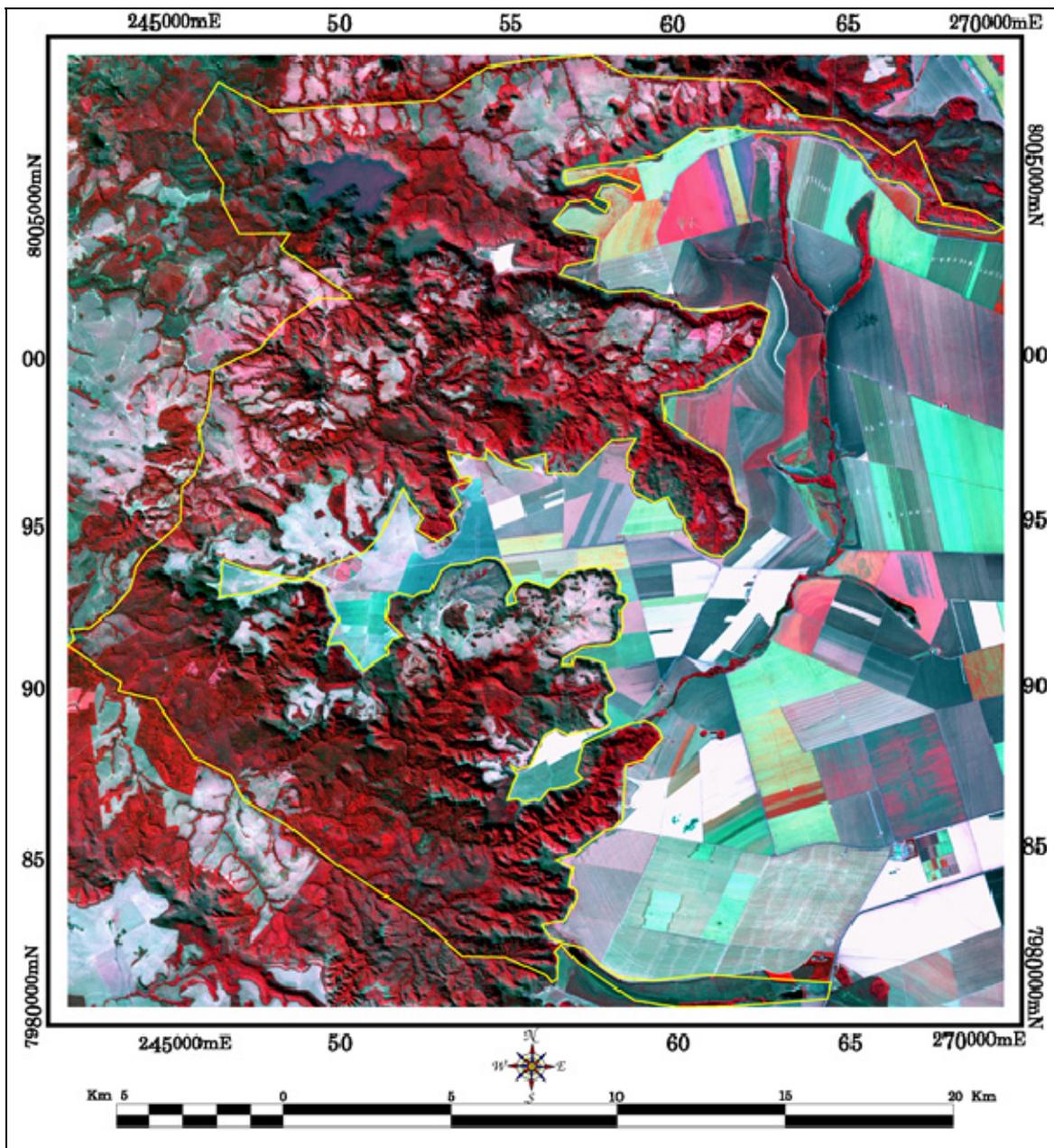


Figura 1. Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT). Fonte: Imagem do satélite ALOS sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m de 04 de julho de 2010. Composição falsa cor RGB 432. Limite do PENRT em amarelo. No lado esquerdo da imagem, as áreas em vermelho intenso significam vegetação densa. O padrão geométrico do lado direito da imagem mostra áreas agrícolas, que circundam o Parque.

3.2. Materiais utilizados

Na realização do trabalho foram utilizadas seis cenas do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 224/073, com 30 m de resolução espacial, de 18 de julho de 1984 (INPE, 1984), 16 de julho de

1989 (INPE, 1989), 30 de julho de 1994 (INPE, 1994), 28 de julho de 1999 (INPE, 1999), 25 de julho de 2004 (INPE, 2004) e 26 de julho de 2010 (INPE, 2010). Como material de apoio foram utilizadas ainda duas cenas ortorretificadas do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), uma do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com 10 m de resolução espacial de 04 de julho de 2010 (GLOBALGEO, 2010 a) e outra do sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com 2,5 m de resolução espacial de 19 de agosto de 2010 (GLOBALGEO, 2010 b).

Todas as seis cenas do satélite LANDSAT 5 foram georreferenciadas com erro inferior a 1 *pixel*, utilizando como base de referência as cenas do satélite ALOS (UTM, fuso 22, WGS84). Essas cenas foram recortadas utilizando o vetor do limite oficial do PENRT (em formato *shapefile*) obtido no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA) do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) (SISLA, 2008).

Na análise multitemporal foram utilizadas somente imagens LANDSAT, todas da época seca, para garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor interferência da sazonalidade (fenologia). Além de manter as mesmas características da imagem (resolução espacial, espectral e radiométrica).

Os programas utilizados foram o Geomatica 9.1 (PCI, 2003) para o georreferenciamento e recorte das imagens de satélite e integração de todos os dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Ecognition 2.0 (DEFINIENS, 2002) para classificação orientada a objetos.

3.3. Coleta de dados em campo

Foram realizadas três etapas de trabalho de campo, em janeiro de 2009, agosto de 2010 e em dezembro de 2010, no intuito de identificar os tipos de cobertura do solo (incluindo as fitofisionomias descritas por RIBEIRO & WALTER, 1998) e fazer o reconhecimento dos fragmentos de vegetação para relacioná-los com as imagens de satélite da área de estudo, utilizando máquina fotográfica digital, densiômetro esférico e receptor GPS de navegação (*Global Positioning System*). Durante o levantamento do histórico da área, os moradores e a gerente do parque foram entrevistados sobre as mudanças ocorridas na cobertura do solo da área de estudo. Levantamentos bibliográficos também auxiliaram nessa atividade.

3.4. Cobertura do solo: classificação das imagens

Depois dos trabalhos de campo, para geração das cartas de cobertura do solo dos diferentes anos, foi realizada a classificação orientada a objetos nos seis recortes das imagens do satélite LANDSAT 5, utilizando o programa Ecognition 2.0 (DEFINIENS, 2002), de acordo com o método utilizado em GAMARRA (2008). Foram utilizadas quatro classes de cobertura do solo, incluindo as fitofisionomias descritas na chave de RIBEIRO & WALTER (1998) e agrupando diferentes classes espectrais de cobertura do solo descritas em PARANHOS FILHO *et al.* (2006), que faz a relação entre fitofisionomias do Cerrado e imagens do satélite Landsat para o Cerrado:

1. Formação florestal: Engloba as fitofisionomias Cerradão, Mata Seca, Mata Ciliar e Mata de Galeria;
2. Formação savânica: Corresponde a fitofisionomia Cerrado Sentido Restrito;
3. Formação campestre: Engloba as fitofisionomias Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre. Vale ressaltar que na classe formação campestre estão incluídos tanto campos nativos como pastos e outras formações campestres exóticas/cultivadas;
4. Água/ Área úmida: Corresponde a corpos aquosos como rios e lagos e áreas úmidas como brejos, veredas e banhados.

É importante destacar que foram incluídos na classe espectral de cobertura do solo Formação Campestre os campos de Cambaúva ou cambauvais, que são campos onde predominam uma espécie nativa de bambu (*Apoclada arenicola*), conhecida como Cambaúva que são encontradas predominantemente nas áreas de encostas do PENRT.

3.5. Análise da fragmentação da paisagem

O grau de fragmentação da cobertura vegetal (avaliado através do número de fragmentos existentes no PENRT em cada ano analisado) e o índice de circularidade (IC) foram calculados a partir dos fragmentos de vegetação arbórea, ou seja, foram utilizadas nesse cálculo somente as classes espectrais de cobertura do solo Formação Florestal e Formação Savânica (fitofisionomias de Mata ciliar, Mata seca, Cerradão e Cerrado sentido restrito), pois este índice é geralmente utilizado em fragmentos florestais, mas visto que o Cerrado é um bioma com vegetação predominantemente

arbóreo-arbustiva, foram incluídos os fragmentos de fitofisionomias que possuem árvores.

A partir dos vetores gerados na classificação orientada a objetos dos recortes das imagens dos diferentes anos analisados (com atributos de área e perímetro dos polígonos) foi criado um banco de dados SIG.

O primeiro passo foi dissolver os polígonos adjacentes das classes Formação Florestal e Formação Savânica, desse modo os polígonos passaram a representar os fragmentos de vegetação.

Vale ressaltar que os fragmentos com área inferior a 1 ha foram descartados pois estão sujeitos a distorção de área e perímetro no momento da geração dos vetores a partir de imagens do satélite LANDSAT 5 (*pixel* de 30 x 30m).

3.5.1. Métrica da paisagem: Índice de Circularidade (IC)

O Índice de Circularidade (IC) de cada fragmento foi obtido por meio da equação:

$$IC = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S/P \quad (\text{equação 1})$$

onde,

IC = índice de circularidade;

S = área do fragmento (em metros quadrados);

P = perímetro do fragmento (em metros).

A classificação dos fragmentos quanto à forma foi realizada a partir dos valores de IC, que permitem identificar se os fragmentos possuem tendências de formas alongadas ou circulares. Os valores de IC igual a 1 indicam fragmentos com tendência circular e, à medida que esse valor se torna menor, o fragmento apresenta-se com tendência mais alongada (NASCIMENTO *et al.*, 2006).

Assim, no presente trabalho, fragmentos que apresentaram valores de IC < 0,4 foram classificados como muito irregulares, com IC entre 0,4 e 0,65 como irregulares e com IC > 0,65 como regulares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Área ocupada pelos remanescentes

Aqui foram analisadas primeiramente a perda de habitat (Figura 2) e a fragmentação da paisagem será abordada posteriormente (Figura 11). Uma questão-chave para a conservação é a importância relativa da perda de habitat *versus* a fragmentação de habitat (FAHRIG, 2003). Ou seja, qual é a importância relativa do quanto de habitat permanece na paisagem *versus* o quão fragmentada ela é? Alguns estudos sugerem que tanto a perda de habitat como a sua fragmentação são influências significativas, embora a perda de habitat seja geralmente uma influência mais forte para uma maior proporção de espécies (BENNETT & SAUNDERS, 2010).

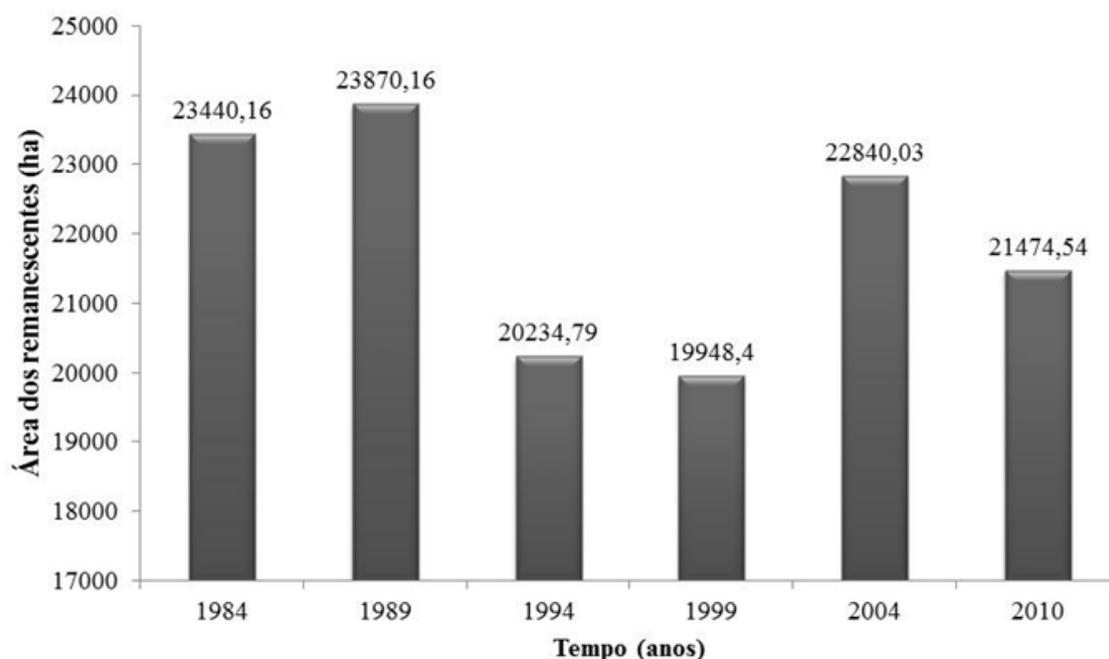


Figura 2. Área (ha) ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT em todos os anos avaliados.

A área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT (somatório das áreas dos fragmentos maiores que 1 ha) aumentou 1,47% no período de 1984 a 1989 (Figura 3).

