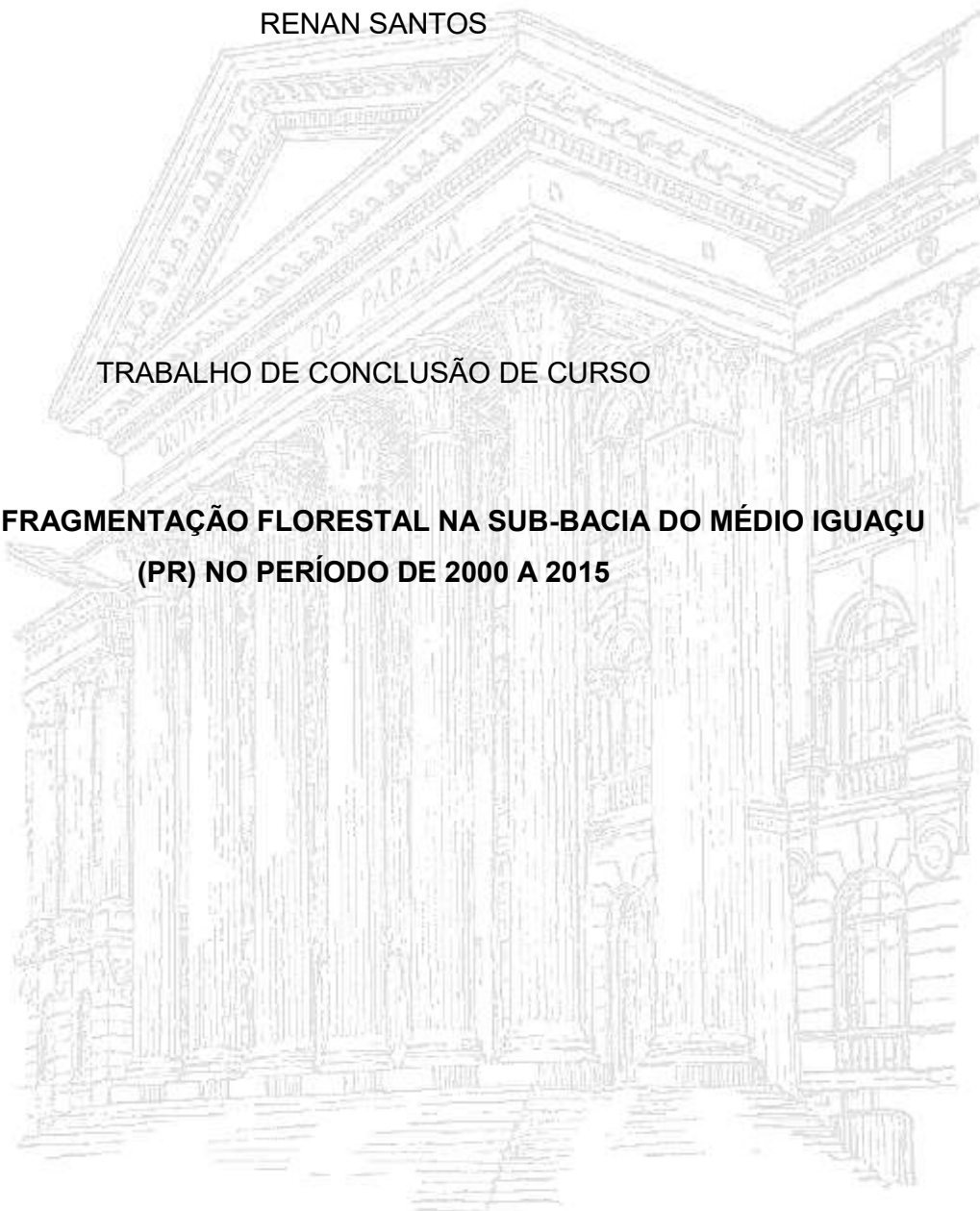


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

RENAN SANTOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DINÂMICA E FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA SUB-BACIA DO MÉDIO IGUAÇU
(PR) NO PERÍODO DE 2000 A 2015**



CURITIBA
2017

RENAN SANTOS

**DINÂMICA E FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA SUB-BACIA DO MÉDIO IGUAÇU
(PR) NO PERÍODO DE 2000 A 2015**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Paula Dalla Corte.

CURITIBA

2017

DADOS DO ACADÊMICO

Nome do aluno: Renan Santos

GRR: 20114515

DINÂMICA E FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA SUB-BACIA DO MÉDIO IGUAÇU (PR) NO PERÍODO DE 2000 A 2015

Renan Santos^{1*}, Ana Paula Dalla Corte²

¹ Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – renasantos130@gmail.com

² Eng^a Florestal, Dr^a., Professora do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – anapaulacorte@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica e o grau de fragmentação florestal na sub-bacia do Médio Iguaçu, Paraná, no período de 2000 a 2015. Para tanto, foram utilizadas 8 imagens dos satélites Landsat 7 (2000) e Landsat 8 (2015), totalizando 4 imagens para cada ano base. As cenas foram submetidas a procedimentos de georreferenciamento, segmentação e classificação orientada ao objeto, a fim de gerar arquivos vetoriais com as classes de interesse (Florestas Nativas e Não Florestas). A classe floresta foi classificada em 6 classes de tamanho, considerando apenas os fragmentos maiores do que 1 ha, o que foi utilizado como base para a análise de fragmentação. Analisando o período 2000-2015, foi possível identificar que as áreas de florestas naturais apresentaram uma redução de área, principalmente nos fragmentos maiores do que 1.000 ha localizados na área central da sub-bacia. Pode-se observar que o maior número de fragmentos está localizado na classe 1 (1-10 ha), em ambos os anos base, porém as maiores áreas totais são ocupadas pelas manchas com tamanho maior do que 1.000 ha. Da mesma forma, em 2000 e 2015, a classe 6 (>1.000 ha) demonstrou o maior total de bordas, sendo a classe mais afetada pelo efeito de borda, embora os fragmentos dessa classe retratem uma maior área protegida quando comparados a menores fragmentos. Nota-se também que a maioria dos fragmentos são alongados, apresentando formas mais irregulares conforme aumenta a classe de tamanho. Assim, pode-se concluir que a sub-bacia do Médio Iguaçu possui uma paisagem fragmentada, mas ainda apresenta grandes extensões de áreas que podem ser utilizadas como refúgio para a biodiversidade.

Palavras-chave: ecologia da paisagem; floresta; sensoriamento remoto.

