

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

TASSIANE NOVACOSQUE FEITOSA GUERRA

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ENTORNO NA INTENSIDADE DO EFEITO DE BORDA:
DIVERSIDADE, RESPOSTAS FUNCIONAIS E REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO
LENHOSA DE FRAGMENTOS PROTEGIDOS DE FLORESTA ATLÂNTICA

RECIFE

2016

TASSIANE NOVACOSQUE FEITOSA GUERRA

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ENTORNO NA INTENSIDADE DO EFEITO DE BORDA:
DIVERSIDADE, RESPOSTAS FUNCIONAIS E REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO
LENHOSA DE FRAGMENTOS PROTEGIDOS DE FLORESTA ATLÂNTICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutora em botânica.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos

Co-orientadores:

Prof.^a Dr.^a Elcida de Lima Araújo

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá

RECIFE

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G934i Guerra, Tassiane Novacosque Feitosa
Influência do tipo de entorno na intensidade do efeito de borda:
diversidade, respostas funcionais e regeneração da vegetação
lenhosa de fragmentos protegidos de floresta Atlântica / Tassiane
Novacosque Feitosa Guerra. – 2016.
146 f.: il.

Orientadora: Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Recife,
BR-PE, 2016.

Inclui referências.

1. Floresta tropical úmida 2. Unidades de conservação
3. Urbanização 4. Contraste de habitat 5. Dossel 6. Sub-bosque
7. Regeneração 8. Estratos verticais I. Ramos, Elba Maria Nogueira
Ferraz, orient. II. Título

CDD 581

TASSIANE NOVACOSQUE FEITOSA GUERRA

Influência do tipo de entorno na intensidade do efeito de borda: diversidade, respostas funcionais e regeneração da vegetação lenhosa de fragmentos protegidos de floresta Atlântica

Tese defendida e _____ pela banca examinadora em _____.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos
Instituto Federal de Pernambuco - IFPE

Examinadores:

Prof. Dr. Kleber Andrade da Silva (Titular)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof.^a Dr.^a Jarcilene Silva de Almeida Cortez (Titular)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof.^a Dr.^a Maria Jesus Nogueira Rodal (Titular)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Borges Lins e Silva (Titular)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dr.^a Josiene Maria Falcão Fraga dos Santos (Suplente)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dr.^a Patrícia Barbosa Lima (Suplente)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

RECIFE
2016

À minha filhinha Helena.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Felizmente, o planejamento e a execução desta tese contaram com a colaboração de várias pessoas. Por meio deste apoio consegui passar por todas as etapas que envolveram a elaboração deste material e sua defesa. Foram muitos passos visando não só um título acadêmico, mas, especialmente, crescimento profissional e aperfeiçoamento deste material, com o objetivo de produzir algo com qualidade e valor técnico-científico para conservação da biodiversidade, uma vez que esta é a força motriz que impulsiona minha vida profissional.

De todos os envolvidos, agradeço em especial à professora Elba Ferraz, pelo acompanhamento de toda a jornada, sempre me guiando e apoiando, muito obrigada pela orientação e amizade. Agradeço também à professora Elcida Araújo e ao professor Everardo Sampaio, meus co-orientadores e verdadeiros conselheiros. Aprender com a experiência deste comitê de orientação foi incrível, espero ter usufruído de todo este conhecimento com muita sabedoria.

Aos vários colegas que de alguma maneira colaboraram com a elaboração do projeto e definição das áreas de estudo, entre eles Marcos Araújo, Lígia Alcântara e Amanda Menezes, também deixo meu agradecimento. Agradeço ao parataxonomista Marcos Chagas pelo intenso trabalho de campo, pelos valiosos ensinamentos botânicos, segurança e companhia. Ainda pelo apoio durante o trabalho de campo, agradeço ao Nélio Domingos e à Lourdes Gonçalves. Agradeço à Elhane Silva, Patrícia Lima, Josiene Santos e aos professores Kleber Andrade e André Melo pela ajuda na realização de algumas análises estatísticas e utilização de softwares estatísticos.

Pela autorização de consulta ao acervo botânico em prol da identificação do material coletado, agradeço às curadoras dos herbários Professor Vasconcelos Sobrinho/UFRPE, Geraldo Mariz/UFPE e Dárdano de Andrade Lima/IPA. Agradeço em especial à Maria Elizabeth Bandeira, curadora do herbário Professor Vasconcelos Sobrinho pelo carinho especial com o acervo e com o pesquisador. Pela identificação das coletas da família botânica Myrtaceae, agradeço o apoio do Bruno Amorim e as da família Sapotaceae agradeço à Liliane Lima.

Pela autorização para execução da pesquisa em suas propriedades, agradeço aos órgãos gestores do Parque Estadual de Dois Irmãos e da Estação Ecológica de Caetés (Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade e Agência Estadual de Meio Ambiente, respectivamente) e aos proprietários da Usina São José. Agradeço especialmente aos gestores

da Estação Ecológica de Caetés pelo apoio e atenção durante as atividades de campo, à Companhia Independente de Policiamento do Meio Ambiente pela presença durante algumas coletas e à Usina São José pela disponibilização de um funcionário, Sr. Lenilson Barbosa, durante as atividades de campo em sua propriedade.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Botânica pelo apoio financeiro às atividades de campo; aos coordenadores do Programa, Carmem Zickel e Reginaldo de Carvalho, pela assistência e disponibilidade; à secretária do Programa, Kênia Muniz, pelo excelente trabalho desenvolvido e amizade; e aos colegas do curso, pela companhia e aprendizado em conjunto durante toda a jornada.

Em especial, agradeço à Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), pela concessão de afastamento integral das minhas funções como analista ambiental para realização do curso de doutorado em Botânica, sem o qual seria impossível construir este material e realizar o curso.

Sendo o que há de mais valioso na minha existência, agradeço à minha mãe, Maria Lúcia, e ao meu irmão, Thyago, por estarem sempre ao meu lado e serem meu suporte; ao meu marido, Guilherme, por ser minha referência de felicidade; e à minha filhinha, Helena, que mesmo ainda crescendo em meu ventre, já me faz ver a vida de outra perspectiva.