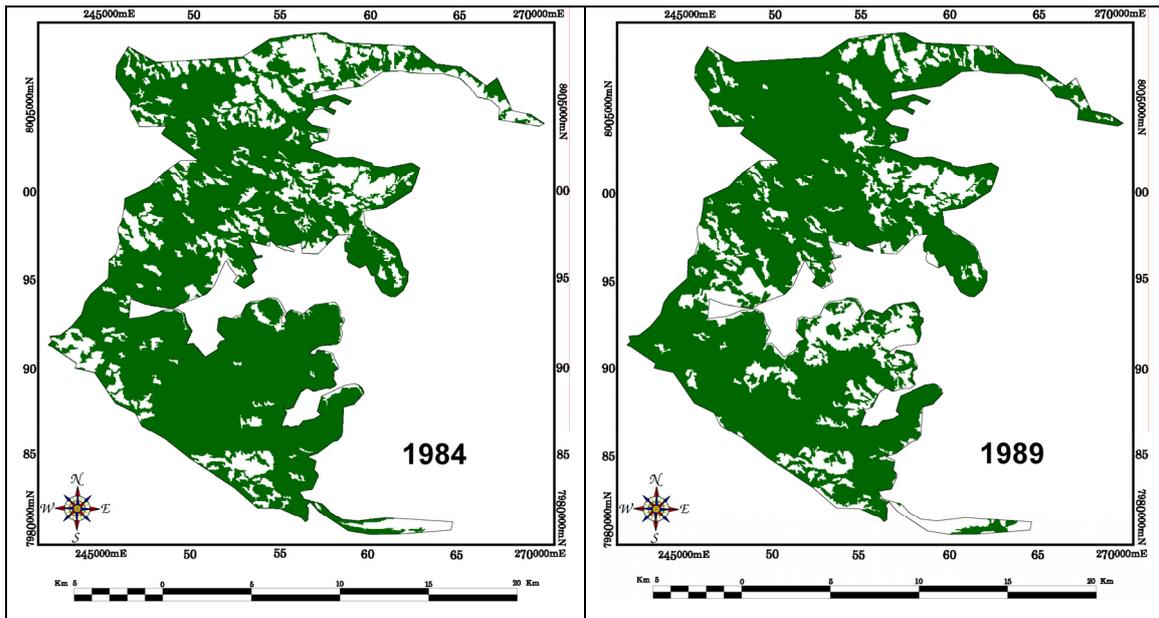


Figura 3. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1984 a 1989 (em verde) e seu limite (em preto).

De 1989 a 1994 houve redução de 14,93% na área dos remanescentes (Figura 4).

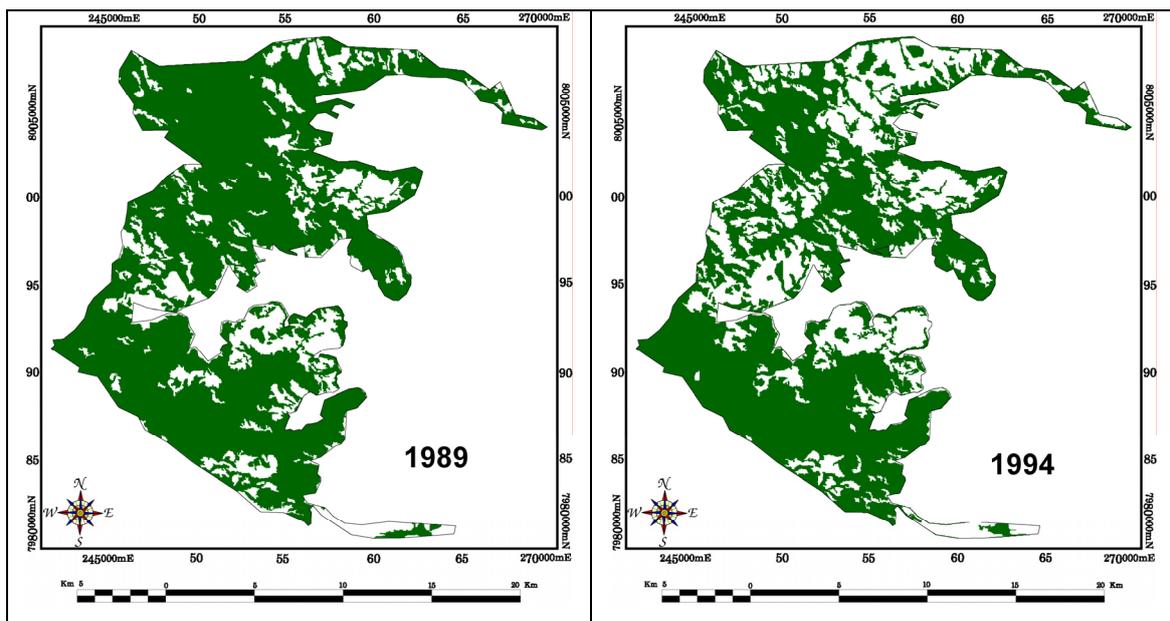


Figura 4. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1989 a 1994 (em verde) e seu limite (em preto).

No período de 1994 a 1999 houve redução de 1,42% na área dos remanescentes (Figura 5).

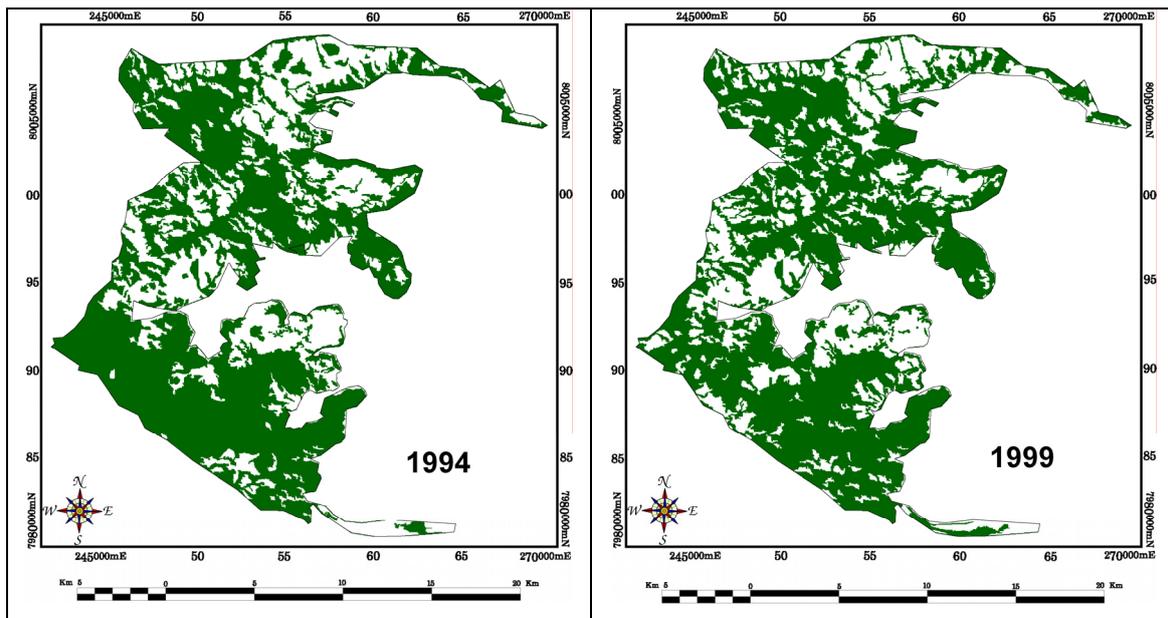


Figura 5. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1994 a 1999 (em verde) e seu limite (em preto).

De 1999 a 2004 houve aumento de 14,5% nessa área (Figura 6).

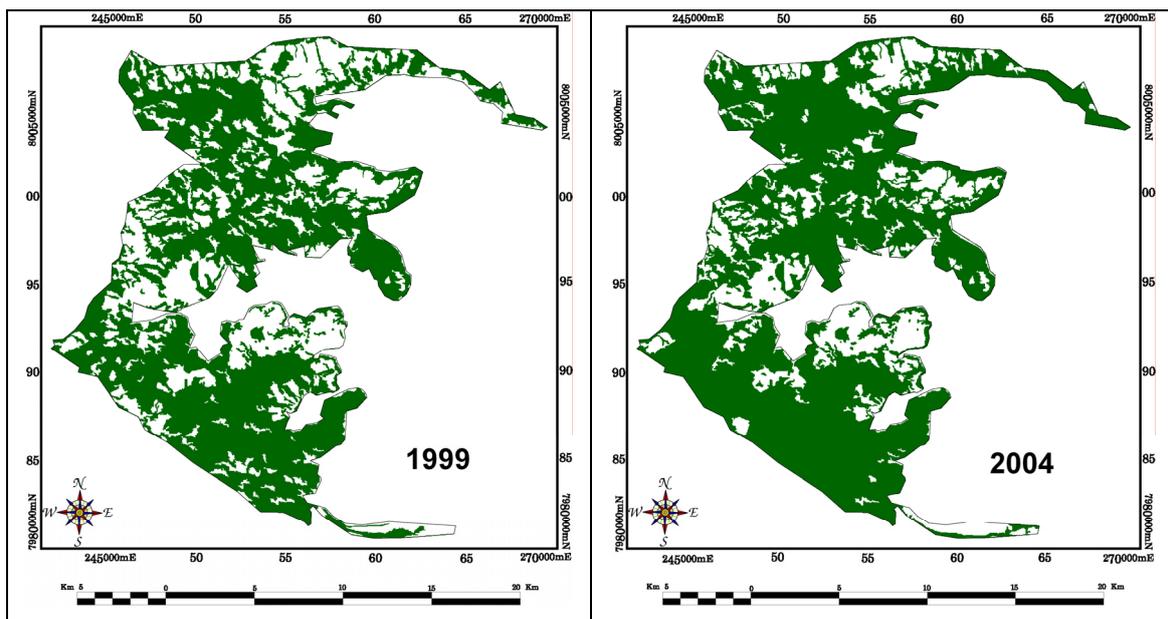


Figura 6. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1999 a 2004 (em verde) e seu limite (em preto).

Já no período de 2004 a 2010 houve redução de 5,98% na área dos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT (Figura 7).

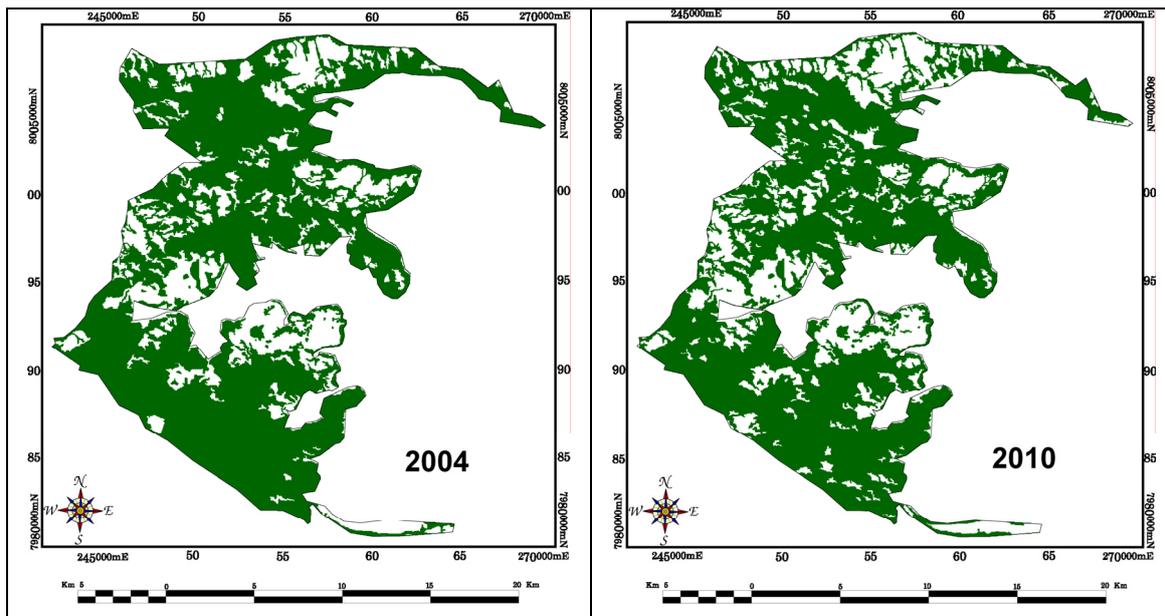


Figura 7. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 2004 a 2010 (em verde) e seu limite (em preto).

Vale ressaltar que o PENRT foi criado no ano de 1999, assim de 1984 a 1999 (período anterior à criação do parque) houve redução de 14,9% na área dos remanescentes de vegetação arbórea (Figura 8).

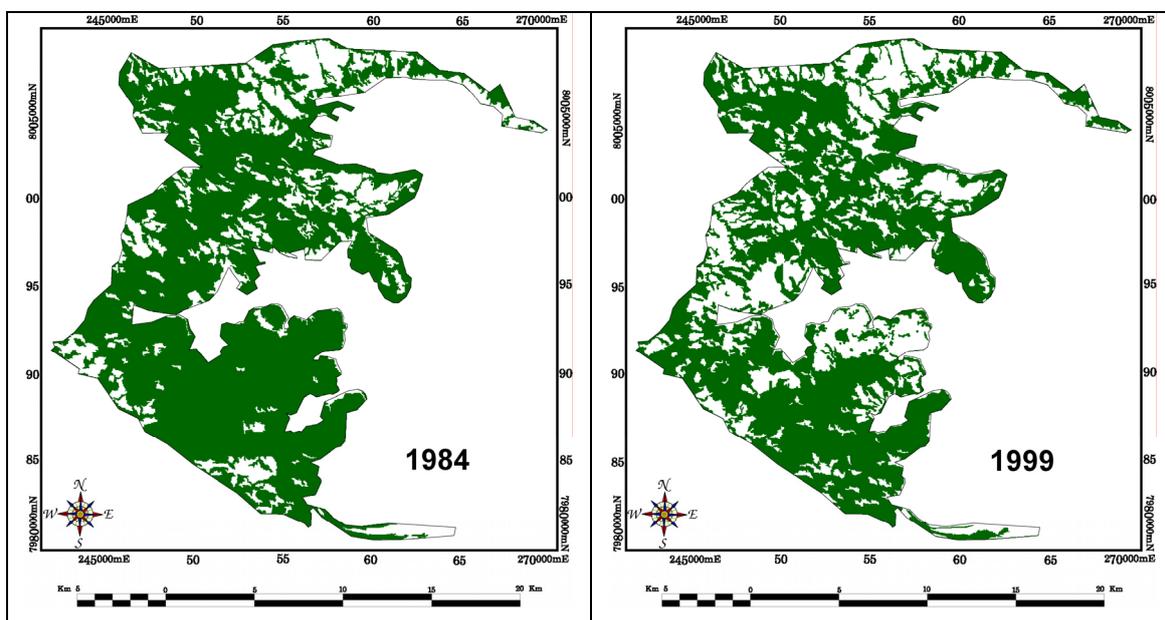


Figura 8. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1984 a 1999 (período anterior à criação do parque) (em verde) e seu limite (em preto).