Abstract

Forest Dynamics and Fragmentation in the Medium Iguaçu sub-basin (PR) over the period 2000-2015. The aim of this study was to evaluate the forest dynamics and the fragmentation level in the Medium Iguaçu sub-basin, Parana, over the period 2000-2015. For this purpose, eight Landsat 7 and Landsat 8 satellites images were selected, being used 4 images for each base year. The image scenes went through georeferencing, segmentation and object-based classification procedures in order to generate vector files with the classes of interest (Natural Forests and Non Forest). The class Natural Forest was classified according to 6 classes of size, considering only forest patches larger than 1 ha, which also were used for the fragmentation analysis. Analyzing the period 2000-2015, it was possible to identify that natural forest areas presented a reduction in area, mainly from fragments larger than 1.000 ha located in the central region of the sub-basin. It can be noticed that the larger number of fragments are grouped in the class 1 (1-10 ha), in both base years; however, the largest total areas are occupied by classes of patches larger than 1.000 ha. In addition, in 2000 and 2015, the class 6 (>1000 ha) represented the larger total of edges, although this class' fragments presented a larger protected area when compared to smaller fragments. Also, most patches are elongated so as the class increases, more frequent irregular shapes are. Thus, it can be concluded that the Medium Iguaçu sub-basin has a very fragmented landscape, although it is occupied by large extensions of areas, which can be used as refuge for the biodiversity.

Keywords: landscape ecology; forest; remote sensing.

INTRODUÇÃO

Historicamente, os impactos da ação humana sobre o ambiente têm causado intensas alterações na paisagem florestal do Brasil, especialmente no bioma Mata Atlântica, que ainda mantém cerca de 11% de sua cobertura original (RIBEIRO *et al.*, 2009). Mesmo com a criação de políticas para conservação e proteção dessas florestas, atividades como queimadas e desmatamento ainda vêm sendo utilizadas no preparo de áreas com potencial econômico (CASTELO, 2015).

Dados do projeto MAPBIOMAS (2017) mostram que houve uma flutuação nas taxas de desmatamento do Paraná entre os anos de 2014 e 2016. Diferentemente do período de 2014-2015, no último período avaliado (2015-2016), houve uma redução de cerca de 9% das florestas naturais do estado, que hoje ocupam uma área de aproximadamente 5.445.760

hectares. Possivelmente, isso se deu pela intensa exploração das florestas de araucária, situação a qual acarretou a formação de paisagens com um alto grau de fragmentação (BROADBENT *et al.*, 2008).

Fragmentos florestais podem ser definidos como remanescentes isolados de floresta, formados a partir da interrupção, antrópica ou natural, de grandes e contínuas áreas de vegetação nativa (GARCIA *et al.*, 2013). Essa fragmentação atinge diretamente o desenvolvimento de populações naturais, podendo gerar diversas consequências negativas para os ecossistemas, como a redução da biodiversidade e de variabilidade genética, por exemplo (GARCIA, 2011).

Muitos estudos sobre dinâmica e fragmentação florestal têm sido desenvolvidos por pesquisadores. Entretanto, esses estudos geralmente são abrangentes e podem não considerar as particularidades de cada região. Além disso, não há uma padronização dos procedimentos de análise utilizados, o que pode gerar dúvidas em relação a precisão dos valores de desmatamento a nível local (HENTZ *et al.*, 2015a). Ademais, há um déficit de pesquisas relacionadas a área florestal da sub-bacia do Médio Iguaçu, o que faz necessária a busca por dados mais precisos sobre a dinâmica e fragmentação florestal dessa região. Diante disso, técnicas como a Ecologia da Paisagem têm sido comumente utilizadas em análises de ambientes fragmentados, uma vez que ela permite uma melhor compreensão das relações espaciais e da dinâmica florestal desses habitats (BEZERRA *et al.*, 2011).

A ecologia da paisagem é baseada em métricas (ou índices) de paisagem, as quais permitem descrever de forma quantitativa os padrões espaciais bem como a própria estrutura da paisagem. As principais métricas usadas para essas análises são: área, área central, borda, densidade, forma e proximidade (HENTZ *et al.*, 2015a; BEZERRA *et al.*, 2011).

Normalmente, por considerarem características espaciais, as métricas de paisagem são utilizadas em conjunto com técnicas de geoprocessamento (RUDOLPHO *et al.*, 2013), uma vez que estas possibilitam a análise de uma grande variedade de informações sobre uma determinada área, sendo, atualmente, muito utilizadas para o entendimento de fenômenos ambientais (FONSECA *et al.*, 2013).

Mapas de uso e ocupação do solo geralmente são gerados a partir da interpretação visual ou pela classificação automática de imagens digitais. Para Almeida *et al.* (2014), apesar da aceitação das análises visuais, os procedimentos automáticos ainda têm se apresentado mais eficazes em projetos de maior proporção pois geram resultados com maior velocidade, de forma mais simples e menos onerosa. Apesar disso, esse método geralmente apresenta problemas de confusão entre as classes de interesse. Dessa forma, o ideal seria a utilização simultânea dos métodos automáticos e visuais (MARUJO, 2013).

As classificações tradicionalmente adotadas para as imagens de média resolução, ou seja, as classificações supervisionadas, muitas vezes, apresentam deficiências para o correto enquadramento nas classes tipológicas. Uma alternativa que tem sido adotada é a classificação orientada ao objeto pois ela leva em consideração não só a resposta espectral dos objetos, mas também características como forma, cor e textura, criando agrupamentos de pixels de acordo com a sua homogeneidade (ALMEIDA *et al.*, 2014)

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como propósito avaliar a dinâmica e a fragmentação florestal, por meio de métricas de fragmentos e análise de tamanho, na sub-bacia do Médio Iguaçu (PR) no período de 2000 a 2015.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A Bacia do Rio Iguaçu é formada por 3 sub-bacias, sendo elas: Sub-bacia do Alto Iguaçu, Sub-bacia do Médio Iguaçu (alvo do trabalho) e Sub-bacia do Baixo Iguaçu. Com uma área de aproximadamente 70.800 km², a bacia do Iguaçu compreende grande parte da região sul do estado, além do norte de Santa Catarina e leste da Argentina (SEMA, 2013). A sub-bacia do Médio Iguaçu, por sua vez, representa 17.988,47 km² de área (SUDERHSA, 2006).

De acordo com a classificação de Köppen (1948), a região do Médio Iguaçu apresenta principalmente clima Cfb, que é caracterizado por verões amenos, com temperatura média de 22° C nos meses mais quentes (ITCG, 2008). As formações vegetais mais comuns na região são Floresta Ombrófila Mista (FOM) Montana e Alto Montana, com presença de Campos Gerais na porção mais oeste da sub-bacia (ITCG, 2009).