“Vi ontem um bicho
Na imundice do pátio
Catando comida entre os detritos.
Quando achava alguma coisa,
Não examinava nem cheirava:
Engolia com voracidade.
O bicho não era um cão,
Não era um gato,
Não era um rato.
O bicho, meu Deus, era um homem.”
(Manuel Bandeira, 1948)

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURA	x
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Fragmentação florestal e efeito de borda	22
2.2 Influência de entorno: tipos do uso do solo	24
2.2.1 Avaliação de gradientes urbano-rurais: o efeito da urbanização	25
2.2.2 Tipo de uso do solo e cobertura da terra: floresta tropical Atlântica brasileira	30
2.2.2.1 Fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno rural: avaliação do efeito da fragmentação	31
2.2.2.2 Fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano: quadro da Região Metropolitana do Recife	37
3. REFERÊNCIAS	38
4. CAPÍTULO I	47
Redução da diversidade de plantas arbóreas e do sub-bosque lenhoso na borda de fragmentos de floresta tropical Atlântica com a urbanização do entorno	48
Resumo	49
Introdução	50
Métodos	51
Resultados	55
Discussão	57
Conclusão	59

Referências	61
5. CAPÍTULO II	77
Áreas urbanas ou áreas rurais: qual uso do solo no entorno da floresta induz maior intensidade de efeito de borda sobre as características funcionais das plantas?	78
Resumo	79
Introdução	80
Métodos	81
Resultados	86
Discussão	87
Conclusões	90
Referências	91
6. CAPÍTULO III	104
Influência da urbanização na regeneração de plantas lenhosas por categoria de ocupação vertical: avaliação do efeito de borda em áreas protegidas de floresta tropical Atlântica	105
Resumo	106
Introdução	107
Materiais e Métodos	108
Resultados	112
Discussão	114
Conclusões	117
Referências	118
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
8. ANEXOS	136
I – Normas da revista <i>Biodiversity and Conservation</i>	136
II – Normas da revista <i>Applied Vegetation Science</i>	138
III– Normas da revista <i>Biological Conservation</i>	141

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

	Pág.
Figura 1. Localização dos remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto – urbano, médio – suburbano e baixo – rural) avaliados na Região Metropolitana do Recife, Nordeste do Brasil.	72
Figura 2. Curvas de acumulação espécies-indivíduo do componente arbóreo (a) e do sub-bosque lenhoso (b) na borda e no interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	73
Figura 3. Curvas de abundância de indivíduos por espécies do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso na borda e no interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (a - alto, b - médio e c - baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil. D e <i>p-value</i> referem-se ao Teste Kolmogorov-smirnov para duas amostras.	74
Figura 4. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) baseado na composição florístico-estrutural do componente arbóreo na borda (polígonos cheios) e no interior (polígonos vazios) de remanescentes florestais com diferentes graus de urbanização no entorno (a – alto, b - médio e c – baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	75
Figura 5. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) baseado na composição florístico-estrutural do sub-bosque lenhoso na borda (polígonos cheios) e no interior (polígonos vazios) de remanescentes florestais com diferentes graus de urbanização no entorno (a - alto, b - médio e c – baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	76

Capítulo II

	Pág.
Figura 1. Localização da área de estudo, com indicação dos remanescentes de floresta tropical Atlântica avaliados (urbano, suburbano e rural) na	103

Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Capítulo III

	Pág.
Figura 1. Localização da área de estudo com indicação dos fragmentos florestais avaliados e seus tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	132

LISTA DE TABELAS

Revisão de literatura

	Pág.
Tabela 1. Trabalhos que abordaram aspectos relacionados à influência do tipo de entorno e/ou à influência da urbanização sobre a vegetação arbórea e/ou arbustiva e/ou herbácea em florestas temperadas, boreais e subtropicais.	27
Tabela 2. Trabalhos que abordaram algum aspecto da fragmentação de habitats sobre a vegetação arbórea e/ou arbustiva da floresta tropical Atlântica brasileira de terras baixas (<100 m de altitude). Foram incluídos apenas trabalhos que foram publicados em periódicos e que fizeram uso de alguma ferramenta estatística para comprovar os resultados.	34

Capítulo I

	Pág.
Tabela 1. Teste multivariado de significância da análise de Modelo Linear Generalizado (GLM) considerando a influência das variáveis preditoras Entorno (alto, médio e baixo grau de urbanização no entorno) e Ambiente (borda e interior) sobre riqueza, diversidade, equitabilidade e densidade de plantas do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso em remanescentes de floresta tropical Atlântica, localizados na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	66
Tabela 2. Riqueza, diversidade e densidade (valor absoluto, média e desvio padrão entre parênteses) de plantas do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso em remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização (alto, médio e baixo) no entorno, localizados na Região Metropolitana do Recife, Brasil. <i>P-value</i> refere-se ao teste de Fisher LSD, <i>a posteriori</i> do teste multivariado de significância da análise de Modelo Linear Generalizado (GLM), entre a borda (B) e o interior (I) em cada situação de estudo.	67
Tabela 3. Porcentagem de espécies calculada por intervalos de número de indivíduos do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso, na borda (B) e no interior (I) de remanescentes de floresta tropical Atlântica	68

com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) na Região Metropolitana do Recife, Brasil. *Singletons* referem-se a espécies com um indivíduo e *Doubletons* espécies com dois indivíduos. Em negrito estão indicadas as maiores variações entre a borda e o interior fornecidas pela análise de resíduos do Qui-quadrado (Res. X^2).

- Tabela 4. Dissimilaridade florístico-estrutural (*two-way* PERMANOVA) do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso considerando a influência das variáveis preditoras Entorno (alto, médio e baixo grau de urbanização no entorno) e Ambiente (borda e interior) obtidas em remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil. 69
- Tabela 5. Dissimilaridade florístico-estrutural (*one-way* PERMANOVA e ANOSIM) do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso entre a borda e o interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) na Região Metropolitana do Recife, Brasil. 70
- Tabela 6. Espécies indicadoras na borda e no interior, em ordem decrescente do valor indicativo (VI), de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil. 71

Capítulo II

- | | Pág. |
|---|------|
| Tabela 1. Resultado da Análise de Redundância (RDA) para influência dos tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) e de ambientes (borda e interior) sobre o conjunto de características funcionais das plantas de remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil. | 97 |
| Tabela 2. Resultados na variação de partição (VARPART) para influência da variável tipo de entorno (urbano, suburbano e rural) e do tipo de ambiente (borda e interior) sobre o conjunto de características funcionais das plantas de remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil. | 98 |

Tabela 3.	Similaridade funcional entre a borda e o interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica em um gradiente urbano-rural. Resultados da Análise de Redundância (RDA) simples para remanescentes de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	99
Tabela 4.	Índice de diversidade funcional de Rao calculado para borda e interior em três tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) de remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Médias comparadas pelo teste de Tukey entre a borda e o interior.	100
Tabela 5.	Proporção média ponderada de espécies e indivíduos para cada característica funcional e resultados da análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM) entre os ambientes de borda (B) e interior (I) do componente arbóreo de remanescentes de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	101
Tabela 6.	Proporção média ponderada de espécies e indivíduos para cada característica funcional e resultados da análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM) entre os ambientes de borda (B) e interior (I) do sub-bosque lenhoso de remanescentes de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	102

Capítulo III

		Pág.
Tabela 1.	Variáveis utilizadas para avaliação da influência da urbanização do entorno sobre a regeneração de espécies em fragmentos de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil.	125
Tabela 2.	Resultado da avaliação dos níveis de interação entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (borda e interior) e fase de desenvolvimento (inicial e intermediária) coletadas em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. (Testes simultâneos de que	126

todas as interações que envolvem k variáveis são nulas).