Já no período de 1999 a 2010 (posterior à criação do parque) houve aumento de 7,65% na área dos remanescentes (Figura 9). Estes resultados demonstram que a criação do parque ajudou na regeneração da vegetação arbórea da região.

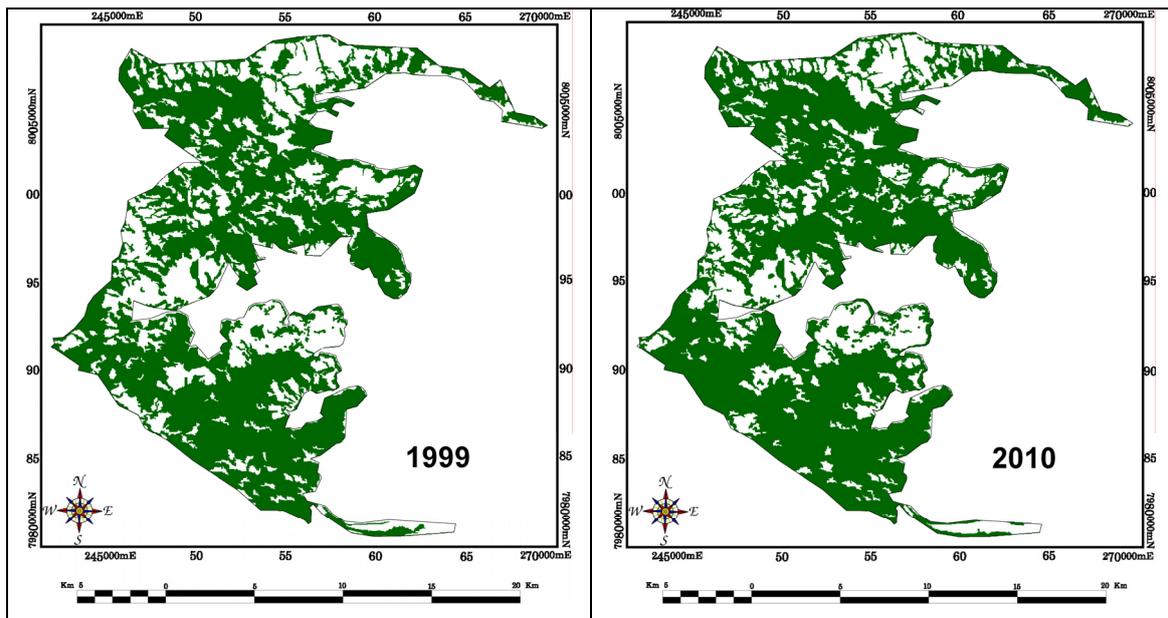


Figura 9. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1999 a 2010 (posterior à criação do parque) (em verde) e seu limite (em preto).

Mesmo após a criação do PENRT, no período de 2004 a 2010 houve uma pequena redução na área dos remanescentes. Um dos fatores que pode ter contribuído com isso é o fogo. A região do PENRT sofre frequentemente com incêndios, característica do bioma Cerrado. E como o PENRT apresenta relevo acidentado e muitas vezes de difícil acesso, grandes áreas do parque são consumidas pelo fogo.

Quando analisamos todo o período estudado, de 1984 a 2010, percebe-se que houve redução de 9,15% na área dos remanescentes de vegetação arbórea. Reflexo principalmente do período anterior à criação do PENRT (Figura 10).

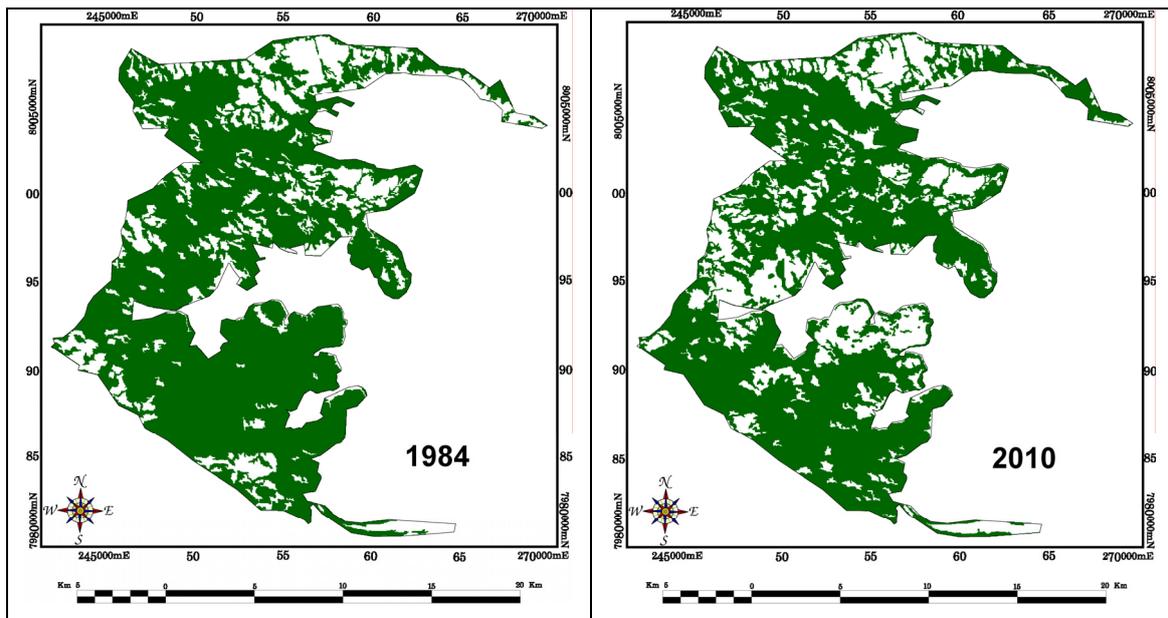


Figura 10. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1984 a 2010 (todo período estudado) (em verde) e seu limite (em preto).

4.2. Grau de fragmentação

Em relação ao grau de fragmentação da vegetação arbórea (número de fragmentos) do PENRT, observa-se resposta semelhante a variação na área ocupada pelos remanescentes em cada ano (Figura 11). Nos períodos onde a área dos remanescentes aumentou, houve redução no número de fragmentos. Já nos períodos em que houve redução na área dos remanescentes, houve aumento no número de fragmentos.

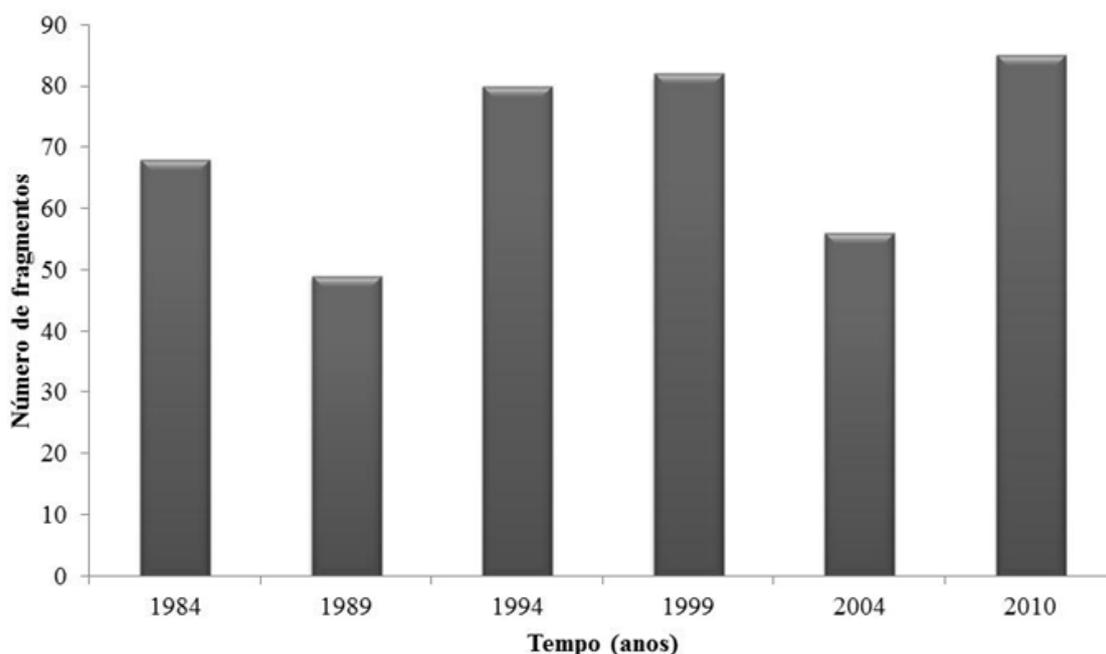


Figura 11. Grau de fragmentação (Número de fragmentos) em cada ano analisado.

De acordo com BENNETT & SAUNDERS (2010) a alteração da paisagem é um processo dinâmico, uma série de mapas de cobertura do solo em intervalos ao longo do tempo é um importante método, pois ilustra o padrão de mudança da vegetação original, como apresentado no presente trabalho. Alterações características ao longo dessa trajetória de tempo incluem a diminuição na área total dos fragmentos, decréscimo no tamanho de muitos fragmentos (grandes manchas se tornam escassas e pequenos fragmentos predominam), o aumento do isolamento dos fragmentos de habitat semelhantes e as formas dos fragmentos dominadas por bordas retas quando comparadas com os limites curvilíneos de feições naturais, como os rios.

4.3. Tamanho dos fragmentos

Foi analisada a variação no tamanho dos fragmentos ao longo dos anos (Figura 12) sendo possível relacionar o tamanho dos fragmentos com a distribuição de matéria, energia e espécies (relação espécie-área).

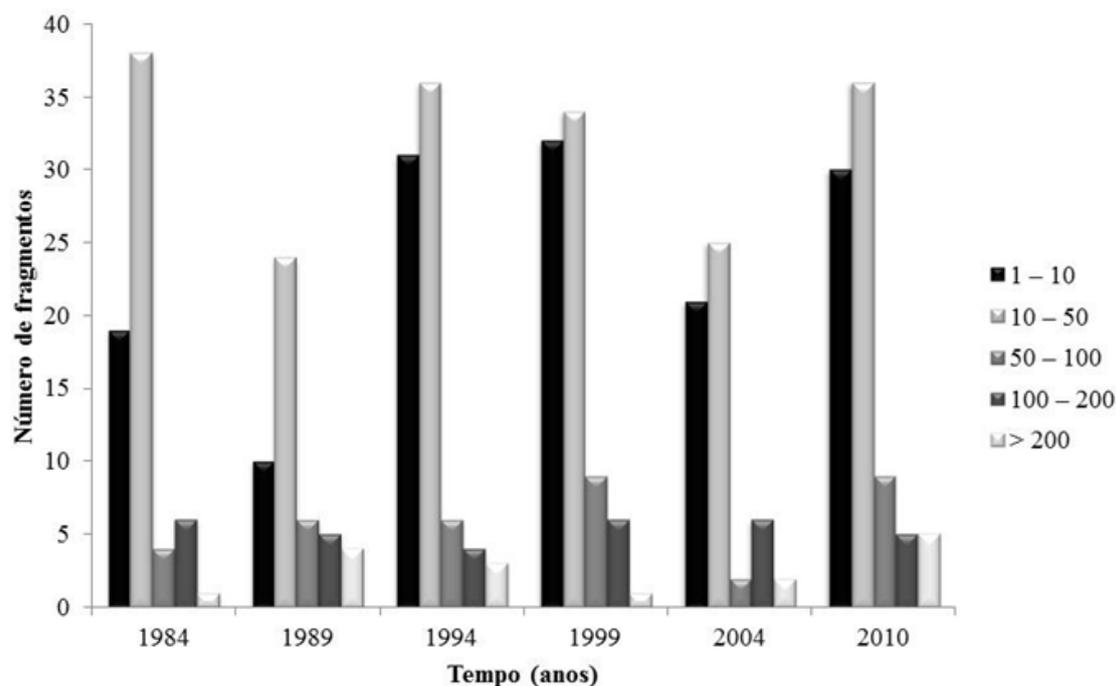


Figura 12. Número de fragmentos em cada classe de tamanho (ha) nos diferentes anos analisados.

A relação espécie-área mostra que com o aumento do tamanho do habitat, ocorre um aumento na riqueza de espécies (ARRHENIUS, 1921; PRESTON, 1962 a; PRESTON, 1962 b). Pequenas áreas têm menor diversidade de habitats, suportam populações menores, portanto, menos espécies podem manter populações viáveis, e representam uma pequena amostra do habitat original, podendo ter menos espécies que uma amostra maior, ou seja, quando habitats são fragmentados em partes menores, espécies são perdidas (CONNOR & MCCOY, 1979).