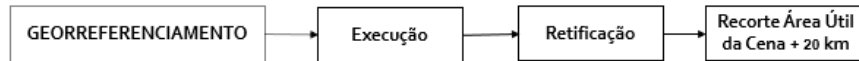
Processamento das Imagens

A análise da dinâmica e fragmentação foi realizada a partir de 8 cenas dos satélites Landsat 7 (ano de 2000) e Landsat 8 (ano de 2015), totalizando 4 cenas para cada ano base. É importante ressaltar que algumas cenas do ano 2000 apresentavam baixa qualidade devido à elementos que dificultavam a sua interpretação (presença de nuvens, por exemplo). Assim, foram selecionadas cenas de anos posteriores, tentando se aproximar ao máximo da data inicial do período avaliado. As imagens apresentavam resolução de 30 metros e a composição digital adotada foi RGB:233. As órbitas-ponto utilizadas no trabalho foram: 222/077 (04/12/2003 e 18/01/2016), 222/078 (12/04/2003 e 01/08/2016), 221/078 (12/08/2000 e 02/08/2016), 221/079 (17/03/2002 e 16/04/2016). Os dados foram obtidos gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

Para a realização da correção geométrica das cenas, foi realizado o procedimento adotando como base as imagens do satélite SPOT 5 dos anos de 2006 e 2007, as quais estavam ortorretificadas e foram disponibilizadas pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná - ITCG. O georreferenciamento foi realizado no *software* ArcGis[®] versão 10.4, sendo coletados aproximadamente 20 pontos de controle por cena. Para o georreferenciamento, o *software* ArcGIS utiliza

um polinômio que é baseado em pontos de controle e um algoritmo conhecido como Ajuste de Mínimos Quadrados - LSF, sigla em inglês (ESRI, 2016). Em seguida, as imagens foram recortadas para o limite de abrangência da área de interesse, adicionadas de 20 quilômetros de bordadura como margem de segurança. Um fluxograma resumindo a etapa de georreferenciamento é apresentado a seguir.

Figura 1. Etapas do georreferenciamento das imagens Landsat.
Figure 1. Steps of the Landsat images georeferencing.



Classificação orientada à objetos

As imagens georreferenciadas foram segmentadas com o uso do *software* Definiens Professional 5.01, o que permitiu o agrupamento dos pixels em segmentos em um primeiro processamento. Para a segmentação, foram utilizados os parâmetros fator de escala (20) e peso para cor, forma, compacidade e textura (0,9; 0,1; 0,5 e 0,5, respectivamente).

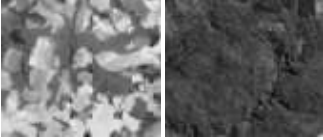
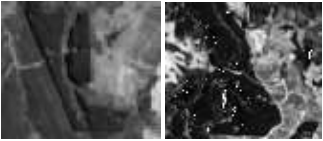
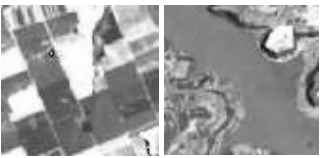
Posteriormente, partiu-se para a classificação orientada ao objeto. Nela, o primeiro nível da hierarquia foi estruturado considerando as classes: 1) áreas de floresta e 2) não-floresta. Posteriormente, criou-se um novo nível, considerando agora a classe 1) floresta do primeiro nível, dividido em 2 outros níveis, sendo: 1.a) Florestas Nativas (estágios inicial, médio e avançado) 1.b) Áreas de Reflorestamentos. As etapas de desenvolvimento da fase de classificação estão detalhados na Figura 2. Os critérios da chave de classificação das amostras estão apresentados no Quadro 1.

Figura 2. Etapas da classificação orientada ao objeto.
Figure 2. Steps of the object-based classification.



Quadro 1. Chave de classificação para amostras de Florestas Nativas, Reflorestamentos e Áreas Não Florestais - imagens Landsat 7 e 8, composição RGB: 233.

Chart 1. Classification key for Natural Forests, Reforestation and Non-forest Areas – Landsat 7 and 8 images, RGB:233 composition.

Amostras	Classe	Caracterização
	Florestas Nativas (Estágios Inicial e Médio/Avançado)	Vegetação secundária em estágio inicial: Textura fina, coloração vermelho claro e sem forma definida Vegetação secundária em estágio médio/avançado: Textura rugosa, coloração vermelho-médio a vermelho escuro e sem forma definida
	Áreas de Reflorestamento	Textura lisa, coloração vermelho médio a preto e com forma reta
	Áreas de Não Floresta	Agricultura, água, pecuária, área urbana.

Por fim, foram gerados arquivos vetoriais (*shapefiles*), os quais foram submetidos a checagem e reambulação no *software* ArcGIS® 10.4, em função de possíveis erros que pudessem ter ocorrido durante a classificação. Nessa fase, os *shapefiles* foram também confrontados com o perímetro da área de interesse, o que possibilitou analisar apenas a área útil da sub-bacia.

Análise do grau de fragmentação

Para as análises, foi considerada apenas a classe de florestas nativas, ou seja, os pantios florestais foram excluídos. Os polígonos foram agrupados em classes de tamanho, considerando apenas aqueles com tamanho maior que 1 ha. Essa decisão foi baseada no conceito de florestas da *United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC* (2001). A definição das classes foi realizada adotando as propostas de Ribeiro *et al.* (2009) e Hentz *et al.* (2015b), sendo apresentadas da seguinte forma: Classe 1: 1 -| 10 ha, Classe 2: 10 -| 40 ha, Classe 3: 40 -| 100 ha, Classe 4: 100 -| 500 ha, Classe 5: 500 -| 1000 ha e Classe 6: > 1000 ha.

A partir das classes de tamanho, foi possível analisar a distribuição dos fragmentos na sub-bacia, para os anos de 2000 e 2015, os quais também possibilitaram a geração de um mapa com as mudanças ocorridas no período avaliado. O mapa de ganho e perdas foi criado a partir da união dos *shapefiles* de fragmentos dos dois anos base. A partir disso, utilizando a tabela de atributo do *shapefile* gerado, identificou-se aqueles polígonos que apresentaram mudança, ou seja, aqueles que eram classificados como floresta no ano de 2000 e foram classificados como não-floresta em 2015 (perda) e vice-versa (ganho). Após o cálculo de áreas, foi aplicado o teste de qui-quadrado (X^2), considerando uma probabilidade de 95% e 5 graus de liberdade.

Os cálculos das métricas foram realizados com a extensão *Patch Analyst* e consideraram características como área e densidade, borda e forma. A descrição das métricas foi adaptada de Hentz (2015) e está apresentada no quadro a seguir.

Quadro 2. Métricas de paisagem utilizadas para a análise de fragmentação na sub-bacia do Médio Iguaçu.
Chart 2. Landscape metrics used for the fragmentation analysis in the Medium Iguaçu sub-basin.