- Tabela 3. Resultado do teste de associação parcial entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (borda e interior) e fase de desenvolvimento (Fase de des. - inicial, intermediária e avançada) coletadas em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. 127
- Tabela 4. Proporção de indivíduos e análise log-linear de tabela de frequência, avaliando modelos com associações entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (Oc - espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (Am - borda e interior) e fase de desenvolvimento (Fd – inicial, intermediária e avançada) em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. 128
- Tabela 5. Proporção de espécies e análise log-linear de tabela de frequência de espécies, avaliando modelos com associações entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (Oc - espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (Am - borda e interior) e fase de desenvolvimento (Fd - inicial, intermediária e avançada) em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. 129
- Tabela 6. Dissimilaridade florística das espécies do dossel, do alto e do baixo sub-bosque entre a borda e o interior por fase de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Valores de F e p^* (*Bonferroni corrected value*) fornecidos pela PERMANOVA e do R^{**} (R global) fornecido pela ANOSIM. 130
- Tabela 7. Dissimilaridade florística das espécies do dossel, do alto e do baixo sub-bosque entre fases de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) na borda de fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Valores de F e p^* (*Bonferroni corrected value*) fornecidos pela PERMANOVA e do R^{**} (R global) fornecido pela ANOSIM. 131

Guerra, Tassiane Novacosque Feitosa; Dr.^a; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Dezembro, 2016; *Influência do tipo de entorno na intensidade do efeito de borda: diversidade, respostas funcionais e regeneração da vegetação lenhosa de fragmentos urbanos e rurais protegidos de floresta Atlântica*. Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos, Elcida de Lima Araújo, Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.

RESUMO

O tipo de uso da terra no entorno dos fragmentos florestais pode induzir mudanças abióticas e bióticas, sobretudo na borda desses remanescentes, provocando variações na diversidade, função e regeneração das assembleias vegetais. Dessa maneira, podem influenciar o efeito de borda sobre os fragmentos florestais de diferentes formas, a depender das características de cada tipo de uso e da sua predominância no entorno. Esta tese teve como objetivo compreender qual tipo de uso do solo no entorno da floresta tropical Atlântica induz um efeito de borda mais intenso. Fragmentos em um gradiente urbano-rural na Região Metropolitana do Recife tiveram seu entorno mapeado para a quantificação de áreas urbanas e rurais e definição das áreas de coleta: fragmento com entorno urbano, com entorno suburbano e com entorno rural. Nestas áreas, foi avaliada a riqueza e diversidade, respostas funcionais e regeneração das espécies de plantas lenhosas, arbóreas e arbustivas, na borda e no interior. Visando a construção de um perfil estrutural completo da ocupação vertical de cada fragmento selecionado, as plantas foram amostradas por três critérios de inclusão: (i) plantas com circunferência ao nível do peito ≥ 15 cm; (ii) plantas com circunferência ao nível do peito < 15 cm e com circunferência ao nível do solo ≥ 3 cm; e (iii) plantas com circunferência ao nível do solo < 3 cm e altura ≥ 10 cm. O alto grau de urbanização induziu uma maior heterogeneidade entre borda e o interior, afetando negativamente a riqueza e diversidade de espécies, especialmente no componente arbóreo. No remanescente com baixo grau de urbanização no entorno, onde predominam plantações de cana-de-açúcar, a riqueza e a diversidade do sub-bosque também foram reduzidas. Do ponto de vista funcional, o fragmento com entorno mais urbanizado também foi mais ameaçado pelo efeito de borda que os demais e as espécies com sementes de tamanho pequeno, menor altura máxima, dispersão abiótica e intolerância à sombra apresentaram maior proporção de espécies e de indivíduos na borda deste fragmento. As espécies do sub-bosque alto da floresta, ou seja, aquelas que não alcançam o dossel, mas que ultrapassam 4 m de altura, tiveram sua regeneração bastante comprometida pelo aumento da urbanização do entorno. O fragmento com nível

intermediário de urbanização no entorno apresentou, em diversas situações, relação borda-interior mais homogênea para diversidade, respostas funcionais e regeneração. Neste fragmento predominam atividades rurais de baixa intensidade. Portanto, ao longo do gradiente urbano-rural, áreas mais urbanizadas no entorno da floresta induzem efeito de borda mais intenso, tanto do ponto de vista estrutural como funcional, afetando na borda dos fragmentos: o número e a diversidade de espécies, principalmente quanto ao modo como os indivíduos se organizam espacialmente; a frequência de determinadas espécies; a proporção de características funcionais das plantas que tendem a apresentar maior sobrevivência; e a regeneração de espécies do sub-bosque alto. As áreas com um nível de urbanização intermediário e predominância de atividades rurais de baixa intensidade (chácaras e sítios) tendem a induzir efeito de borda mais ameno que áreas rurais com atividade intensa (atividade canavieira). Este cenário indica: que ações específicas de manejo devem ser adotadas nas bordas florestais a fim de mitigar o efeito de borda percebido sobre a vegetação, especialmente nos fragmentos em contato com áreas mais urbanizadas; que tanto a definição destas medidas mitigadoras quanto o planejamento de áreas para conservação deve considerar a estrutura e a dinâmica do tipo de uso de solo no entorno da floresta; e que as respostas das espécies devem ser avaliadas por categoria de ocupação vertical, especialmente se considerado a efetividade das respostas das espécies que ocupam a porção intermediária na estratificação vertical da floresta.

Palavras-chave: Floresta tropical úmida, Unidades de conservação, Urbanização, Contraste de habitat, Dossel, Sub-Bosque, Regeneração, Estratos verticais.

Guerra, Tassiane Novacosque Feitosa; Dr.^a; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Dezembro, 2016; *Influence of surrounding land-use on strength of edge effects: diversity functional responses and regeneration of woody plants in protected areas of Atlantic forest.* Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos, Elcida de Lima Araújo, Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.