Mais tarde, a relação espécie-área foi utilizada como elemento central na criação da Teoria de Biogeografia de Ilhas por MACARTHUR & WILSON (1963). Nesta teoria, foi descrito um modelo de equilíbrio insular que determina que o número de espécies presentes em uma ilha é o resultado de equilíbrio dinâmico entre a taxa de imigração de espécies novas para a ilha e a taxa de extinção das espécies presentes na ilha. Assim, foi feita uma comparação desse modelo de ilhas com os fragmentos de vegetação. Além da maior heterogeneidade de habitats, grandes áreas podem abrigar mais espécies por serem maiores alvos de colonização e ainda por terem mais recursos e sustentarem populações maiores, reduzindo o risco de extinções locais.

Verificou-se em todos os anos analisados a presença de um ou dois fragmentos que representam aproximadamente 90% dos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT. Tratam-se de imensos fragmentos extremamente “recortados”, mas totalmente

conectado em suas partes. Em 1984 esse grande fragmento possuía mais de 21.000 ha. Em 1989 seu tamanho praticamente continuou o mesmo. Em 1994 o fragmento diminuiu para aproximadamente 17.000 ha. Em 1999 ele aumentou para aproximadamente 17.500 ha. Em 2004 esse grande fragmento se dividiu em duas partes, uma com quase 12.000 ha e outra com aproximadamente 9.000 ha. Em 2010 estas duas partes diminuíram um pouco e ficaram com aproximadamente 9.500 e 8.400 ha, no entanto, o número de fragmentos maiores que 200 ha aumentou.

Estes fragmentos praticamente conectam todos os outros fragmentos menores que existem no PENRT permitindo que toda a unidade de conservação funcione como um só grande fragmento, pois os fragmentos menores se encontram no seu entorno. A grande quantidade de cursos d'água dentro do parque também pode promover a conectividade desses fragmentos, funcionando como corredores de biodiversidade.

Um conjunto de pequenos fragmentos isolados, porém próximos, pode efetivamente proporcionar vias de acesso, funcionando como trampolins ecológicos. Enquanto os grandes fragmentos são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala, os pequenos remanescentes cumprem funções extremamente relevantes ao longo da paisagem, funcionando como elementos de ligação entre grandes áreas, promovendo um aumento no nível de heterogeneidade da matriz e atuando como refúgio para espécies que requerem ambientes particulares que só ocorrem nessas áreas (FORMAN & GODRON, 1986).

4.4. Forma dos fragmentos

Como a ecologia da paisagem lida com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, torna-se necessário quantificar com precisão os padrões espaciais. Uma das formas de quantificação é a utilização das chamadas “métricas da paisagem”. Existem mais de uma centena de métricas, porém muitas delas medem a mesma coisa de forma diferente. Calcular as métricas é simples e muitas vezes automático (quando se usa um programa). Muito mais difícil é interpretar e analisar os resultados, em relação aos dados biológicos/ecológicos coletados, ou seja, mais importante que o valor das métricas é a interpretação do seu significado biológico. O cálculo das métricas pode ser automático, mas o uso adequado, não (METZGER, 2006).

Aqui utilizamos o índice de circularidade (IC) para avaliar a forma dos fragmentos. Verificamos que a grande maioria dos fragmentos possui forma irregular e

muito irregular, ou seja, apresentam valores de índice de circularidade (IC) baixos, em todos os anos analisados (Figura 13).

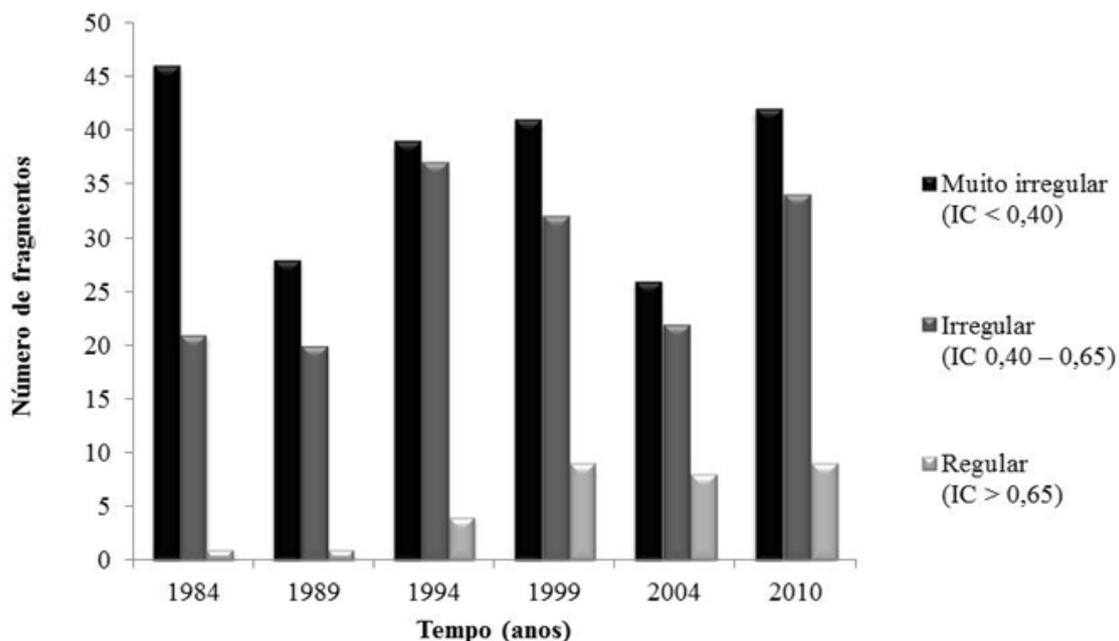


Figura 13. Número de fragmentos em cada classe de forma (IC: Índice de Circularidade).

Fragmentos de habitats mais próximos ao formato circular têm a razão borda-área minimizada e, portanto, o centro da área está mais distante das bordas e consequentemente, mais protegido dos fatores externos.

Todos os efeitos relacionados às bordas são particularmente mais intensos em fragmentos pequenos, porém a forma dos fragmentos, e especialmente aqueles muito estreitos e alongados ou com formas muito irregulares, com muitas invaginações, podem permitir que as alterações penetrem em grande parte da área ou mesmo em toda a área do fragmento. Isto faz com que espécies sensíveis a estas alterações sejam excluídas de toda a área do fragmento (KAPOS, 1989; LAURANCE *et al.*, 1998).

O predomínio de formas irregulares dos fragmentos pode ser explicado por vários fatores, um deles é o relevo do parque que é bastante acidentado, formando dessa maneira fragmentos de forma bastante irregular.

Outro fator que deve ser considerado é a situação fundiária do PENRT, que é formado por muitas fazendas que ainda não foram desapropriadas, nessas fazendas a principal atividade é a criação de gado, dessa maneira parte da vegetação foi suprimida para formação de pastagem.

Assim, esses remanescentes de vegetação arbórea acabam sendo “recortados” de diversas maneiras, fazendo com que existam fragmentos de diversos formatos e muitas vezes esses formatos apresentam um perímetro muito grande em relação a sua área.

5. CONCLUSÕES

Com a análise multitemporal de diferentes elementos espaciais como a área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea, indicando a perda/ganho de habitat, do grau de fragmentação, do tamanho e da forma dos fragmentos, ou seja, dos parâmetros que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, foi possível avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação. E também permitiu relacionar parâmetros simples como número, área e perímetro dos fragmentos com quantidade de matéria, energia e espécies. A comparação dos valores desses parâmetros ao longo do tempo indica o comportamento e a variação de matéria, energia e espécies (fluxo) em cada fragmento e na paisagem como um todo.

A técnica e as ferramentas utilizadas se mostraram eficientes, minimizando custos e tempo para obtenção dessas informações.

Verificamos que de 1999 a 2010 (período posterior à criação do PENRT) houve aumento na área dos remanescentes de vegetação arbórea e no número de grandes fragmentos, ou seja, a vegetação do parque vem se recuperando ao longo do período analisado.

O PENRT é uma unidade de conservação nova, criada no ano de 1999 e grande parte da sua área ainda não foi desapropriada, assim ainda ocorrem atividades agropecuárias dentro do parque. Outra preocupação é sua zona de amortecimento, seu limite leste é totalmente tomado por extensas plantações de soja e algodão. Algumas nascentes (Ribeirão do Engano) encontram-se próximas ao parque, em seu entorno, mas fora da área de proteção, cercadas de plantações. Seria de grande importância que a região do entorno do parque também recebesse maior atenção, para que na medida em que as desapropriações forem sendo feitas, a vegetação do parque e de seu entorno possa se regenerar.

Assim, o presente trabalho visa contribuir para o melhor manejo desta unidade de conservação, ajudando-a na sua sustentabilidade e na manutenção da biodiversidade local.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos à FUNDECT pelos projetos de pesquisa nº 0081/08 e nº 0241/08 e pela bolsa de doutorado nº 057/10, ao PPGEC e CAPES pela bolsa de doutorado, à SEMAC/IMASUL/GUC pela concessão da autorização ambiental para pesquisa em unidades de conservação nº 006/2008, à Martha Gilka Gutiérrez Carrijo (SEMAC/IMASUL de Costa Rica), seu Vanderlei e Professor Wilson (Prefeitura Municipal de Costa Rica) por todo apoio nos trabalhos de campo.

7. LITERATURA CITADA

ARRHENIUS, O. *Species and Area*. Journal of Ecology, 9: 95-99. 1921.

BENNETT, A.F. & SAUNDERS, D.A. *Habitat fragmentation and landscape change*. In: SODHI, N.S. and EHRLICH, P.R. Conservation Biology for All. Oxford University Press. New York. 88-106 p. 2010.

CARVALHO, F.M.V., MARCO JÚNIOR, P. & FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*. 142. 1392–1403. 2009.

CONNOR, E.F. and MCCOY, E.D. *The statistics and biology of the species-area relationship*. American Naturalist, 113, 791–833. 1979.

CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL. Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari. (<http://www.conservation.org.br/onde/cerrado/index.php?id=155>). Último acesso em 18 de setembro de 2012. 2003.

COSTA, R.B., SALLES, A.T. & MOURA, H.H.S. *Degradação de reservas florestais particulares e desenvolvimento sustentável em Mato Grosso do Sul*. Revista Internacional de Desenvolvimento Local 4(7): 41 – 46. 2003.

DEFINIENS IMAGING. *Ecognition version 2.0*. Munchen, Alemanha. 1 CD-ROM. 2002.

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

FORMAN, R.T., GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Willey. Nova Iorque. 619 p. 1986.

GAMARRA, R.M.. *Identificação de fitofisionomias e análise da fragmentação da vegetação na região do Parque Natural Municipal Salto do Sucuriú, utilizando imagem de alta resolução*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 73 p. 2008.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2. Bandas 1, 2, 3 e 4. ID ALAV2A236673960. Órbita/Ponto 405/3960 de 04 de julho de 2010. 2010 a.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor PRISM. Banda Pan. ID ALPSMN243383960. Órbita/Ponto 405/3960 de 19 de agosto de 2010. 2010 b.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 18 de julho de 1984. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1984.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 16 de julho de 1989. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1989.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 30 de julho de 1994.

Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1994.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 28 de julho de 1999. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1999.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 25 de julho de 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2004.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 26 de julho de 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2010.

KAPOS, V. *Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon*. J. Trop. Ecol., 5: 173-185. 1989.

KLINK, C.A.; MACHADO, R. *A conservação do Cerrado brasileiro*. Megadiversidade. Volume 1. Número 1. 147-155. 2005.

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

LAURANCE, W.F., FERREIRA, L.V., RANKIN-DE-MERONA, J.M. & LAURANCE, S.G. *Rain Forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities*. Ecology, 79: 2032-2040. 1998.

MACARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. *An Equilibrium Theory of Insular Zoogeography*. Evolution, 17:373-387. 1963.

MACHADO, R.B., RAMOS NETO, M.B., PEREIRA, P.G.P., CALDAS, E.F., GONÇALVES, D.A., SANTOS, N.S., TABOR, K. & STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto nº 9.662, de 9 de outubro de 1999. *Cria o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, e dá outras providências*. Publicado no Diário Oficial de Mato Grosso do Sul de 14 de outubro de 1999.

METZGER, J.P. *Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 71 (3-I): 445 - 463. 1999.

METZGER, J.P. *Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas*. In: CULLEN Jr., L., RUDRAN, R., & VALLADARES-PÁDUA, C. (organizadores). *Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre*. 2. ed. Curitiba – PR. Editora da UFPR. 423 - 453p. 2006.

METZGER, J.P. *O que é ecologia de paisagens?* Biota Neotropica 1(1/2): 1 – 9. 2001.

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*. R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.389-398, 2006.

PAGOTTO, T.C.S.; CAMILOTTI, D.C.; LONGO, J.M. & SOUZA, P.R. *Bioma Cerrado e Área Estudada*. In: PAGOTTO, T.C.S. & SOUZA, P.R. (org.). *Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado*. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 18 – 30 p. 2006.

PARANHOS FILHO, A.C., GAMARRA, R.M., PAGOTTO, T.C., FERREIRA, T.S., TORRES, T.G., & MATOS FILHO, H.J.S. (2006). *Sensoriamento Remoto do Complexo Aporé-Sucuriú*. In: PAGOTTO, T.C.S. & SOUZA, P.R. (org.). *Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado*. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 31-44 p. 2006.

PCI Geomatics. Geomatica Versão 9.1 for Windows. Ontário, Canadá. 16 de dezembro de 2003. 1 CD-ROM. 2003.

POTT, A. & POTT, V.J. *Espécies de fragmentos florestais em Mato Grosso do Sul*. In: R.B. Costa (org.). Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste. UCDB. Campo Grande. 26 – 52 p. 2003.

PRESTON, F.W. *The canonical distribution of commonness and rarity of species: Part I*. Ecology 43:185-215. 1962 a.

PRESTON, F.W. *The canonical distribution of commonness and rarity of species: Part II*. Ecology 43:410-432. 1962 b.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. *Fitofisionomias do Bioma Cerrado*. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, xii + 556p. 1998.