Grupo	Métrica	Sigla	Unidade	Descrição	Fórmula
Área e Densidade	Área da classe	CA	ha	Soma das áreas de todos os fragmentos da classe	$CA = \sum_{i=1}^n C_i$
	Tamanho médio	MPS	ha	Razão entre a soma das áreas dos fragmentos e o número de fragmentos	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$
	Mediana da classe	MedPS	ha	O tamanho do fragmento que se encontra no meio do conjunto de dados, ou seja, na mediana	-
	Número de Fragmentos	NUMP	-	Número total de fragmentos encontrados em uma classe	$NUMP = \sum n_i$
	Desvio padrão do tamanho	PSSD	ha	Dispersão dos tamanhos dos fragmentos em relação à média	$PSSD = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} - (\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}) ^2}{n_i}$
	Coeficiente de variação de área	PScov	%	Razão entre o desvio padrão do tamanho e o tamanho médio, multiplicado por 100	$PScov = \frac{PSSD}{MPS}$
Borda	Total de bordas	TE	m	Soma dos perímetros dos fragmentos	$TE = \sum_{i=1}^n e_i$
	Densidade de bordas	ED	m.ha ⁻¹	Total de bordas da classe em relação a paisagem	$ED = \frac{TE}{CA}$
Forma	Índice de forma médio	MSI	-	Soma do perímetro dos fragmentos dividido pela raiz quadrada da área, e ajustada para o padrão circular, ponderado pelo n° de fragmentos da classe	$PSSD = \frac{\sum_{i=1}^n (0,25p_{ij})}{\int a_{ij}} \cdot n_i$
	Dimensão fractal da mancha média	MPFD	-	Multiplicação de 2 vezes o logaritmo do perímetro, dividido pelo logaritmo da área do fragmento	$MPFD = \frac{2 \times \log e_i}{\log C_i}$
	Razão perímetro-área	MPAR	m.ha ⁻¹	Soma de cada relação perímetro-área dividido pelo número de fragmentos	$MPAR = \frac{\sum_{i=1}^n (\frac{e_i}{C_i})}{n}$

Fonte: Adaptado de Hentz (2015).

RESULTADOS

Para o cálculo de área total de florestas nativas foram considerados todos os tamanhos de fragmentos, inclusive aqueles menores do que 1 ha. De forma geral, pode-se dizer que houve mudanças negativas nas áreas de floresta nativa na sub-bacia do Médio Iguaçu, no período 2000-2015. Apesar da predominância de florestas secundárias na região, essa classe sofreu uma redução de área razoável, cerca de 13,6%, variando de 1.120.974,75 ha em 2000 para 968.649,67 ha em 2015.

Já na Tabela 1, pode-se observar os valores de área desconsiderando os fragmentos menores que 1 ha. No ano de 2015, a área de fragmentos foi menor quando comparada a do ano de 2000, condição semelhante àquela apresentada

anteriormente, na qual foram considerados os fragmentos menores do que 1 ha. Percebe-se também que a medida que a classe de tamanho aumenta, há um acréscimo da área total ocupada, sendo que a classe 6 representa de 840 a 995 mil hectares e a classe 1 varia entre 14 e 20 mil ha.

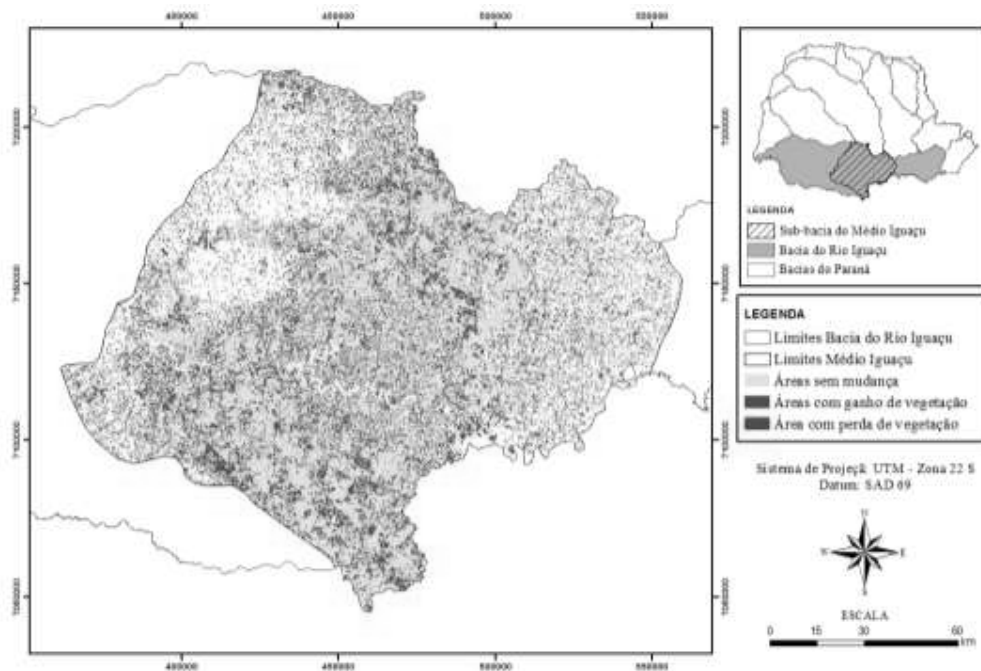
Tabela 1. Áreas e porcentagens de fragmentos na sub-bacia do Médio Iguazu – 2000-2015.
Table 1. Areas and percentages of forest fragments in the Medium Iguazu sub-basin – 2000-2015.

Classe	Amplitude	Ano de 2000		Ano de 2015		Mudança (2015-2000)		<i>p</i>
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Classe 1	1 - 10 ha	14.137,38	1,26%	20.621,01	2,13%	6.483,63	45,86%	2973,50
Classe 2	10 - 40 ha	21.245,75	1,90%	24.872,81	2,57%	3.626,96	17,07%	619,21
Classe 3	40 - 100 ha	20.362,96	1,82%	21.207,35	2,19%	844,39	4,15%	35,01
Classe 4	100 - 500 ha	43.627,84	3,89%	39.190,90	4,05%	-4.436,94	-10,17%	451,24
Classe 5	500 - 1.000 ha	26.355,46	2,35%	20.361,20	2,11%	-5.994,26	-22,74%	1363,33
Classe 6	> 1.000 ha	994.582,53	88,78%	840.306,82	86,94%	-154.272,91	-15,51%	23930,64
Total		1.120.311,91	100%	996.559,98	100%			29372,92

O valor de *p* equivale ao somatório da razão entre a diferença das áreas ao quadrado e a área do ano 2000. O somatório de *p* representa o valor de qui-quadrado (χ^2). O valor de χ^2 tabelado, considerando 95% de probabilidade e 5 graus de liberdade, foi de 1,145476.