ABSTRACT

The type of predominant land-use in the surrounding of forests remnants can induce abiotic and biotic alterations, mainly at the edges of these remnants, occasioning changes in diversity, functions and regeneration of plant communities. Each of land use types have different dynamics and can influence the strength of edge effects in distinct ways. This thesis aimed at understanding which type of land use adjacent to Atlantic Tropical Forests induces the strongest edge effects. Remnants in an urban-rural gradient located at metropolitan area of Recife had their surroundings mapped to the quantification of urban and rural areas and definition of the study areas: remnants with urban, suburban and rural surroundings. In these areas richness, diversity, functional responses, and regeneration of arboreal and woody understory plants were evaluated along the edge and in the interior of the Forest remnants. Aiming at having a complete structural profile of the vertical occupation of the each remnant selected, plants were sampled for three inclusion criteria: (i) plants with circumference at breast height ≥ 15 cm; (ii) plants with circumference at breast height < 15 cm and circumference at ground level ≥ 3 cm; and (iii) plants with circumference at ground level < 3 cm and height ≥ 10 cm. The high degree of urbanization induced greater heterogeneity between the edge and interior, negatively affecting the richness and diversity of species, particularly in the arboreal component. The richness and diversity of understory species also were greatly affected but in the remnant with low degree of urbanization in the surroundings, dominated by sugar cane plantations. From a functional point of view, the remnant with the most urbanized surrounding was more threatened by the edge effects than the others remnants, and the species with small seed size, lowers maximum heights, abiotic dispersion mode and shade intolerance presented higher proportions of species and individuals at the edges of this remnant. The high understory species, those that do not reach until the canopy, but exceeding 4 m of height, had their regeneration strongly compromised by the increase of the surrounding urbanization. The remnant with an intermediate level of urbanization degree presented in various situations, edge-interior relationship more homogeneous for diversity,

functional responses and regeneration. It's important to know that these remnants have rural activities of low intensities in their surroundings. In this way, in an urban-rural gradient, more urbanized areas surrounding the forest induce more intense edge effect both from a structural point of view as a functional, affecting the edge of the remnant: the richness and diversity of species, especially as to how individuals are organized spatially; the frequency of certain species; the proportion of functional plants traits that tend to increased survival; and the regeneration of the high understory species. Areas with an intermediate level of urbanization and predominance of low intensity rural activities tend to induce softer edge effect than rural areas with intense activity. So, this scenario indicates that: specific management actions should be adopted in the forest edges in order to mitigate the edge effects on vegetation, especially those in contact with more urbanized areas; both the definition of these mitigation measures as planning areas for conservation should consider the structure and dynamics of the type of land use in the forest surroundings; the responses of species should be assessed by vertical occupation category, especially if considered the effectiveness of the responses of species that occupy the middle portion in the vertical stratification of the forest.

Keywords: Rain forest, Protected areas, Urbanization, Habitat contrast, Canopy, Understory, Regeneration, Vertical strata.

1. INTRODUÇÃO

Os diversos usos da terra pelo seres humanos geralmente levam à destruição e à fragmentação de habitats (FARHIG, 2003), provocando consequências negativas para a conservação da biodiversidade (LAURANCE et al., 2002). A depender do tipo de uso no entorno da floresta podem ser observadas uma série de alterações abióticas e bióticas (GASCON et al., 1999; MESQUITA et al., 1999; NASCIMENTO et al., 2006; LINDENMAYER et al., 2009; CAMPBEL et al., 2011; LUGO-PÉREZ; SABAT-GUÉRNICA, 2011), sobretudo na borda dos remanescentes florestais.

Predominante no entorno de várias florestas, áreas urbanas ou em processo de urbanização têm sido consideradas indutoras de fortes impactos nos remanescentes florestais (HAMBERG et al., 2009; PICKETT et al., 2011). Quando comparada a vegetação dos remanescentes florestais circundados por áreas urbanas com a vegetação dos que são circundados por áreas rurais, observa-se prevalência de diferentes tipos funcionais; redução na riqueza e diversidade de plantas nativas; aumento de espécies exóticas; e composição florístico-estrutural diferenciada (MOFFAT et al., 2004; WILLIAMS et al., 2005; BURTON; SAMUELSON, 2008; KNAPP et al., 2008a; BURTON et al., 2009; PENNINGTON et al., 2010; VALLET et al., 2010; HUANG et al. 2012). Segundo estes autores, tais alterações podem levar ao declínio e até mesmo a eliminação de algumas espécies com combinação particular de características funcionais, o que, progressivamente, pode reduzir a persistência dos remanescentes florestais embebidos em áreas urbanas. A partir deste cenário, maiores esforços em termos de manejo, conservação e planejamento ambiental são recomendados a fim de garantir a sustentabilidade desses remanescentes e dos serviços ambientais fornecidos pelos mesmos.

Projeções indicam que a quantidade da população urbana, que já excede a da população rural, continuará a aumentar (UNITED NATION, 2014) e que a distância entre áreas protegidas e as cidades tende a diminuir (MCDONALD et al., 2008). No Brasil, por exemplo, cerca de 70% da população humana (IBGE, 2015), reside na área de abrangência da floresta tropical Atlântica (IBGE, 2008). Apesar disso, grande parte da informação existente relacionada ao efeito da fragmentação de habitats, especialmente, sobre a vegetação na borda dos remanescentes de floresta tropical Atlântica, foi obtida a partir de estudos realizados em áreas rurais (TABARELLI et al., 2010), o que dificulta a definição de medidas que contribuam para a conservação da diversidade biológica dos remanescentes que atualmente

estão em contato com áreas urbanizadas ou que futuramente poderão estar sendo influenciados por este tipo de entorno.

Frente ao exposto, esta tese teve como objetivo contribuir com informações que possam ser utilizadas na conservação dos remanescentes de floresta tropical Atlântica de uma maneira mais abrangente por considerar que, em parte, os impactos decorrentes da fragmentação desta floresta podem ser explicados pelo tipo de ambiente do entorno. Para isso, ao longo de um gradiente de urbanização, os remanescentes florestais foram avaliados quanto ao efeito de borda em três perspectivas: riqueza e diversidade de espécies nativas; respostas funcionais das plantas e regeneração das espécies da floresta.

Cada uma destas perspectivas foi abordada em diferentes capítulos:

- *Capítulo I: Redução da diversidade de plantas arbóreas e do sub-bosque lenhoso na borda de fragmentos de floresta tropical Atlântica: efeito do entorno no gradiente urbano-rural;*

Neste capítulo foi avaliada a relação borda-interior do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização do entorno (alto, médio e baixo), em termos de diversidade *alfa* (riqueza, diversidade e dominância) e *beta* (composição florística).

- *Capítulo II: Áreas urbanas ou áreas rurais: qual uso do solo no entorno da floresta induz maior intensidade de efeito de borda sobre as características funcionais das plantas;*

Neste capítulo foram avaliadas as características funcionais das espécies relacionadas à regeneração, à persistência, à dispersão e ao requerimento em termos de recursos. Seus objetivos foram compreender qual tipo de uso do solo no entorno (urbano, suburbano ou rural) dos remanescentes florestais configura-se como um indutor de efeito de borda mais intenso considerando as respostas funcionais das espécies do componente arbóreo e do sub-bosque da floresta e identificar quais e como as características funcionais respondem ao efeito de borda em cada tipo de uso do solo.

- *Capítulo III: Influência da urbanização na regeneração de plantas lenhosas por categoria de ocupação vertical: efeito de borda em áreas protegidas de floresta tropical Atlântica.*

Neste capítulo o efeito de borda foi avaliado quanto a sua influência na regeneração natural das espécies presentes nos remanescentes florestais ao longo do gradiente urbano-rural. Espécies dos diferentes estratos verticais da floresta foram investigadas em três fases de desenvolvimento: inicial, intermediária e avançada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fragmentação florestal e efeito de borda

Das pressões existentes sobre a biodiversidade global, a fragmentação de habitats é uma das que mais se relacionam com a perda da biodiversidade (LAURANCE, 1999; DEBINSK; HOLT, 2000), e pode ser considerada como um processo que ocorre na escala da paisagem, que envolve tanto perda como separação de habitats (FARHIG, 2003), transformando grandes extensões de habitat nativo em fragmentos expostos a uma série de condições distintas das anteriormente existentes, provocadas pela diminuição do habitat original, pelo aumento do isolamento e pelo efeito de borda (MURCIA, 1995).