SAUNDERS, D.A.; HOOPS, R.J. & MARGULES, C.R. *Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review*. Conservation Biology 5: 18-32. 1991.

SCARIOT, A., FREITAS, S.R., NETO, E.M., NASCIMENTO, M.T., OLIVEIRA, L.C., SANAIOTTI, T., SEVILHA, A.C. & VILELA, D.M. *Vegetação e Flora*. 104 – 123 p. In: Ministério do Meio Ambiente – MMA. Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas / Denise Marçal Rambaldi, Daniela América Suárez de Oliveira (orgs.). Brasília: 2ª ed., MMA/SBF, 510 p. 2005.

SISLA. Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. (http://sisla.imasul.ms.gov.br/Downloads/dados_complementares/). Último acesso em 5 de novembro de 2012. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). 2008.

TURNER, M.G. *Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models*. Landscape Ecology. 1: 27-39. 1987.

CAPÍTULO 4: DINÂMICA DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DAS NASCENTES DO RIO TAQUARI-MS

Roberto Macedo Gamarra¹

Antonio Conceição Paranhos Filho²

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC)

²Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET)

Cidade Universitária, s/n - Caixa Postal 549. CEP 79070-900. Campo Grande-MS, Brasil. Tel.: (67) 3345-7495. Fax: (67) 3345-7450.

E-mail: ¹rmgamarra@gmail.com; ²antonio.paranhos@pq.cnpq.br

RESUMO: Diferentes índices de vegetação podem ser utilizados para o estudo e avaliação da vegetação. O NDVI é utilizado com sucesso para classificar a distribuição global de vegetação, inferir variabilidades ecológicas e ambientais, produção de fitomassa, radiação fotossintética ativa e a produtividade de culturas. Nesse contexto, a utilização do NDVI como medida indireta de complexidade e heterogeneidade ambiental pode ser uma abordagem interessante. Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da variação da estrutura da vegetação ao longo do tempo, utilizando geotecnologias. A relação entre variáveis de estrutura da vegetação e o índice de vegetação (NDVI) e a análise multitemporal da complexidade e heterogeneidade do habitat do PENRT mostraram-se ferramentas muito eficazes para avaliar a efetividade da proteção oferecida pela unidade de conservação. As geotecnologias contribuem para o estudo da ecologia e conservação da biodiversidade reduzindo tempo e custos na análise ambiental. Os métodos utilizados no presente trabalho poderão ser utilizados em outras regiões do Cerrado que apresentam características semelhantes ao PENRT.

PALAVRAS CHAVE: Ecologia da paisagem; Geotecnologias; NDVI; Complexidade do habitat; Heterogeneidade do habitat.

ABSTRACT: Different vegetation indexes can be used for the study and evaluation of vegetation. The NDVI is successfully used to classify the global distribution of vegetation, infer ecological and environmental variability, biomass production, photosynthetic active radiation and productivity of crops. In this context, NDVI utilization as indirect measure of environmental complexity and heterogeneity can be an interesting approach. The objective of this study is to assess the landscape dynamics of a formal conservation unit, the Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, through vegetation structure variation over time, using geotechnologies. The relationship between variables of vegetation structure and vegetation index (NDVI) and the multitemporal analysis of complexity and habitat heterogeneity of PENRT proved to be very effective tools to evaluate the effectiveness of the protection offered by the conservation unit. The geotechnologies contribute to the ecology and biodiversity conservation by reducing time and costs in environmental analysis. The methods employed in this study could be used in other Cerrado regions that have similar characteristics to the PENRT.

KEY WORDS: Landscape ecology; Geotechnology; NDVI; Habitat complexity; Habitat heterogeneity.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas cerca de 50% da área original do Cerrado foi convertida em áreas antropizadas como às atividades agropecuárias, extrativismo mineral, aumento populacional e construção de estradas ou barragens para hidrelétricas (ALHO & MARTINS, 1995; MITTERMEIER *et al.*, 1999). Este fato é agravado pelo baixo número de áreas protegidas por unidades de conservação, apenas 4,1% e pela distribuição restrita de muitas espécies da fauna e flora (FELFILI, 2002; FELFILI *et al.*, 2002).

Apesar disso, o Cerrado é considerado um dos 25 locais do Planeta onde estão concentrados 50% de toda biodiversidade (*hotspots*), ficando indiscutível a necessidade da conservação de suas espécies e das áreas ocupadas pelo bioma (MITTERMEIER *et al.*, 1999). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007), 47,51% do bioma Cerrado é constituído por Áreas Prioritárias para Conservação, sendo 25,33% consideradas de importância extremamente alta, 11,72% de importância muito alta, 9,81% de importância alta e 0,65% insuficientemente conhecidas.

A fragmentação de habitats e a conversão da cobertura do solo para fins agrícolas são ameaças constantes para a conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado. Estas paisagens dominadas por atividades agrícolas tornaram-se mosaicos dinâmicos, que são formados por diferentes usos da terra (CARVALHO *et al.*, 2009). MACHADO *et al.* (2004) estimam que o bioma Cerrado deverá ser totalmente destruído no ano de 2030 se as atuais taxas de perda de habitat se manterem.

Nesse contexto, os conceitos da Ecologia da Paisagem aliados às ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para o entendimento e planejamento para resolução de problemas ambientais.

A ecologia da paisagem visa estudar a estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos, concentrando-se nessas três características fundamentais da paisagem (FORMAN & GODRON, 1986; TURNER, 1987). A ecologia de paisagem é uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento da paisagem, ela possibilita que a paisagem seja avaliada sob diversos pontos de vista, permitindo que seus processos ecológicos possam ser estudados em diferentes escalas temporais e espaciais (TURNER, 1987).

As geotecnologias representam um dos campos que mais crescem no mundo. Existe uma demanda mundial por profissionais que integrem dados ambientais e imagens de satélite (GEWIN, 2004; PARANHOS FILHO *et al.*, 2008), demonstrando a importância da utilização desse tipo de ferramenta em análises ambientais. De acordo com ROUGHGARDEN *et al.* (1991) as geotecnologias fornecem a ecologia, dados em larga escala e permitem uma visão de conjunto sobre a estrutura espacial da paisagem.

Diferentes índices de vegetação podem ser utilizados para o estudo e avaliação da vegetação. Entre aqueles já descritos na literatura, há o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), que tem relação direta com a fitomassa, permitindo caracterizar alguns aspectos biofísicos da vegetação (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). O NDVI é utilizado com sucesso para classificar a distribuição global de vegetação, inferir variabilidades ecológicas e ambientais, produção de fitomassa, radiação fotossintética ativa e a produtividade de culturas (LIU, 2007).

Nesse contexto, a utilização do NDVI como medida indireta de complexidade e heterogeneidade ambiental pode ser uma abordagem interessante. A complexidade do habitat pode ser definida como o desenvolvimento do extrato vertical da vegetação juntamente com a densidade de indivíduos (plantas) por unidade de área (ROOT, 1973) e a heterogeneidade do habitat é a estrutura da vegetação no plano horizontal, variando de acordo com o hábito das plantas (arbustivo, arbóreo, etc) presentes na área.

2. OBJETIVOS

Utilizando geotecnologias, avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da variação da estrutura da vegetação ao longo do tempo.

2.1. Objetivos específicos

- Relacionar medidas indiretas de complexidade do habitat (NDVI médio) e heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) com variáveis estruturais da vegetação.
- Análise multitemporal da complexidade e heterogeneidade do habitat, comparando a variação dos valores de um índice de vegetação durante 26 anos (de 1984 até 2010).

- Avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação, ou seja, avaliar as mudanças na vegetação (complexidade e heterogeneidade do habitat) em dois cenários distintos, antes e depois de sua criação (outubro de 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), além de sua importância para o bioma Cerrado, abriga nascentes deste importante rio para o Pantanal. Está localizado na região Centro Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso do Sul, entre as coordenadas 17°59' a 18°15' S e 53°10' a 53°26' W. O PENRT foi criado através do Decreto Estadual nº 9.622 de 09 de outubro de 1999 (MATO GROSSO DO SUL, 1999), com área de 30.618,96 hectares, abrangendo 26.849,62 hectares no Município de Alcinópolis-MS e 3.769,34 hectares em Costa Rica-MS (Figura 1). É uma das áreas núcleo do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari (CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL, 2003), ou seja, um dos remanescentes ambientalmente mais importantes no Cerrado.

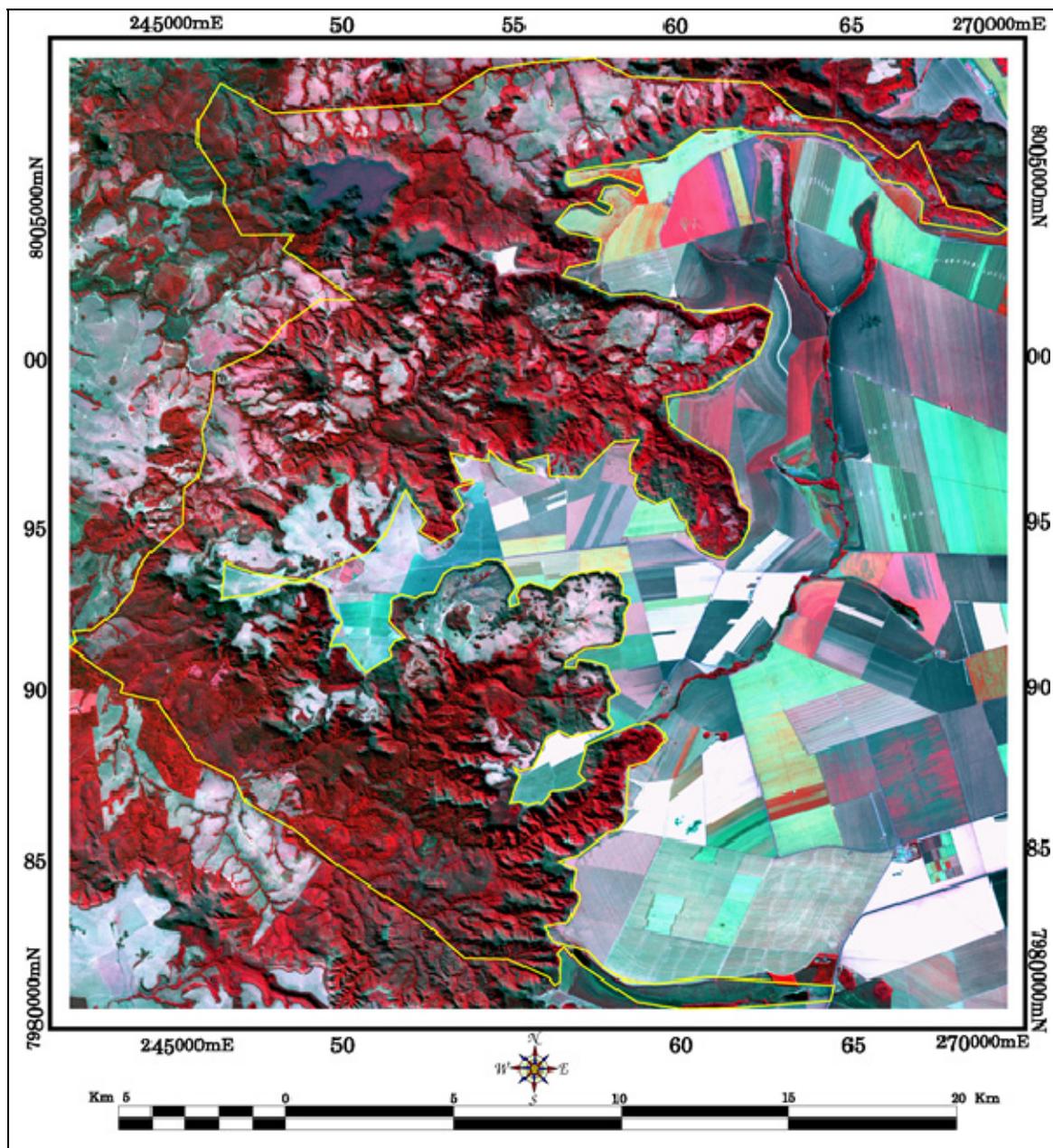


Figura 1. Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT). Fonte: Imagem do satélite ALOS sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m de 04 de julho de 2010. Composição falsa cor RGB 432. Limite do PENRT em amarelo. No lado esquerdo da imagem, as áreas em vermelho intenso significam vegetação densa. O padrão geométrico do lado direito da imagem mostra áreas agrícolas, que circundam o Parque.

3.2. Materiais utilizados

Na realização do trabalho foram utilizadas seis cenas do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 224/073, com 30 m de resolução espacial, de 18 de julho de 1984 (INPE, 1984), 16 de julho de 1989 (INPE, 1989), 30 de julho de 1994 (INPE, 1994), 28 de julho de 1999 (INPE,

1999), 25 de julho de 2004 (INPE, 2004) e 26 de julho de 2010 (INPE, 2010). Como material de apoio foram utilizadas ainda duas cenas ortorretificadas do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), uma do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com 10 m de resolução espacial de 04 de julho de 2010 (GLOBALGEO, 2010 a) e outra do sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com 2,5 m de resolução espacial de 19 de agosto de 2010 (GLOBALGEO, 2010 b).

Todas as seis cenas do satélite LANDSAT 5 foram georreferenciadas com erro inferior a 1 *pixel*, utilizando como base de referência as cenas do satélite ALOS (UTM, fuso 22, WGS84). Utilizamos também o vetor do limite oficial do PENRT (em formato *shapefile*) obtido no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA) do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) (SISLA, 2008).

Na análise multitemporal foram utilizadas somente imagens LANDSAT, todas da época seca, para garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor interferência da sazonalidade (fenologia). Além de manter as mesmas características da imagem (resolução espacial, espectral e radiométrica).