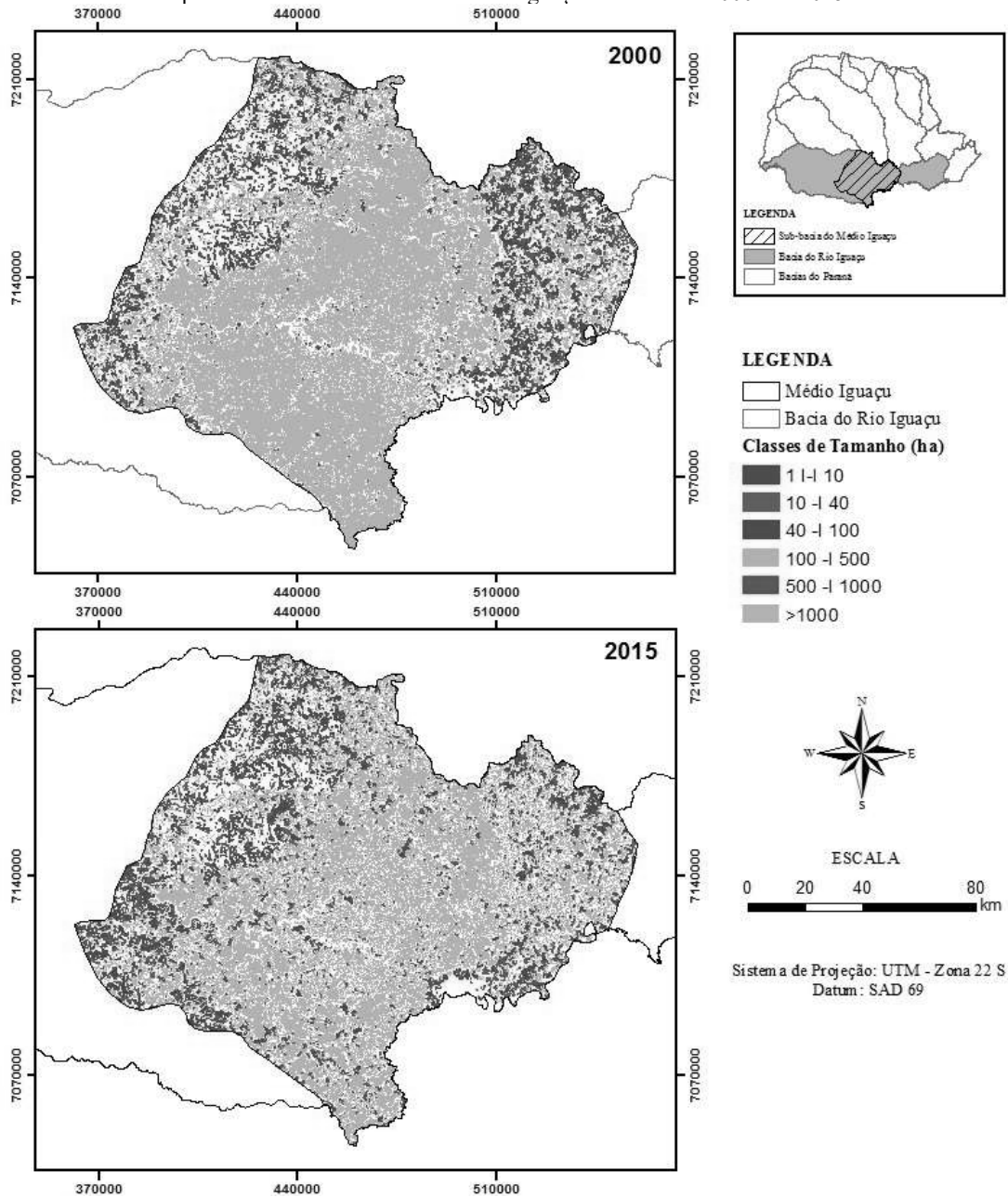
Nota-se que as menores classes tiveram um acréscimo de área em 2015, com destaque a classe de 1 a 10 ha, que obteve um aumento de 6.483,63 ha, o equivalente a 45,86%. Contrariamente, as classes 4, 5 e 6 apresentaram valores menores de área no segundo ano base, sendo que a classe 5 obteve uma redução de aproximadamente 5.944 ha, apontando a maior perda em porcentagem entre as classes de maior tamanho. Apesar disso, a classe 6, por ocupar uma grande extensão territorial, apresentou grandes perdas entre o ano 2000 e 2015, cerca de 154 mil ha. Ademais, no ano de 2000, a maior proporção de área se concentrava nas três maiores classes de tamanho, enquanto, em 2015, as classes 2, 4 e 6 eram as que possuíam as maiores porcentagens, as quais, somadas, representavam cerca de 94% da área total de fragmentos. Pode-se ver que o valor de χ^2 foi de 29.372,92, que é menor do que o valor tabelado (1,145476), ou seja, há uma diferença significativa entre as áreas de floresta dos dois anos base. Para uma melhor visualização das diferenças entre os anos, um mapa com a distribuição das perdas e ganhos de vegetação entre 2000 e 2015 é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Áreas de ganho e perda de florestas nativas na sub-bacia do Médio Iguazu no período de 2000-2015.
Figure 3. Gains and losses of natural forests area in the Medium Iguazu sub-basin over the period 2000-2015.



As perdas de florestas foram mais intensas na região central e oeste da sub-bacia, enquanto os ganhos se concentraram na região leste, reforçando a ideia de que a região oeste da sub-bacia foi a que mais sofreu com os processos de fragmentação. Ademais, comparando-se as Figuras 3 e 4, percebe-se também que, devido a sua localização, a classe de tamanho de fragmentos maiores do que 1.000 ha foi a que mais sofreu redução em área entre os anos 2000 e 2015. Da mesma forma, a região leste da sub-bacia foi a que mais registrou ganhos de floresta nos 15 anos avaliados. Estas mudanças também influenciaram na distribuição das classes de tamanho de fragmentos, a qual pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4. Distribuição das classes de tamanho dos fragmentos na sub-bacia do médio Iguaçu nos anos 2000 e 2015.
Figure 4. Distribution of patches' size classes in the Medium Iguaçu sub-basin in 2000 and 2015.



Observa-se na Figura 4 que, em ambos os anos, a classe de fragmentos com tamanho maior do que 1.000 ha era predominante, sendo que sua distribuição se dava principalmente na área central da sub-bacia. Por outro lado, nota-se

mudanças em relação a distribuição das demais classes. Em 2000, havia uma grande concentração de fragmentos com área entre 1 e 1.000 ha, principalmente, nas regiões leste e noroeste da sub-bacia. Já no ano de 2015, pode-se notar que a região leste estava ocupada, em sua maioria, por fragmentos maiores do 1.000 ha (ganho de floresta), enquanto a região oeste apresentava-se mais fragmentada, com fragmentos menores do que 1.000 ha (perda de floresta).