Em florestas, a perda de área associada ao processo de fragmentação de habitats, comumente relaciona-se com alterações nas configurações dos habitats remanescentes, tais como aumento no número de fragmentos florestais, com diminuição de tamanho e aumento do isolamento entre eles (FARHIG, 2003). A depender de como a floresta foi removida, diferentes padrões espaciais de habitats remanescentes poderão ser observados e diferentes efeitos sobre a biodiversidade serão produzidos: quanto maior a área dos fragmentos e menor grau de isolamento entre eles, menor será o efeito sobre a diversidade remanescente (FARHIG, 2003).

A matriz predominante na paisagem no qual os fragmentos florestais estão inseridos, assim como os demais tipos de habitats adjacentes aos fragmentos, também influencia no efeito da fragmentação sobre a diversidade, já que pode: criar uma barreira para a migração animal e a dispersão de plantas, alterando os padrões de “movimento” da biota; facilitar a introdução espécies exóticas da fauna e flora; alterar as interações entre espécies; modificar o fornecimento de recursos complementares ou suplementares; e induzir alterações nas condições climáticas, predominantemente temperatura e umidade (GASCON et al., 1999; CAMPBELL et al., 2011; LUGO-PÉREZ; SABAT-GUÉRNICA, 2011).

Compreendidas como zonas de transição entre a floresta nativa e outro tipo de uso da terra, as áreas de borda da floresta são consideradas pontos-chaves para o entendimento dos impactos da fragmentação (RIES et al., 2004). As diferenças detectáveis na composição, estrutura ou função das comunidades da borda, quando comparadas com os ecossistemas adjacentes, são resultados do chamado efeito de borda (HARPER et al., 2005). Este efeito

ocorre em resposta a uma ampla gama de processos bióticos e abióticos que são comumente alterados nestas áreas (MURCIA, 1995). Tanto o tipo de resposta ao efeito de borda, como sua intensidade pode se apresentar de maneira variável (RIES et al., 2004; HARPER et al., 2005).

De acordo com Ries e Sisk et al. (2004), em resposta ao efeito de borda, os organismos podem apresentar aumento, diminuição ou nenhuma alteração na sua abundância. Segundo estes autores, tais respostas variam com a disponibilidade de recursos nos habitats adjacentes a borda, se os recursos são encontrados predominantemente em um dos habitat (diminuição da abundância no habitat preferido, aumento no não preferido), dividido entre os habitats (aumento perto de ambas as bordas), espalhados igualmente entre os habitats (resposta neutra) ou concentrado ao longo da borda (aumento). Em resumo, a qualidade do habitat adjacente à borda, ou seja, o tipo de habitat do entorno irá determinar o tipo e intensidade de resposta dos organismos.

Harper et al. (2005) considerando bordas criadas antropogenicamente em florestas boreais, temperadas e tropicais, observaram a prevalência de tendências gerais na vegetação em resposta ao efeito de borda. Segundo estes autores observam-se, de forma direta, um conjunto de respostas primárias, tais como danos às árvores, aumento na dispersão de pólen e semente, mudanças na evapotranspiração, nos ciclos de nutrientes e na decomposição, e, de forma indireta, um conjunto de respostas secundárias, tais como alterações no recrutamento de novos indivíduos e nas taxas de crescimento e mortalidade de plântulas. As respostas primárias levam a alterações na estrutura da floresta como diminuição da cobertura do dossel, na densidade das árvores e biomassa vegetal, e as respostas secundárias afetam a estrutura do sub-bosque da floresta (aumento na densidade), bem como mudanças na composição de espécies na borda. Harper et al. (2005) também observaram que estas respostas ao efeito de borda podem apresentar intensidade variável decorrente do tipo de contraste existente entre os habitats adjacentes a borda.

A intensidade do efeito de borda pode ser avaliada por dois tipos de medidas: magnitude e distância (RIES et al., 2004; HARPER et al., 2005). A magnitude do efeito de borda refere-se ao grau em que uma dada variável difere entre a borda e o interior do fragmento e a distância desse efeito refere-se à distância máxima no qual esta variável difere do limite da floresta em direção ao seu interior. De acordo com Harper et al. (2005), tanto a magnitude, quanto a distância do efeito de borda são função direta do contraste de habitat, ou seja, do quanto à composição e a estrutura dos habitats adjacentes a borda se assemelham ou se diferenciam. Assim, magnitude e distância e, conseqüentemente, a intensidade do efeito de

borda, podem ser fracas, quando o contraste entre as bordas é baixo, ou fortes, quando o contraste entre as bordas é alto (RIES et al., 2004; MAGRACH et al., 2013).

2.2 Influência de entorno: tipos do uso do solo

O tipo de habitat no entorno dos fragmentos exerce grande influência na resposta dos organismos ao efeito de borda, já que a qualidade e o contraste do habitat adjacente à borda podem atenuar ou agravar a intensidade das consequências destes processos. Desta perspectiva, compreender quais são as causas da fragmentação ou da perda de habitat e como ocorrem as mudanças relacionadas aos tipos de usos e de cobertura da terra, são essenciais para o estabelecimento de medidas de conservação e previsões de impacto (TURNER et al., 1994).

Os resultados apresentados pela Global Forest Resources Assessment indicaram que entre 1990 e 2015 a área florestal total no globo declinou 3%, este declínio ocorreu principalmente na América do Sul e Central, no Sul e Sudeste da Ásia e na África (KEENAN et al., 2015). Neste período, a área de floresta pertencente ao domínio tropical foi a que sofreu as maiores perdas (KEENAN et al., 2015). A expansão agrícola (cultivo permanente, criação de pastagens para a pecuária, deslocamento do cultivo) são as mais frequentes causas do desmatamento tropical, ela ocorre em combinação com outras causas imediatas, tais como extração de madeira e extensão da infraestrutura (transporte, assentamentos populacionais, serviços públicos e privados) (GEIST & LAMBIN, 200; ACHARD et al., 2002). Fatores econômicos como crescimento do mercado, comercialização, urbanização, industrialização, entre outros, são apontados como os que mais se relacionam com o desmatamento tropical (GEIST & LAMBIN, 2001).