Foi utilizado o programa Geomatica 9.1 (PCI, 2003) para o georreferenciamento, correção atmosférica, geração do índice de vegetação, recorte e integração de todos os dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

3.3. Coleta de dados em campo

Foram realizadas três etapas de trabalho de campo, em janeiro de 2009, agosto de 2010 e em dezembro de 2010, no intuito de identificar os tipos de cobertura do solo (incluindo as fitofisionomias descritas por RIBEIRO & WALTER, 1998) e fazer o reconhecimento dos fragmentos de vegetação para relacioná-los com as imagens de satélite da área de estudo, utilizando máquina fotográfica digital e receptor GPS de navegação (*Global Positioning System*).

Também foram coletados dados de estrutura da vegetação como cobertura por espécies lenhosas (árvores e arbustos) utilizando densiômetro esférico e cobertura de serapilheira utilizando grade quadriculada de 1m² das fitofisionomias Mata seca e ciliar, Cerradão e Cerrado sentido restrito. Foram amostrados 4 fragmentos de cada fitofisionomia (Mata - 3 fragmentos de Mata seca e um de mata ciliar; Cerradão - 4

fragmentos de Cerradão; e Cerrado - 4 fragmentos de cerrado sentido restrito) com caminhadas aleatórias onde foram realizadas 10 medidas a pelo menos 10 m de distância uma da outra em cada ponto, totalizando 12 fragmentos amostrados.

Durante o levantamento do histórico da área, os moradores e a gerente do Parque foram entrevistados sobre as mudanças ocorridas na cobertura do solo da área de estudo. Levantamentos bibliográficos também auxiliaram nessa atividade.

3.4. Estrutura da vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) proposto por (ROUSE *et al.*, 1973) é calculado pela seguinte relação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (\text{equação 2})$$

onde,

NIR: Reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

R: Reflectância da vegetação na banda do vermelho.

Para o cálculo do NDVI primeiramente foi feita a correção atmosférica das seis cenas do satélite LANDSAT 5 através do algoritmo *ATCOR2* e após a correção atmosférica foi gerado o NDVI também das seis cenas LANDSAT 5 através da execução do *raster calculator* utilizando o programa Geomatica 9.1 (PCI, 2003).

Nos mesmos fragmentos onde foram amostradas as variáveis de estrutura da vegetação foram coletadas suas coordenadas. A partir dessas coordenadas foram criados *buffers* de 100 m que serviram de limite para o recorte dos valores NDVI de 2010, que foram analisados em conjunto com as variáveis de estrutura da vegetação.

Os valores médios do NDVI foram considerados uma medida indireta da complexidade do habitat, pois indicam a complexidade estrutural (vertical) e quantidade de fitomassa do habitat e o desvio padrão dos valores do NDVI foi considerado uma medida indireta da heterogeneidade do habitat, pois indicam a variação/dispersão da complexidade vertical e da fitomassa do ambiente no plano horizontal (CORRÊA *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Foram calculadas a média e o desvio padrão do NDVI de 2010, da porcentagem de cobertura lenhosa e da porcentagem de cobertura de serapilheira para cada fragmento

amostrado. Para verificar se existe relação entre o NDVI e essas variáveis de estrutura da vegetação separadamente, foi utilizada Regressão Linear Simples através do programa BioEstat 5.0 (AYRES *et al.*, 2007).

Também foram calculadas a média e o desvio padrão do NDVI de todo o PENRT para os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2010, para avaliar a dinâmica da complexidade e heterogeneidade do habitat do PENRT ao longo do tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do índice de vegetação (NDVI) da cena Landsat de 2010, da cobertura vegetal (cobertura por espécies lenhosas - árvores e arbustos) e da cobertura por serapilheira para cada fragmento das três fitofisionomias analisadas estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da cena Landsat de 2010, cobertura por espécies lenhosas (árvores e arbustos) e cobertura por serapilheira para cada fragmento de três diferentes fitofisionomias.

Fitofisionomia	Fragmento	NDVI ¹	Cobertura Vegetal ²	Serapilheira ²
Mata	1	0,745 ±0,036	92,297 ±1,396	100
Mata	2	0,831 ±0,060	91,554 ±2,258	100
Mata	3	0,864 ±0,053	92,905 ±2,836	100
Mata	4	0,963 ±0,069	95,068 ±1,236	100
Cerradão	1	0,790 ±0,038	88,378 ±7,683	95 ±15,811
Cerradão	2	0,774 ±0,110	91,351 ±3,963	95 ±15,811
Cerradão	3	0,685 ±0,086	79,189 ±8,622	94 ±9,661
Cerradão	4	0,821 ±0,040	89,797 ±4,291	100
Cerrado	1	0,468 ±0,110	31,893 ±23,778	23 ±27,101
Cerrado	2	0,661 ±0,155	47,973 ±25,715	47 ±34,01
Cerrado	3	0,603 ±0,117	76,802 ±12,346	65 ±16,432
Cerrado	4	0,560 ±0,102	35,811 ±16,230	18,3 ±12,583

¹ Valor médio e desvio padrão. ² Porcentagem média e desvio padrão.

Para a fitofisionomia Mata verifica-se que os valores do NDVI médio variaram de 0,745 a 0,963, e os valores do desvio padrão do NDVI oscilaram de 0,036 a 0,069.

Para Cerradão os valores do NDVI médio oscilaram de 0,685 a 0,821 e o desvio padrão do NDVI variou de 0,038 a 0,110. Já para o Cerrado, os valores do NDVI médio variaram de 0,468 a 0,661 e o desvio padrão do NDVI oscilou de 0,102 a 0,155.

Percebe-se que os maiores valores de complexidade do habitat (NDVI médio) foram registrados na fitofisionomia Mata seguido pelo Cerradão. Verificou-se uma sobreposição de valores de Mata e Cerradão, pois se tratam de dois tipos de formações florestais que apresentam estrutura vertical mais complexa e também maior fitomassa quando comparados com o Cerrado.

Verificamos também que os maiores valores de heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) foram registrados no Cerrado, pois se trata da fitofisionomia cerrado sentido restrito, que no PENRT pode variar entre cerrado ralo, cerrado típico e cerrado denso, apresentando diferentes densidades e altura das árvores, ou seja, maior heterogeneidade horizontal.

O NDVI permite caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação, como fitomassa/densidade da vegetação e seu valor é normalizado para o intervalo de -1 a +1 (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007), sendo que o valor zero se refere aos pixels não vegetados. Esses valores representam uma medida indireta da fitomassa, indicando valores de matéria e energia presentes na área amostrada.

Relacionando os valores do NDVI com parâmetros de estrutura da vegetação registrados em campo percebe-se que houve relação significativamente positiva entre a complexidade do habitat (NDVI médio) e a cobertura por espécies lenhosas (% média) ($r^2 = 0,7179$; $p < 0,001$) (Figura 2). Ou seja, a porcentagem média da cobertura por espécies lenhosas explica 71,8% da variação da complexidade do habitat.

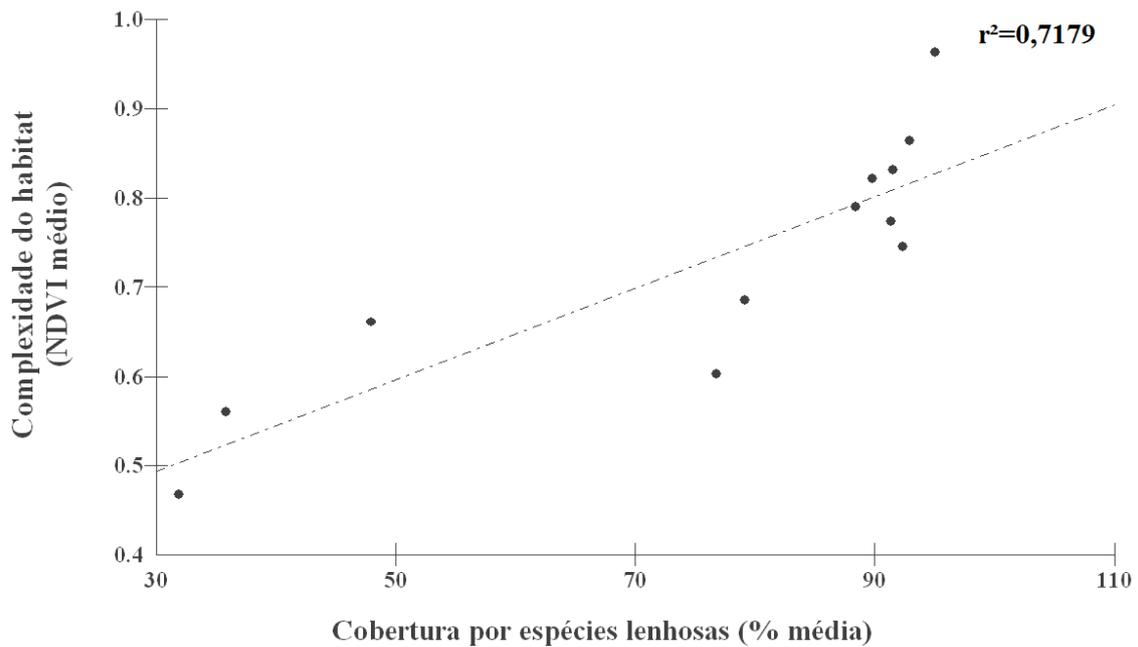


Figura 2. Relação entre complexidade do habitat (NDVI médio) e cobertura por espécies lenhosas (% média).

Também houve relação significativamente positiva entre a complexidade do habitat (NDVI médio) e a cobertura de serapilheira (% média) ($r^2 = 0,7251$; $p < 0,001$) (Figura 3), ou seja, a porcentagem média da cobertura de serapilheira explica 72,5% da variação da complexidade do habitat.

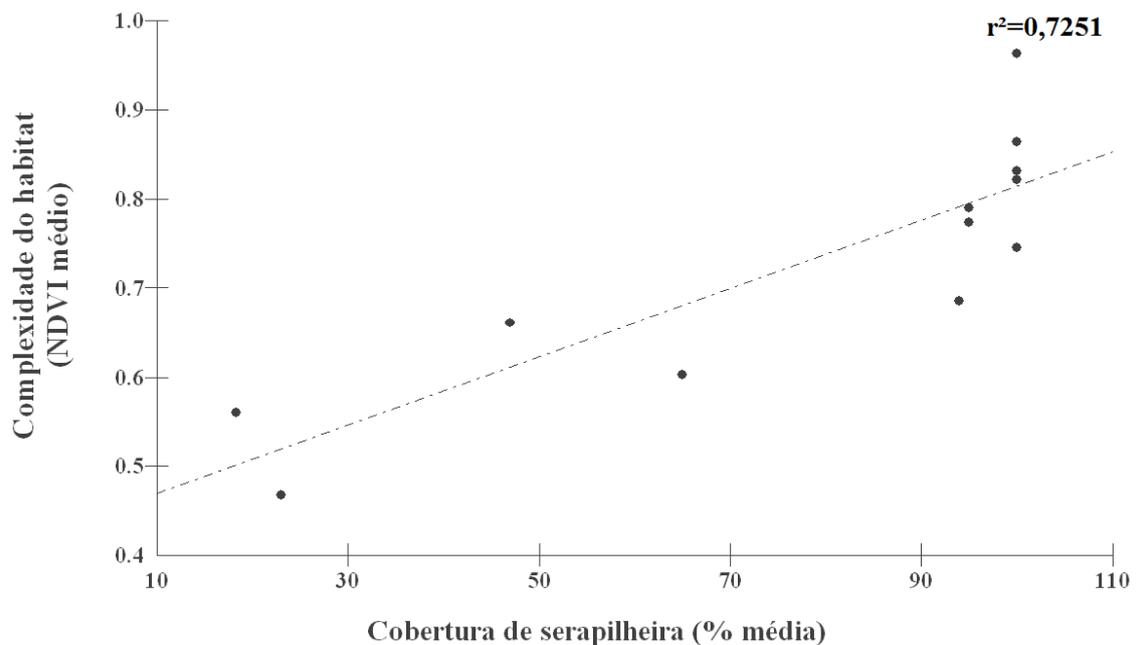


Figura 3. Relação entre complexidade do habitat (NDVI médio) e cobertura de serapilheira (% média).

Quando analisamos a heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) verificou-se relação significativamente positiva com o desvio padrão da cobertura por espécies lenhosas ($r^2 = 0,5482$; $p = 0,0038$) (Figura 4) e também com o desvio padrão da cobertura de serapilheira ($r^2 = 0,6285$; $p = 0,0016$) (Figura 5). Assim, a variação da cobertura por espécies lenhosas explica 54,8% da variação da heterogeneidade do habitat e a variação da cobertura de serapilheira explica 62,9%.