Em relação a análise da paisagem, os cálculos das métricas para cada classe de tamanho estão dispostos nas Tabelas 2 e 3. Na Tabela 2, estão apresentadas as métricas relacionadas a área e densidade e borda. Novamente, pode-se verificar um crescimento da área total (CA) de acordo com o aumento da classe de tamanho em ambos os anos, com exceção da classe 5. A mesma tendência pode ser identificada nos valores de tamanho médio e mediana das classes (MPS e MedPS). Por outro lado, o número de fragmentos (NumP) diminui conforme a classe varia da menor para a maior. No ano de 2000, 70% dos fragmentos estavam na classe 1, enquanto apenas 0,5% das manchas tinham um tamanho maior do que 1000 ha. Da mesma forma, em 2015, 75% dos fragmentos estavam agrupados na menor classe e apenas 0,4% na classe 6. Isso também pode ser visto ao analisar-se o desvio padrão, uma vez que maiores classes de tamanho demonstraram maiores diferenças de área entre os fragmentos. É o caso da classe 6, que, além de um desvio padrão acima das demais classes, apresentou um coeficiente de variação superior a 300% nos dois anos analisados. No ano de 2000, o menor fragmento da classe 6 possuía uma área de 1.015,1 ha, enquanto o tamanho do maior fragmento era de 531.085,8 ha. Já no último ano base, os tamanhos de fragmentos da classe 6 variaram entre 1.037,3 e 489.835,6, o que demonstra uma enorme amplitude entre os maiores e menores fragmentos. Em relação as mudanças no período 2000-2015, destaca-se o aumento considerável do número de manchas na classe 1 entre 2000 e 2015, uma vez que essa classe apresentou uma diferença de 2.040 fragmentos, aproximadamente 50%.

Tabela 2. Métricas de paisagem de área e densidade para a sub-bacia do Médio Iguaçu, PR.

Table 2. Area and density landscape metrics for the Medium Iguaçu sub-basin, PR.

Amplitude de Classe	Ano de 2000							
	Área e densidade						Borda	
	CA	MPS	MedPS	NumP	PSSD	PSCov	TE	ED
Classe 1: 1 - 10 ha	14.137,38	3,7	3,00	3.853	2,28	62,06	4.600.071,8	4,1
Classe 2: 10 - 40 ha	21.245,75	19,4	16,70	1.098	8,15	42,14	4.278.776,0	3,8
Classe 3: 40 - 100 ha	20.362,96	64,0	62,20	318	16,95	26,46	3.214.928,5	2,9
Classe 4: 100 - 500 ha	43.627,84	201,1	165,00	217	97,18	48,34	5.615.654,4	5,0
Classe 5: 500 - 1.000 ha	26.355,46	675,8	681,60	39	119,42	17,67	2.923.970,8	2,6
Classe 6: > 1.000 ha	994.582,53	36.836,4	2.512,10	27	123.156,38	334,33	36.020.825,5	32,1
Amplitude de Classe	Ano de 2015							
	Área e densidade						Borda	
	CA	MPS	MedPS	NumP	PSSD	PSCov	TE	ED
Classe 1: 1 - 10 ha	20.621,01	2,3	2,7	5.893	2,25	64,38	6.952.686,2	7,1
Classe 2: 10 - 40 ha	24.872,71	19,4	16,7	1.283	8,02	41,38	5.457.727,3	5,7
Classe 3: 40 - 100 ha	21.207,35	62,7	59,8	338	16,36	26,08	3.568.499,9	3,7
Classe 4: 100 - 500 ha	39.190,90	2.006,3	182,8	190	94,90	46,01	5.585.800,5	5,8
Classe 5: 500 - 1.000 ha	20.361,20	702,1	681,1	29	147,12	20,95	2.545.738,5	2,6
Classe 6: > 1.000 ha	840.306,82	30.011,0	1.786,8	28	101.637,34	338,67	64.069.657,10	66,3

CA = Área da Classe (ha); MPS = Tamanho Médio (ha); MedPS = Mediana da Classe (ha); NumP = Número de Fragmentos; PSSD = Desvio Padrão do Tamanho (ha); PSCov = Coeficiente de Variação área (%); TE = Total de bordas (m); ED = Densidade de bordas (m.ha⁻¹)).

Tanto no ano de 2000, quanto no ano de 2015, a classe 6 foi a que demonstrou o total de bordas mais expressivo, 36.020.825,5 m e 64.069.657,10 m, respectivamente, em função do maior tamanho de áreas. Porém, ao verificar o desenvolvimento da classe durante o período avaliado, percebe-se que houve uma mudança significativa em relação a soma dos perímetros dos fragmentos, já que o ano final de avaliação teve um total de bordas duas vezes maior do que o

de 2000. O contrário ocorreu com a classe 5, a qual, mesmo sendo ocupada por grandes fragmentos (entre 500 e 1.000 ha), apresentou o menor total de bordas nos dois anos base, entre 2,5 e 2,9 milhões de metros. A densidade de bordas (ED), em ambos os anos, segue a mesma tendência do total de bordas, sendo que o maior valor está relacionado a classe de tamanho 6 (66,3 m.ha⁻¹) e o menor, (2,6, m.ha⁻¹) a classe 5.

A forma também é um fator essencial para a análise de fragmentação. O cálculo do Índice de Forma Médio (MSI) tenta comparar os fragmentos a uma forma circular. Dessa forma, quanto mais próximo a 1 for o MSI, mais circulares (ou regulares) são os fragmentos. Na Tabela 3, é possível notar que o índice de forma médio foi alto para todas as classes nos dois anos avaliados, ou seja, tanto as menores quanto as maiores manchas apresentaram características irregulares. Além disso, pode-se dizer que os fragmentos das menores classes são mais circulares do que aqueles com maiores dimensões pois, apesar de alto, o MSI para aquelas classes são mais próximos a 1. Isso é evidente ao analisar-se a classe 6, a qual apresentou valores de forma, em termos médios, próximos a 20 nos dois anos de análise. Da mesma forma que o MSI, a dimensão fractal (MPFD) também diz respeito ao formato do fragmento e seu valor pode variar de 1 a 2, sendo que valores maiores são menos regulares. Nesse caso, a dimensão fractal aumentou de acordo com o aumento das classes em 2000 e 2015, sendo que os menores e maiores valores encontrados foram de 1,35 e 1,36 e 1,45 e 1,46, respectivamente.

Tabela 3. Métricas de paisagem de forma para a sub-bacia do Médio Iguaçu, PR.
Table 3. Shape landscape metrics for the Medium Iguaçu sub-basin, PR.

Amplitude de Classe	Ano de 2000			Ano de 2015		
	Forma					
	MSI	MPFD	MPAR	MSI	MPFD	MPAR
Classe 1: 1 - 10 ha	1,8	1,35	370,1	1,8	1,36	379,1
Classe 2: 10 - 40 ha	2,5	1,36	210,8	2,7	1,37	227,7
Classe 3: 40 - 100 ha	3,6	1,37	160,6	3,8	1,38	169,7
Classe 4: 100 - 500 ha	5,1	1,39	133,5	5,8	1,41	148,4
Classe 5: 500 - 1.000 ha	8,2	1,43	112,2	9,3	1,44	126,3
Classe 6: > 1.000 ha	17,3	1,45	91,9	21,8	1,46	97,6

MSI = Índice de forma médio; MPFD = Dimensão Fractal da mancha média; MPAR = Razão perímetro-área (m.ha⁻¹).