Dentre estas causas de desmatamento e seus fatores associados, projeções das Nações Unidas (2014) indicam que o crescimento da população urbana e, em consequência, uma maior demanda por espaços e infraestrutura configuram-se como fortes tendências mundiais. Áreas urbanas impulsionam mudanças ambientais em escalas múltiplas por ocasionarem grandes exigências materiais de produção e consumo humano que, conforme apontado para florestas tropicais, alteram o uso e a cobertura da terra, a biodiversidade, os sistemas hidrológicos, os ciclos biogeoquímicos locais e o clima pela descarga de resíduos (GRIMM et al., 2008). Diante disso, estudos vêm sendo desenvolvidos nos chamados “ecossistemas urbanos” tanto para compreender o impacto dessas áreas em diferentes escalas, como para

manter a integridade dos ecossistemas, e de seus serviços, dentro das cidades (SAVARD et al., 2000).

2.2.1 Avaliação de gradientes urbano-rurais: o efeito da urbanização

Áreas urbanas comumente apresentam-se com um núcleo bastante denso em termos populacionais e de infraestrutura, que gradualmente se torna menos denso até sua completa descaracterização (SAVARD et al., 2000). Dessa forma, a urbanização apresenta-se com uma rica variedade espacial que, segundo McDonnell e Pickett (1990), deve ser considerada na análise dos seus efeitos sobre os ecossistemas. Por conta desta característica, vários estudos sobre o impacto da urbanização fazem uso de um gradiente urbano-rural em suas análises (MCKINNEY, 2008; PICKETT et al., 2011).

Grande parte das alterações nas populações e comunidades remanescentes em áreas urbanas está relacionada com a estrutura da paisagem dessas áreas e com fatores abióticos e bióticos específicos (PICKETT et al., 2011), que, em conjunto, atuam como filtro seletivo, e, portanto, se apresentam como principal determinante da estruturação dessas assembleias ecológicas (WILLIAMS et al., 2009). Relacionado com a estrutura da paisagem, o estudo de Moffatt et al. (2004), por exemplo, observou que, ao longo do gradiente urbano-rural, os fragmentos com entorno urbanizado são os que apresentam menor relação área: perímetro e menor conectividade. Metzger (2000), Knapp et al. (2009) e Schleicher et al. (2011) também observaram menor permeabilidade da matriz urbana e baixa conectividade entre remanescentes nas paisagens urbanizadas.

Com relação aos aspectos bióticos, áreas urbanas, quando comparadas com áreas rurais, costumam apresentar: maior temperatura média e maior poluição do ar e do solo; maior precipitação média anual; maior evapotranspiração e superfície de escoamento da água; diminuição do volume de água subterrânea; contaminação dos corpos d'água; alterações físicas e incorporação de materiais antrópicos no solo, entre outras (PICKETT et al., 2011).

Áreas urbanas, de acordo com Williams et al. (2009), tendem a impor filtros específicos sobre a flora. Estes filtros atuam a favor ou contra algumas espécies a depender de suas características funcionais. Como a abordagem funcional tem se revelado boa preditora na identificação de grupos de espécies com resposta similar a um determinado fator ambiental (MABRY; FRATERRIGO, 2009; MOUILLOT et al., 2013), estudos recentes têm abordado a relação entre as condições específicas das áreas urbanas e rurais e as características funcionais das espécies (DUNCAN et al., 2011). Alguns autores observaram que as espécies

vegetais em áreas urbanas tendem a ter ciclo de vida mais curto, a investir mais em crescimento que em sobrevivência, a ter menores alturas, a ser intolerantes à sombra, a ter semente mais leves e a possuir capacidade de se dispersar por longas distâncias (WILLIAMS et al., 2005; KNAPP et al., 2008a; BURTON et al., 2009; KNAPP et al., 2009; VALLET et al., 2010; HUANG et al., 2012).

Como resultado da “seleção” de características funcionais, a composição de espécies (MOFFATT et al., 2004) e os parâmetros estruturais, como densidade e área basal, tanto no dossel como no sub-bosque, também são alterados com o aumento da urbanização, de modo que se correlacionam negativamente com a porcentagem de superfícies impermeáveis (BURTON; SAMUELSON, 2008; PENNINGTON et al., 2010).

Alguns estudos também observaram que a riqueza e a diversidade de espécies nativas tende a diminuir em direção às áreas urbanas, e que o inverso ocorre com relação a espécies exóticas. Esse padrão foi observado por Pennington et al. (2010), que relataram que nas áreas urbanas o dossel foi caracterizado por espécies nativas do início da sucessão e por espécies exóticas, enquanto o sub-bosque foi dominado por arbustos exóticos. Burton e Samuelson (2008), além de observarem aumento da riqueza de exóticas nos sítios mais urbanos e predominância de espécies pioneiras, observaram que o índice de diversidade de Shannon foi fortemente relacionado com a biomassa de espécies exóticas.

Alguns autores também verificaram que os diferentes tipos de forma de vida da floresta (árvore, arbusto, erva), os diferentes estratos verticais (dossel e sub-bosque) e a regeneração de espécies respondem de maneira diferenciada a urbanização, já que, por exemplo, em todos os casos avaliados, a riqueza do sub-bosque correlacionou-se negativamente com o grau de urbanização do entorno mais fortemente que o dossel, e que a riqueza de juvenis e plântulas tende a declinar com o aumento da urbanização (GUNTENSPERGEN; LEVENSON, 1997; MOFFATT et al., 2004; BURTON et al. 2005; BURTON; SAMUELSON, 2008; BURTON et al., 2009; PENNINGTON et al., 2010; HUANG et al., 2012; WHITE et al. 2014).

O cenário de alterações, ao longo do gradiente urbano-rural apresentado, refere-se a mudanças na escala de paisagem ou do fragmento como um todo. Assim, não relata efeitos específicos sobre a borda das áreas afetadas. Além disso, este panorama de influências foi construído, em sua maioria, em florestas localizadas na Europa, Canadá e Estados Unidos, sendo pouco conhecido nas florestas subtropicais e tropicais (Tabela 1).

Tabela 1. Trabalhos que abordaram aspectos relacionados à influência do tipo de entorno e/ou à influência da urbanização sobre a vegetação arbórea e/ou arbustiva e/ou herbácea em florestas temperadas, boreais e subtropicais.

Referência	Local do estudo	Tipo de entorno	Critério de inclusão da vegetação	Descritores	Objetivo principal
White et al. (2014)	Estados Unidos	Urbano e Rural	Árvores (DAP \geq 2,54cm), Sub-bosque (DAP $<$ 2,54 e H \geq 1m) e Arbustos (H \geq 1m)	Estrutura, diversidade e composição de espécies	Determinar se a composição e abundância de espécies lenhosas ao longo dos cursos de água são correlacionados com diferentes tipos de uso do solo e variáveis ambientais ao longo do gradiente urbano-rural.
Albrecht & Haider (2013)	Alemanha	Urbano e Rural (pasto e corte)	Vegetação herbácea	Diversidade, características funcionais das espécies e variáveis ambientais	Investigar os efeitos da urbanização sobre a diversidade e características funcionais das espécies e quais variáveis ambientais determinam estas características.
Huang et al. (2012)	Sul da China	Urbano e Rural (reserva natural)	Lenhosas (DAP $>$ 2cm), Arbustos e Ervas	Diversidade de espécies, características funcionais e fatores ambientais (relevo, luz e características edáficas)	Avaliar como a urbanização afeta a diversidade de espécies e as características funcionais das plantas e quais fatores ambientais estão associados com a urbanização.
Duncan et al. (2011)	11 cidades ao redor do mundo	Áreas urbanas	Base de dados (espécies nativas)	Características funcionais das espécies	Áreas urbanas ao redor do mundo selecionam características funcionais similares entre as espécies.