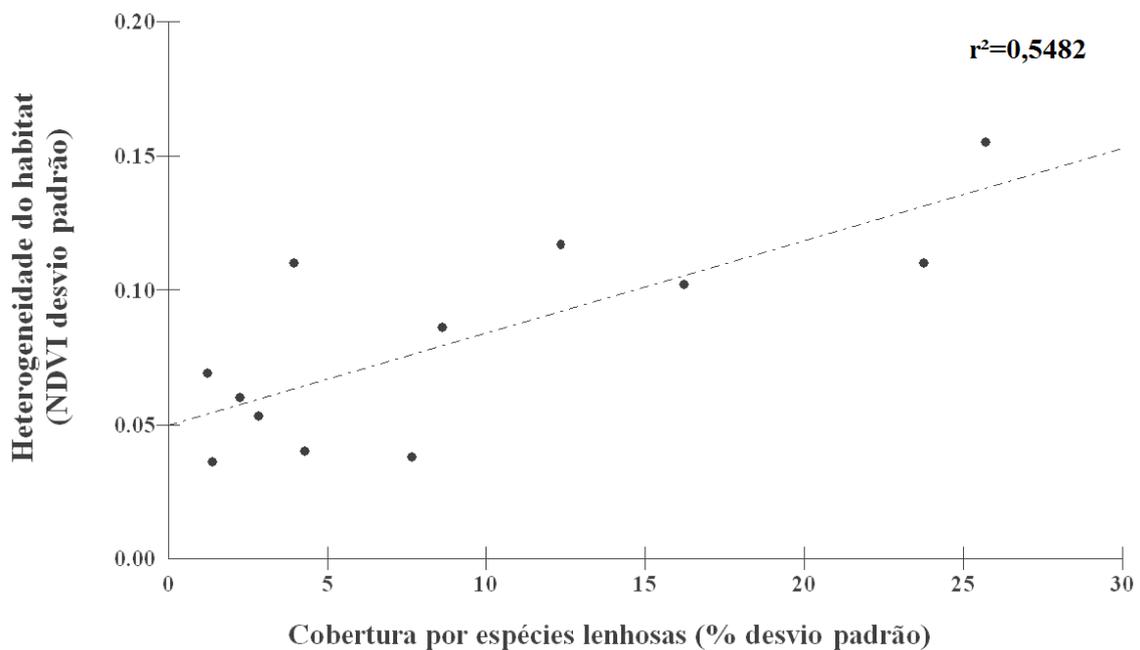


Figura 4. Relação entre heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) e cobertura por espécies lenhosas (% desvio padrão).

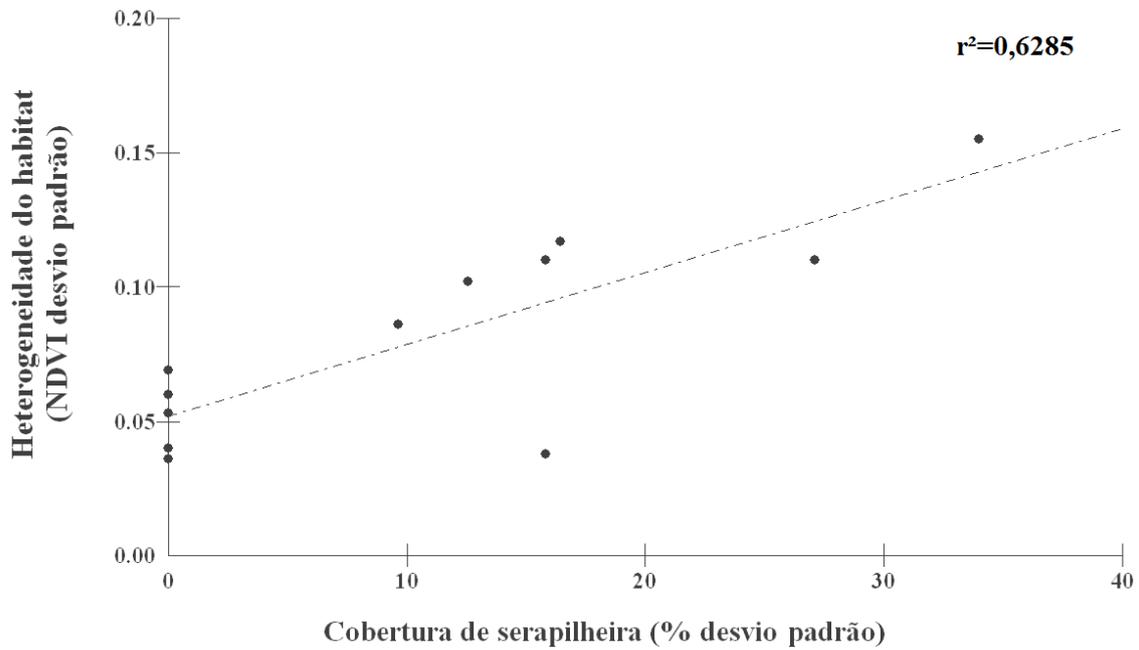


Figura 5. Relação entre heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) e cobertura de serapilheira (% desvio padrão).

Outros estudos também relacionaram índice de vegetação com variáveis de estrutura da vegetação como GAMON *et al.* (1995) em três tipos de vegetação nos Estados Unidos, VICENS *et al.* (2001) na região de Floresta Atlântica de Tabuleiros e GIRALDELLI & PARANHOS FILHO (2006) no Cerrado de Mato Grosso do Sul.

O NDVI têm sido relacionado com a ocorrência de espécies de aves (SAVERAID *et al.*, 2001), riqueza de espécies de árvores tropicais (BAWA *et al.*, 2002), de aranhas (DE MAS *et al.*, 2009), de besouros (LASSAU & HOCHULI, 2008; CORRÊA *et al.*, 2011) e com a abundância de mosquitos (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Foram analisadas as variações dos valores de NDVI de toda a área do PENRT para os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2010 (Tabela 2).

Tabela 2. Estatísticas calculadas a partir dos valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de toda a área do PENRT em cada ano analisado.

Ano	Média	Desvio padrão	Valor máximo	Valor mínimo
1984	0,6941	0,2028	1	-1
1989	0,7577	0,1963	1	-1
1994	0,7430	0,1943	1	-1
1999	0,6536	0,2418	1	-1
2004	0,7581	0,2021	1	-1
2010	0,6643	0,2410	1	-1

Os valores de complexidade do habitat (NDVI médio) para todo o PENRT oscilaram de 0,6536 a 0,7581, que correspondem a variação desde as formações savânicas até as formações campestres. Como se tratam de valores médios e o PENRT possui formações campestres nativas e exóticas, percebe-se que as formações florestais contribuíram bastante na elevação desses valores.

Já os valores de heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) para todo o PENRT oscilaram de 0,1943 a 0,2418, indicando uma grande variação na estrutura vertical e da fitomassa do ambiente no plano horizontal, o que já era esperado visto que o PENRT é um mosaico de diferentes tipos de vegetação e cobertura do solo, com áreas sem vegetação como solo exposto e lagos, áreas úmidas, formações campestres nativas e exóticas, formações savânicas e florestais.

A complexidade do habitat (NDVI médio) para todo o PENRT no período de 1984 a 1989 aumentou 9,16%. No período de 1989 a 1994 a complexidade do habitat do PENRT permaneceu praticamente a mesma, com uma pequena redução de 1,94%. Já no período de 1994 a 1999 houve redução de 12,03% na complexidade do habitat. No período de 1999 a 2004 houve aumento de quase 16% na complexidade do habitat do PENRT. No período de 2004 a 2010 houve redução de 12,37% na complexidade do habitat.

Quando analisamos o período anterior à criação do PENRT, de 1984 a 1999 (ano da criação do Parque), percebemos uma redução de 5,83% na complexidade do habitat do PENRT, indicativo de degradação das fitofisionomias arbóreas para formação de pastagem e extração de madeira ou também sofreram com incêndios, frequentes na região.

Já no período posterior à criação do PENRT, de 1999 a 2010, constatou-se um pequeno aumento de 1,64% na complexidade do habitat, indicativo de regeneração das fitofisionomias arbóreas, provavelmente reflexo da proteção conferida pela criação da unidade de conservação.

Quando analisamos todo o período estudado, de 1984 a 2010, verifica-se uma pequena redução de 4,29% na complexidade do habitat. A dinâmica da complexidade do habitat do PENRT ao longo de 26 anos (de 1984 a 2010) pode ser vista na Figura 6.

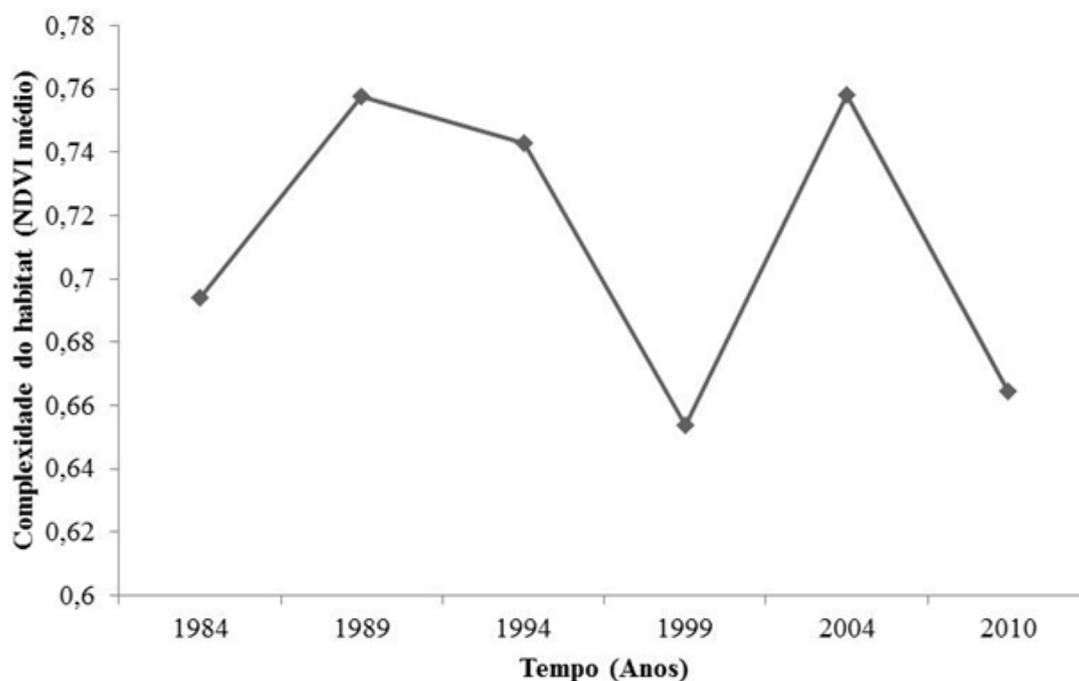


Figura 6. Análise multitemporal (dinâmica) da complexidade do habitat (NDVI médio) do PENRT ao longo de 26 anos (de 1984 a 2010).

Admite-se que a riqueza de espécies da floresta aumenta com a complexidade da estrutura vertical, visto que mais nichos estarão disponíveis (LANG & BLASCHKE, 2009).

A heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) para todo o PENRT no período de 1984 a 1989 diminuiu 3,21%. A redução na heterogeneidade do habitat indica uma simplificação no mosaico vegetacional, no caso do PENRT, pode ser que as fitofisionomias estejam evoluindo para um mesmo tipo de formação vegetal, de acordo com os dados de complexidade do habitat, para as formações savânicas e florestais.

No período de 1989 a 1994 houve pequena redução de 1,02% na heterogeneidade do habitat. Já no período de 1994 a 1999 houve aumento de 24,45% na heterogeneidade do habitat. O aumento na heterogeneidade do habitat indica o

crescimento no contraste do mosaico vegetacional que no caso do PENRT pode ser resposta da substituição das fitofisionomias arbóreas por outro tipo de cobertura do solo, ou seja, degradação de origem antrópica ou mesmo incêndios, frequentes na região.

No período de 1999 a 2004 houve redução de 16,42% na heterogeneidade do habitat do PENRT. Já no período de 2004 a 2010 houve aumento de 19,25% na heterogeneidade do habitat.

Quando analisamos o período anterior à criação do PENRT, de 1984 a 1999 (ano da criação do Parque), percebemos um aumento de 19,23% na heterogeneidade do habitat do PENRT, indicativo de degradação.

Já no período posterior à criação do PENRT, de 1999 a 2010, a heterogeneidade do PENRT permaneceu praticamente a mesma, com uma pequena redução de 0,33%, provavelmente reflexo da proteção conferida pela criação da unidade de conservação.

Quando analisamos todo o período estudado, de 1984 a 2010, verifica-se um aumento considerável de quase 19% na heterogeneidade do habitat do PENRT, resposta ainda do período anterior à criação da unidade de conservação. A dinâmica da heterogeneidade do habitat do PENRT ao longo de 26 anos (de 1984 a 2010) pode ser vista na Figura 7.

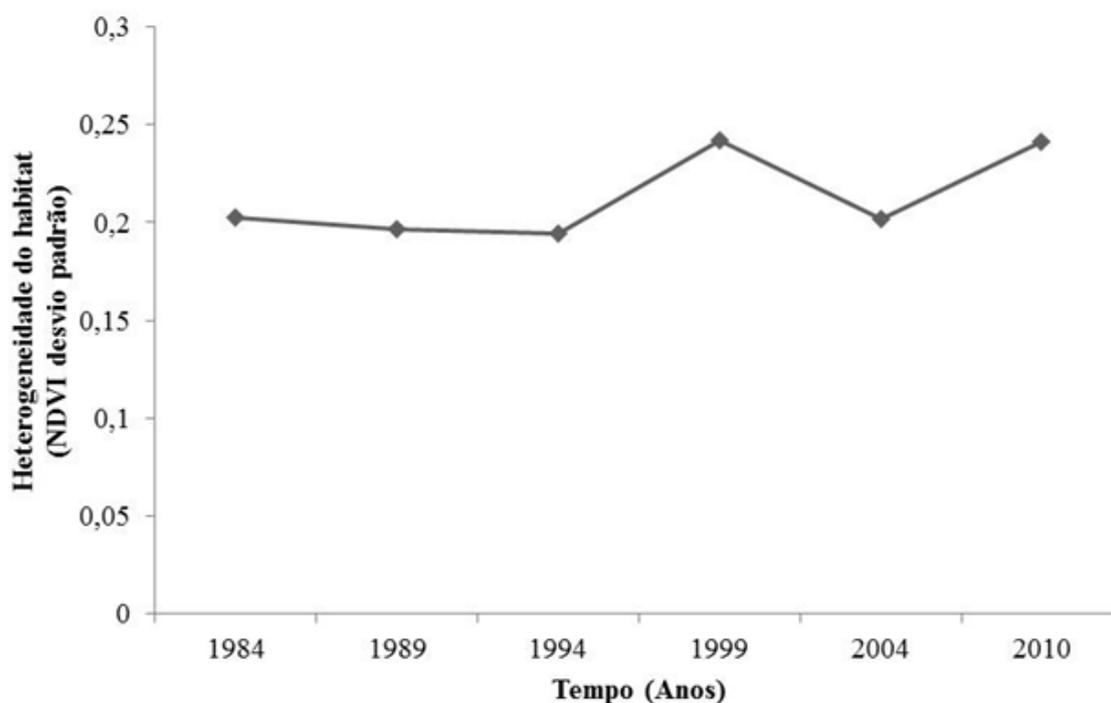


Figura 7. Análise multitemporal (dinâmica) da heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) do PENRT ao longo de 26 anos (de 1984 a 2010).