A razão perímetro-área (MPAR) demonstrou uma pequena diferença entre os anos base, mantendo a mesma tendência nos dois anos. Diferentemente de outras métricas de forma, a MPAR se apresenta decrescente em relação as classes de tamanho. Na Tabela 3, pode-se ver que quanto maior é a classe de tamanho, menor é a razão perímetro-área.

DISCUSSÃO

A redução de áreas de florestas naturais do Médio Iguaçu entre 2000 e 2015 está relacionada a diminuição em áreas dos fragmentos maiores do que 1.000 ha, que conseqüentemente deram origem a paisagens mais fragmentadas no ano de 2015, como é o caso da região oeste da sub-bacia (à exemplo dos municípios de Coronel Domingues Soares, Honório Serpa, Mangueirinha e Reserva do Iguaçu), que apresentou uma maior presença de classes de menor tamanho. Por outro lado, o aumento do tamanho dos fragmentos na região mais a leste da sub-bacia pode ser explicado, principalmente, pela influência das leis ambientais sobre a manutenção das propriedades rurais (CALEGARI *et al.*, 2010).

A diminuição em área de fragmentos florestais pode causar uma série de conseqüências, sendo uma delas a redução da biodiversidade local. O decréscimo das áreas de fragmentos causa a locomoção da biodiversidade, que, devido a baixa oferta de recursos (alimento, por exemplo), se desloca para outros locais, causando, em alguns casos, excedentes populacionais. Esses excedentes, por sua vez, causam uma competição entre as populações, gerando um desequilíbrio nas taxas de sobrevivência e reprodução. Em outras situações, as populações podem ainda se locomover para manchas de menor qualidade, isto é, locais desfavoráveis para o seu desenvolvimento (MMA/SBF, 2003)

Para Silva & Souza (2014), as métricas de tamanho e densidade de fragmentos, apesar de serem atributos simples de se calcular, são indispensáveis para a estimativa de outras características da paisagem, como as de forma e de borda. No estudo, foi identificado que maiores áreas totais de fragmento ocupavam maiores classes de tamanho, demonstrando uma relação positiva entre a área dos fragmentos e as classes de tamanho. Da mesma forma, o número de fragmentos foi inversamente proporcional a classe de tamanho, ou seja, enquanto as maiores classes apresentaram menor número de fragmentos, as menores possuíam maiores quantidades de manchas. Essa tendência também foi observada por Pirovani *et al* (2014), em seu estudo de fragmentação em uma bacia hidrográfica do estado do Espírito Santo. Além disso, foi identificado um aumento de aproximadamente 50% no número de fragmentos da classe 1, no período analisado. Isso pode estar relacionado as perdas em áreas de classes de maior tamanho, como é o caso da classe 6 (>1.000 ha), que obteve um redução de área intensa entre 2000 e 2015. Calegari *et al.* (2010) cita que pequenos fragmentos florestais podem ser utilizados como pontos de ligação ecológico, auxiliando a fauna e flora na locomoção entre fragmentos.

Em relação ao desvio padrão e ao coeficiente de variação (PSSD e PScov), a classe 6 (>100 ha) apresentou valores altos para ambos os anos base. Isso acontece devido a grande diferença de tamanho entre os fragmentos da classe (JUVANHOL *et al.*, 2011). Ao estudar o desvio padrão da área dos fragmentos maiores do que 1.000 ha na Bacia do Rio Iguaçu (PR), Hentz *et al.* (2015a) também identificou valores altos para os dois atributos, sendo que o coeficiente de variação encontrado pelos autores foi de 318,90%, valor aproximado àqueles estimados neste trabalho.

Os maiores valores para total e densidade de bordas (TE e ED) estão relacionados a classe de maior tamanho (classe 6), destacando-se a mudança ocorrida nessa classe entre os anos de 2000 e 2015. Devido a sua área e ao seu formato mais irregular, os fragmentos com tamanho maior do que 1.000 ha são também aqueles que mais sofrem com o efeito de borda. Porém, se considerada a área núcleo, esses fragmentos apresentam maior área protegida em relação aos fragmentos de menor tamanho (PIROVANI *et al.*, 2014). Segundo Ribeiro *et al.* (2009), pelo menos 50% da mata atlântica está localizada a menos de 100 metros de áreas abertas, sendo, então, propícias a influências do efeito de borda. Para essas situações, Hentz *et al.* (2015a) sugere que sejam desenvolvidas ações de conservação, com o intuito de diminuir a interação entre os fragmentos florestais e fatores externos (como pragas e incêndios).

As análises dos índices de forma médio (MSI) e dimensão fractal (MPFD) apontaram que quanto maior é a classe de tamanho, mais irregulares são os fragmentos, demonstrando também pouca mudança nos 15 anos avaliados. Calegari *et al.* (2010) também encontrou pequenas mudanças de forma no período avaliado. Apesar disso, em seus estudos, o autor não notou uma grande irregularidade nos fragmentos, o que os caracteriza com uma forma simples. Hentz *et al.* (2015a), por sua vez, verificou que classes de tamanho maior apresentavam uma forma mais irregular, sendo que todas os tamanhos apresentaram um MSI alto.

Os valores de perímetro/áreas médios (MPAR) não demonstraram grande diferença entre os anos base e apresentaram a mesma tendência em relação as classes de tamanho, ou seja, a razão perímetro-área foi inferior nas maiores classes. Esse comportamento também foi verificado por Castro (2008), que identificou que as áreas de borda tendem a influenciar mais facilmente fragmentos menores e mais irregulares.

CONCLUSÕES

- As áreas de florestas nativas demonstraram uma redução de área, principalmente nas classes de fragmentos maiores do que 1.000 ha;
- Não foram observadas grandes diferenças nas métricas de área e densidade, borda e forma, durante o período avaliado, com exceção da área da classe e soma de perímetros da classe 1 e da classe 6, respectivamente, que mostraram-se maior no ano de 2015;
- Atualmente, as áreas mais fragmentadas estão localizadas na região oeste da sub-bacia, as quais, apesar de sofrerem mais influência do efeito de borda, podem ser utilizadas como pontes ecológicas entre grandes fragmentos ;
- Ainda pode-se notar a presença de fragmentos da classe 6 com maior ocorrência na região central do Médio Iguaçu, que provavelmente mantém a maior parte da biodiversidade local;

RECOMENDAÇÕES

Existe um grande déficit de informações sobre a dinâmica e fragmentação florestal na região do Médio Iguaçu. Dessa forma, sugere-se que sejam feitos estudos mais detalhados, definindo áreas de estágio inicial e médio-avançado de vegetação, bem como calculando outras métricas de paisagem, como área central e proximidade, a fim de identificar as reais áreas de conservação da fauna e da flora e entender melhor as suas interações.