Referência	Local do estudo	Tipo de entorno	Critério de inclusão da vegetação	Descritores	Objetivo principal
Pennington et al. (2010)	Estados Unidos	Áreas urbanas	Árvores (DAP>10cm) e Sub-bosque (DAP<10cm)	Estrutura, diversidade e composição de espécies	Avaliar como as características da escala local ou a heterogeneidade urbana da escala fina afetam a diversidade, composição e estrutura da vegetação em áreas altamente urbanizadas.
Vallet et al. (2010)	França	Urbano e Rural	Plantas lenhosas e Ervas	Características funcionais das espécies	Identificar quais características funcionais das espécies pode explicar a distribuição da flora lenhosa ao longo de um gradiente urbano-rural.
Knapp et al. (2009)	Alemanha	Urbano e Rural	Todas as espécies da flora vascular no banco de dados	Frequência das espécies	Relacionar a frequência das espécies com suas características funcionais e tipo do uso do solo (urbano ou rural).
Burton et al. (2009)	Estados Unidos	Urbano e Rural (agricultura)	Árvores (DAP≥2,5cm) e regeneração (DAP<2,5cm)	Estrutura, diversidade e características funcionais das espécies	Identificar mudanças nas características funcionais das plantas lenhosas que podem influenciar padrões e processos na bacia hidrográfica ao longo de um gradiente urbano-rural.
Knapp et al. (2008a)	Alemanha Central	Urbano e Rural (agricultura)	Plantas vasculares e outros táxons (Besouro, borboleta, caramujos, pássaros, líquens e musgos)	Riqueza de espécies e estrutura da paisagem	Avaliar se existem diferenças na diversidade (alfa, beta e gama) entre áreas protegidas urbanas e rurais e se a estrutura da paisagem explica esta diferença.

Referência	Local do estudo	Tipo de entorno	Critério de inclusão da vegetação	Descritores	Objetivo principal
Knapp et al. (2008b)	Alemanha	Urbano e Rural (agricultura)	Plantas vasculares - base de dados	Características funcionais das espécies	Avaliar se a flora de áreas urbanas e rurais difere na frequência de características funcionais.
Burton & Samuelson (2008)	Estados Unidos	Urbano e Rural (Agricultura intensa - cultura de algodão)	Lenhosas (DAP \geq 2,5 cm) e regenerantes (DAP<2,5)	Diversidade de espécies, aspectos estruturais, regeneração natural, composição florística e estrutura da paisagem	Avaliar a relação entre as características da paisagem e a diversidade, composição e estrutura de plantas ao longo de um gradiente urbano-rural.
Williams et al. (2005)	Sudeste da Austrália	Urbano e Rural (agricultura)	Base de dados	Características funcionais das espécies	Determinar se existem diferenças na persistência das plantas em tipos contrastantes da paisagem ao longo de um gradiente urbano-rural.
Burton et al. (2005)	Estados Unidos	Urbano e Rural (agricultura)	Árvores (DAP \geq 2,5cm) e regeneração (DAP<2,5cm)	Estrutura e diversidade da vegetação	Avaliar a relação entre a diversidade de plantas lenhosas, regeneração natural e cobertura florestal com índices de urbanização.
Moffatt et al. (2004)	Canadá	Urbano (diferentes níveis) e Rural (Alta e baixa intensidade)	Árvores (DAP>9cm), Arbustos (DAP \leq 9cm e H \geq 0,5m) e Ervas (H<0,5m)	Composição e diversidade de espécies, fatores ambientais	Comparar a vegetação de fragmentos de floresta ripária ao longo de um gradiente urbano-rural.
Guntenspergen & Levenson (1997)	Estados Unidos	Urbano e Rural	Sub-bosque lenhoso (0,5<H<5) e Ervas	Estrutura, diversidade e composição de espécies	Avaliar a relação entre a composição de espécies, perturbações antrópicas e diferentes tipos de uso do solo ao longo de um gradiente de urbanização.

DAP = Diâmetro à altura do peito.

2.2.2 Tipo de uso do solo e cobertura da terra: floresta tropical Atlântica brasileira

Dentre as florestas tropicais, a floresta tropical Atlântica é uma das mais ricas em biodiversidade do planeta, com destaque para altos níveis de endemismos em paralelo as grandes ameaças a sua integridade (Myers et al., 2000). A história de degradação desta floresta coincide, em muitos aspectos, com o experimentado globalmente pelas florestas tropicais (JOLY et al., 2014).

Originalmente, o território da floresta tropical Atlântica ocupava cerca de 1.400.000 km², distribuídos por condições ambientais altamente heterogêneas, já que a floresta se estende latitudinalmente por mais de 27 graus pelos climas tropicais e subtropicais, longitudinalmente por um gradiente de precipitação pluviométrica a partir da costa e por diferentes níveis de altitude (do nível do mar a 2.700 m), características que podem ter favorecido, ao menos em parte, a alta diversidade e endemismos (SILVA; CASTELETI, 2003).

Com um histórico de séculos de devastação, hoje restam aproximadamente, apenas no Brasil, 11,73% da área original da floresta, dispostos, em sua maioria, em pequenos fragmentos florestais (< 50 ha) (RIBEIRO et al., 2009). Frente a sua ampla extensão territorial e a diversidade geográfica que coincide com seu território, esta floresta sofreu com diferentes ciclos de degradação (pau-brasil, cana-de-açúcar, gado, ouro, café, industrialização e crescimento demográfico) e por isso encontra-se inserida em paisagens com diferentes tipos de habitats e usos do solo pelo homem (TABARELLI et al., 2012).

A existência de publicações com a quantificação dos tipos de usos do solo existentes nos entornos dos fragmentos florestais ou que relacionem de maneira econométrica as causas do desmatamento e suas relações econômicas na floresta Atlântica são escassas, especialmente para a região Nordeste (NEVES, 2006). Quando, grosso modo, são comparados os mapas da distribuição territorial atual da floresta com os mapas das atividades econômicas existentes no país, observa-se que grande parte das cidades mais populosas do país situa-se no território da floresta (IBGE, 2015), além de atividades agropecuárias (culturas permanentes – café, banana, laranja, maçã, mamão, manga, tangerina, uva, coco; culturas temporárias – soja, cana-de-açúcar, milho, trigo, feijão, arroz, tomate, mandioca e batata; rebanhos bovinos, suínos e aves), industriais (setores químico, metalúrgico, madeira e mobiliário, têxtil, automobilístico e de minerais não metálicos) e assentamentos rurais (IBGE 2016).