A heterogeneidade ambiental é considerada um dos fatores determinantes da diversidade e distribuição de espécies. (SARMIENTO, 1984).

Existe uma forte relação entre a diminuição da complexidade do habitat e o aumento da heterogeneidade para o PENRT como resultado de degradação das fitofisionomias arbóreas, tanto de origem antrópica como os incêndios que ocorrem naturalmente e são frequentes na região. No período de 1984 a 1989 houve aumento da complexidade e redução da heterogeneidade do habitat. Já no período de 1994 a 1999 percebe-se claramente uma grande redução na complexidade e um expressivo aumento da heterogeneidade do habitat. No período de 1999 a 2004 a situação se inverteu, houve um grande aumento da complexidade acompanhado da redução da heterogeneidade do habitat. No período de 2004 a 2010 a situação inverte-se novamente, houve uma grande redução na complexidade acompanhada do aumento na heterogeneidade do habitat. Essa evolução pode ser vista na Figura 8.

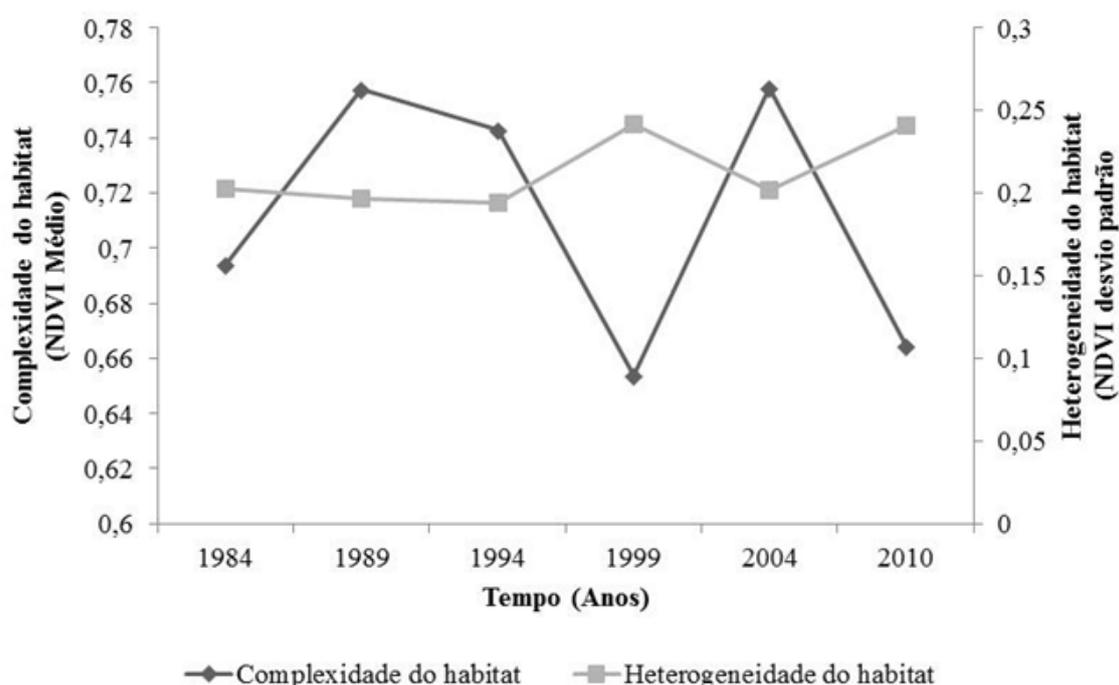


Figura 8. Análise multitemporal (dinâmica) da complexidade e heterogeneidade do habitat do PENRT ao longo de 26 anos (de 1984 a 2010).

Os componentes espaciais da paisagem, como a complexidade e heterogeneidade do habitat influenciam diretamente a diversidade e distribuição de organismos, afetando variáveis como a presença e abundância das espécies e suas interações com o meio biótico (CHUST *et al.*, 2004; HIRAO *et al.*, 2008).

5. CONCLUSÕES

Podemos concluir que a relação entre variáveis de estrutura da vegetação e o índice de vegetação (NDVI) e a análise multitemporal da complexidade e heterogeneidade do habitat do PENRT mostraram-se ferramentas muito eficazes para avaliar a efetividade da proteção oferecida pela unidade de conservação. As geotecnologias contribuem para os estudos de ecologia e conservação da biodiversidade reduzindo tempo e custos na análise ambiental. Os métodos empregados no presente trabalho poderão ser utilizados em outras regiões do Cerrado que apresentam características semelhantes ao PENRT.

O PENRT é uma unidade de conservação nova, criada no ano de 1999 e grande parte da sua área ainda não foi desapropriada, assim ainda ocorrem atividades agropecuárias dentro do parque. Outra preocupação é sua zona de amortecimento, seu limite leste é totalmente tomado por extensas plantações de soja e algodão. Algumas nascentes (Ribeirão do Engano) encontram-se próximas ao parque, em seu entorno, mas fora da área de proteção, cercadas de plantações. Seria de grande importância que a região do entorno do parque também recebesse atenção, para que na medida em que as desapropriações forem sendo feitas, a vegetação do parque e seu entorno possa se regenerar.

Assim, o presente trabalho visa contribuir para o melhor manejo desta unidade de conservação, ajudando-a na sua sustentabilidade e na manutenção da biodiversidade local.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos à FUNDECT pelos projetos de pesquisa nº 0081/08 e nº 0241/08 e pela bolsa de doutorado nº 057/10, ao PPGEC e CAPES pela bolsa de doutorado, à SEMAC/IMASUL/GUC pela concessão da autorização ambiental para pesquisa em unidades de conservação nº 006/2008, à Martha Gilka Gutiérrez Carrijo (SEMAC/IMASUL de Costa Rica), seu Vanderlei e Professor Wilson (Prefeitura Municipal de Costa Rica) por todo apoio nos trabalhos de campo.

7. LITERATURA CITADA

ALHO, C.J.R. & MARTINS, E.S. *De Grão em Grão o Cerrado Perde Espaço*. (Cerrado - Impactos do Processo de Ocupação). WWF – Fundo Mundial para a Natureza, Brasília. 1995.

AYRES, M. AYRES JUNIOR, M. AYRES, D.L. SANTOS, A.A.S. & AYRES, L.L. *BioEstat versão 5.0 Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Bio-Médicas*. Belém-PA. 2007.

BAWA, K. ROSE, J. GANESHAIAH, K.N. BARVE, N. KIRAN, M.C. UMASHANKER, R. *Assessing biodiversity from space: an example from the Western Ghats, India*. *Conservation Ecology* 6:7. 2002.

CARVALHO, F.M.V., MARCO JÚNIOR, P. & FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*. 142. 1392–1403. 2009.

CHUST, G. PRETUS, J.L. DUCROT, D. VENTURA, D. *Scale dependency of insect assemblages in response to landscape pattern*. *Landscape Ecology* 19: 41-57. 2004.

CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL. Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari. (<http://www.conservation.org.br/onde/cerrado/index.php?id=155>). Último acesso em 18 de setembro de 2012. 2003.

CORRÊA, C.C. PIMENTA, M. DUTRA, S.L. MARCO JÚNIOR, P. *Utilização do NDVI na avaliação da resposta de besouros herbívoros à complexidade e heterogeneidade ambiental em diferentes escalas no Bioma cerrado*. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Curitiba, p. 3103-3110. 2011.

DE MAS, E. CHUST, G. PRETUS, J.L. RIBERA, C. *Spatial modelling of spider biodiversity: matters of scale*. *Biodiversity and Conservation* 18:1945-1962. 2009.

FELFILI, J.M. *Padrões de diversidade do cerrado do Centro-Oeste brasileiro*. 58 – 61 p.. In: E.L. Araújo, A.N. Moura, E.S.B Sampaio, L.M.S Gestinari & J.M.T Carneiro. Biodiversidade, Conservação e Uso Sustentável da Flora do Brasil. Recife: UFRPE. Imprensa Universitária. 2002.

FELFILI, J.M.; NOGUEIRA, P.E; SILVA-JÚNIOR, M.C.; MARIMOM, B.S. & DELITTI, W. B. C. *Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa – MT*. Acta Botanica Brasilica. 16(1): 103-112. 2002.

FORMAN, R.T., GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Willey. Nova Iorque. 619 p. 1986.

GAMON, J.A. FIELD, C.B. GOULDEN, M.L. GRIFFIN, K.L. HARTLEY, A.E. JOEL, G. PEÑUELAS, J. VALENTINI, R. *Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types*. Ecological Applications, 5(1):28-41.1995.

GEWIN, V. *Mapping opportunities*. Nature 427. p. 376-377. 22 January 2004.

GIRALDELLI, G.R. & PARANHOS FILHO, A.C. *Relação entre as variáveis estruturais do habitat e o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em três tipos de habitat de cerrado na fazenda Diamante, Coxim, MS*. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.341-350. 2006.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2. Bandas 1, 2, 3 e 4. ID ALAV2A236673960. Órbita/Ponto 405/3960 de 04 de julho de 2010. 2010 a.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor PRISM. Banda Pan. ID ALPSMN243383960. Órbita/Ponto 405/3960 de 19 de agosto de 2010. 2010 b.

HIRAO, T. MURAKAMI, M. IWAMOTO, J. TAKAFUMI, H. OGUMA, H. *Scale-dependent effects of windthrow disturbance on forest arthropod communities*. Ecological Research 23: 189-196. 2008.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 18 de julho de 1984. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1984.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 16 de julho de 1989. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1989.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 30 de julho de 1994. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1994.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 28 de julho de 1999. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1999.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 25 de julho de 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2004.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 26 de julho de 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2010.

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

LASSAU, S.A. HOCHULI, D.F. *Testing predictions of beetle community patterns derived empirically using remote sensing*. Diversity and Distributions 14:138-147. 2008.

LIU, W.T.H. *Aplicações de Sensoriamento Remoto*. Campo Grande: Ed. UNIDERP. 881p. 2007.

MACHADO, R.B., RAMOS NETO, M.B., PEREIRA, P.G.P., CALDAS, E.F., GONÇALVES, D.A., SANTOS, N.S., TABOR, K. & STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto nº 9.662, de 9 de outubro de 1999. *Cria o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, e dá outras providências*. Publicado no Diário Oficial de Mato Grosso do Sul de 14 de outubro de 1999.

MITTERMEIER, R.A., MYERS, N.; MITTERMEIER, C.G. *Hotspots. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX. Conservation International. 1999.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. *Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira*: atualização Portaria nº 9, de 23 de janeiro de 2007. Brasília: MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 2007.

OLIVEIRA, E. F. SILVA, E. A. FERNANDES, C. E. PARANHOS FILHO, A.C. GAMARRA, R. M. RIBEIRO, A. A. BRAZIL, R.P. OLIVEIRA, A.G. *Biotic factors and occurrence of Lutzomyia longipalpis in endemic area of visceral leishmaniasis, Mato Grosso do Sul, Brazil*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz (Impresso). 2012.

PARANHOS FILHO, A.C. LASTORIA, G. TORRES, T.G. *Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução as Geotecnologias*. Ed. UFMS. Campo Grande-MS. 198p. 2008.

PCI Geomatics. Geomatica Versão 9.1 for Windows. Ontário, Canadá. 16 de dezembro de 2003. 1 CD-ROM. 2003.

PONZONI F.J. & SHIMABUKURO Y.E. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. INPE. Editora Parêntese. São José dos Campos – SP. 2007.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. *Fitofisionomias do Bioma Cerrado*. In. SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, xii + 556p. 1998.

ROOT, R.B. *Organization of a plant-arthropod association in a simple and diverse habitats: the fauna of collards (Brassica oleracea)*. Ecological Monographs 43:95-124. 1973.

ROUGHGARDEN, J.; RUNNING, S.W.; MATSON, P.A. *What does Remote Sensing do for Ecology?*. *Ecology*. 72(6). pp 1918-1922. 1991.

ROUSE, J.W. HAAS, R.H. SCHELL, J.A. DEEERING, D.W. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite)*. Third ERTS (Earth Resources Technology Satellite) Symposium, Greenbelt, MD, NASA (National Aeronautics and Space Administration) SP-351 I pp. 309-317. 1973.

SARMIENTO, G. *The ecology of Neotropical savannas*. Harvard University Press, Cambridge, 256 pp. 1984.

SAVERAID, E.H. DEBINSKI, D.M. KINDSCHER, K. JAKUBAUSKAS, M.E. *A comparison of satellite data and landscape variables in predicting bird species occurrences in the Greater Yellowstone Ecosystem, USA*. *Landscape Ecology* 16:71-83. 2001.

SISLA. Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. (http://sisla.imasul.ms.gov.br/Downloads/dados_complementares/). Último acesso em 5 de novembro de 2012. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). 2008.

TURNER, M.G. *Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models*. Landscape Ecology. 1: 27-39. 1987.

VICENS, R. S. MARQUES, J. S. CRUZ, C.B.M. ARGENTO, M. F. GARAY, I. *Sensoriamento Remoto e SIG como suporte ao desenvolvimento do subprojeto PROBIO "Conservação e recuperação da Floresta Atlântica de Tabuleiros"*. In: GARAY, I. & DIAS, B.F.S. (Orgs.). *Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais*. Rio de Janeiro: Vozes, v. 1, p. 317-337. 2001.