Apesar de demonstrar um melhor desempenho quando comparada a outros tipos de classificação, a classificação orientada ao objeto ainda apresenta confusões ao enquadrar as tipologias. Assim, pode-se testar valores menores de fator de escala na etapa de segmentação, visando obter objetos menores e consequentemente uma melhor resolução da classificação.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos seus pais pela motivação e suporte as suas decisões. Aos professores, principalmente a sua orientadora Professora Doutora Ana Paula Dalla Corte, pelo auxílio e paciência. A colega Isabela por toda a ajuda no desenvolvimento deste trabalho. Aos amigos e colegas, em especial Cláudia, Érika, Fernanda, Melrian, Paola e Vanessa, por todo o apoio e companheirismo durante a jornada acadêmica. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de apoio técnico e ao Centro de Excelência em Pesquisa de Biomassa e Carbono (BIOFIX), pela infraestrutura e incentivo a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. de; WERNECK, G. L.; RESENDES, A. P. da C. Classificação orientada a objeto de imagens de sensoriamento remoto em estudos epidemiológicos sobre leishmaniose visceral em área urbana. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 8, p. 1639-1653. 2014.
- BEZERRA, C. G.; SANTOS, A. R. dos; PIROVANI, D. B.; PIMENTEL, L. B.; EUGENIO, F. C. Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia hidrográfica do Córrego Horizonte, Alegre, ES. **Espaço & Geografia**, Brasília, vol. 14, n. 2, p. 257-277. 2011.
- BROADBENT, E. N.; ASNER, G. P.; KELLER, M.; KNAPP, D. E.; OLIVEIRA, P. J. C.; SILVA, J. N. Forest Fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, Boston, v. 141, p. 1745-1757. 2008.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p.871-880. 2010.
- CASTELO, T. B. Legislação florestal brasileira e políticas do governo de combate ao desmatamento da Amazônia Legal. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 18, n. 4, p. 221-242. 2015.
- CASTRO, D. M. **Efeito de borda em ecossistemas tropicais**: síntese bibliográfica e estudo de caso em fragmentos de Cerrado, na região Nordeste do Estado de São Paulo. 2008. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 171 p. 2008.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS® 10.4 Help**. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.4/get-started/main/get-started-with-arcmap.htm>>. Acesso em: 20 maio 2017.
- FONSECA, S. M. da; SANTOS, D. C. dos; HERMANO, V. M. Geoprocessamento aplicado à análise dos impactos socioambientais urbanos: estudo de caso do bairro Santo Expedito em Buritizeiro/MG. **Revista de Geografia (UFPE)**, Pernambuco, v. 30, n. 3, p. 178-191. 2013.
- GARCIA, D. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. **Ecosistemas**, v. 20, n. 2, p. 1-10. 2011.
- GARCIA, L. da S.; SANTOS, A. M. dos; FOTOPOULOS, I. G.; FURTADO, R. da S. Fragmentação florestal e sua influência sobre a fauna: Estudo de caso na Província Ocidental da Amazônia, município de Urupá, estado de Rondônia. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. INPE. Foz do Iguaçu, PR, p. 3163-3170. 2013.
- HENTZ, A. M. K. **Mapeamento, fragmentação florestal e influência das áreas de borda para a comunidade arbórea no Alto Iguaçu – estado do Paraná**. Dissertação, Universidade Federal do Paraná. 197 p. 2015.
- HENTZ, A.; CORTE, A. P. D; BETINA, D.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da fragmentação dos remanescentes florestais da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu - PR, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v. 11, n. 21, p. 2842-2858. 2015.
- HENTZ, A.; CORTE, A. P. D; BLUM, C. T.; SANQUETTA, C. R. Técnicas orientada ao objeto para levantamento da fragmentação florestal na sub-bacia Alto Iguaçu, Paraná. **Geosciências**. São Paulo, v. 34, n. 4, p. 883-896. 2015.
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Nota Técnica – Características do emprego no setor agropecuário e florestal no Paraná**. Curitiba: IPARDES, 2010. 31 p.
- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ - ITCG. **Clima – Estado do Paraná**. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Climas_A3.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.
- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ - ITCG. **Formações Fitogeográficas – Estado do Paraná**. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 02 jul. 2016.
- JUVANHOL, R. S; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R. dos; PIROVANI, D. B.; LOUZADA, F. L. R. de O.; DIAS, H. M.; TEBALDI, A. L. C. Análise Espacial de Fragmentos Florestais: Caso dos Parques Estaduais de Forno Grande e Pedra Azul. Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 353-364, 2011.
- MARUJO, R. de F. B. **Avaliação de métodos de segmentação de imagens aplicadas na classificação de culturas cafeiras**. Monografia. Universidade Federal de Lavras. 50p. 2013.
- MAPBIOMAS. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/stats>>. Acesso em: 27 maio 2017.
- RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. de (orgs). **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. MMA/SBF, 510 p. 2003.
- PARANÁ – SUDERHSA – Instituto das Águas do Paraná. **Dados para download: Unidades hidrográficas do Paraná**. 2006. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=79>>. Acesso em: 27 maio. 2017.

PARANÁ - SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Agrometeorologia: 2011/2011**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/agrometeorologia_2010_11.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.

PARANÁ – Secretaria Do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA). **Bacias hidrográficas do Paraná: uma série histórica**. 2013. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/BACIAS/iguacu.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2017.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G. da; SANTOS, A. R. dos; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. M.; MARTINS, S. V. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 271-281. 2014.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Boston, v. 142, p. 1141-1153. 2009.

RUDOLPHO, L. da S.; BRAGHIROLI, G.; REFOSCO, J. C.; SANTIAGO, A. G.; SABOYA, R. T. de. Aplicação de técnicas de geoprocessamento e métricas de paisagem na análise temporal da cobertura florestal da Bacia do Ribeirão Fortaleza em Blumenau/SC. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. INPE. Foz do Iguaçu, PR, p. 1742-1749.

SILVA, M. do S.F. da; SOUZA, R. M. e. Padrões espaciais de fragmentação florestal na Flona do Ibura – Sergipe. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 3, p. 121-137. 2014.

UNFCCC - United Nation Framework Convention on Climate Change. **Report of The Conference of The Parties on Its Seventh Session, Held At Marrakesh From 29 October To 10 November 2001**. Addendum, 2001. Part Two: Action Taken by The Conference of The Parties. 69 f. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf#page=54>>. Acesso em: 13 jun. 2017.