A concentração destas atividades econômicas é variável por região geográfica devido a características ambientais peculiares necessárias ao desenvolvimento de cada uma delas e por questões históricas. Se considerarmos o território da floresta Atlântica no Nordeste do Brasil,

especialmente ao Norte do Rio São Francisco, há predominância da monocultura da cana-de-açúcar e espaços urbanos.

2.2.2.1 Fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno rural: avaliação do efeito da fragmentação

Apesar dos estudos sobre os padrões de distribuição e da persistência da biodiversidade em paisagens modificadas por ações antrópicas na floresta Atlântica apresentarem um bom panorama de alterações, tais estudos não contemplam variações ao longo de um gradiente urbano-rural de uso da terra (ver TABARELLI et al. 2010 e Tabela 2), o que impossibilita a geração de predições mais abrangentes do efeito continuado da urbanização sobre a conservação da diversidade dessa floresta.

Na tabela 2 foram listados os trabalhos, publicados em periódicos científicos, realizados na floresta Atlântica, que buscaram avaliar alterações na vegetação arbórea e arbustiva decorrentes de algum aspecto relacionado à fragmentação de habitats, como por exemplo, o efeito de borda. Nesta tabela foram incluídos apenas trabalhos realizados na floresta Atlântica de terras baixas, já que estas representam mais da metade da cobertura vegetal deste tipo de floresta (52%) e altos níveis de endemismo para diversos tipos de organismos (TABARELLI et al. 2010).

A maior parte dos trabalhos listados (13 de 16) incluiu espécies arbóreas do dossel em apenas um estágio de desenvolvimento, menos da metade incluiu sub-bosque lenhoso (7 de 16) e apenas dois incluíram fases iniciais de desenvolvimento (Tabela 2). A grande importância de incluir diferentes estágios de desenvolvimento das plantas é a possibilidade de avaliar o potencial regenerativo da floresta, compreender quais grupos funcionais são mais representativos na assembleia regenerante (ALVES; METZGER 2006; LEYSER et al., 2012; FONTES et al., 2015) e como se dá a ocupação vertical das espécies (GUARIGATA; OSTERTAG, 2001; COMITA et al., 2007; GOMES-WESTPHALEN et al., 2012).

O tipo de habitat predominante no entorno das florestas avaliadas foi plantação de cana-de-açúcar (Tabela 2). No Brasil, esta atividade tem sido historicamente associada com sérios impactos ambientais, dentre eles, o desmatamento da floresta tropical Atlântica, problemas decorrentes do uso do fogo na pré-colheita, degradação do solo, poluição dos ecossistemas aquáticos, risco potencial de contaminação ambiental pelo uso de fertilizantes inorgânicos e orgânicos e de pesticidas, além de problemas sociais relacionados aos trabalhadores do campo (FISCHER et al. 2008; MARTINELLI; FILOSO, 2008; URIARTE et al., 2009).

Apesar disso, desde a década de 80 o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (FISCHER et al. 2008). No Nordeste do Brasil, onde são encontrados vários remanescentes de floresta tropical Atlântica de terras baixas, esta atividade corresponde a cerca de 12% da área de cana plantada em todo território nacional (UNICA, 2015).

Com relação às consequências da fragmentação sobre a vegetação, os trabalhos compilados na tabela 2 abordaram aspectos relacionados ao tamanho, forma, conectividade e quantidade de borda dos fragmentos, além de avaliarem o efeito de borda no espaço e no tempo. A maior parte dos estudos avaliou a magnitude deste efeito e não sua distância. Outro aspecto abordado foi a comparação das áreas afetadas pela fragmentação com florestas em sucessão secundária.

Os descritores das comunidades vegetais escolhidos pelos autores variaram de características funcionais das espécies, a maioria delas ligadas à persistência, à regeneração, ao requerimento em recursos e à reprodução, a características estruturais, que envolvem riqueza e diversidade de espécies, atributos que caracterizam a fisionomia das florestas e aspectos demográficos decorrentes da dinâmica das comunidades (Tabela 2). Diversidades funcionais e filogenéticas também foram abordadas.

Os principais resultados dos trabalhos que avaliaram as características funcionais destacaram, tanto para a borda, quanto para fragmentos pequenos, redução na proporção de espécies arbóreas tolerantes à sombra, emergentes, com frutos e sementes grandes na borda (OLIVEIRA et al., 2004; PARDINI et al., 2009; SANTOS et al., 2008). Para as árvores no estágio de plântula, ocorreu predominância de espécies pioneiras, dispersas por vertebrados e com sementes de tamanho médio, além da redução de espécies com sementes grandes (SANTO-SILVA et al., 2013 e 2015).

Áreas de borda e de sucessão secundária, em comparação com fragmentos pequenos e o habitat de interior, apresentaram conjunto de espécies arbóreas com reduzida diversidade de sistemas de polinização, maior abundância de características reprodutivas associadas à polinização por vetores diurnos generalistas e abundância elevada de árvores hermafroditas (LOPES et al., 2009). A principal diferença entre fragmentos pequenos e grandes foi a ausência de três sistemas de polinização (pássaros, moscas e mamíferos não-voadores) no de menor tamanho (GIRÃO et al., 2007).

Outra característica funcional analisada foi a densidade da madeira. Sobre esta característica, Rabelo et al. (2015), ao avaliarem variações entre a borda e o interior, observaram que no dossel e no sub-bosque, a borda apresenta maior concentração de

indivíduos com baixa densidade de madeira. Quanto à convergência e divergência do conjunto de características funcionais na paisagem fragmentada, Mendes et al. (2016b) relataram que fragmentos grandes e maiores distâncias da borda relacionam-se positivamente com dispersão biótica, que o grau de conectividade dos fragmentos relaciona-se positivamente com o número de espécies do dossel e que há menor divergência funcional com aumento da conectividade.

Em termos de riqueza e diversidade de espécies, a borda da floresta em relação ao interior, apresentou menor número e diversidade de espécies do dossel (OLIVEIRA et al., 2004) e do sub-bosque (GUERRA et al., 2013; SILVA et al., 2015; MENDES et al., 2016a). Santos et al. (2010) observaram redução da diversidade filogenética nas bordas, mas não encontraram evidência apoiando a agregação ou a uniformidade filogenética induzida pela fragmentação, indicando baixo conservadorismo filogenético.

Quanto à estrutura da vegetação, foi observada redução na densidade do dossel (SANTOS et al., 2008) e do sub-bosque (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2015; MENDES et al., 2016a) na borda. Este padrão também ocorre entre fragmentos grandes e pequenos, tanto para o dossel (SANTOS et al. 2008), quanto para o sub-bosque (GOMES et al. 2009), com os fragmentos menores apresentando redução dos parâmetros estudados. Em alguns fragmentos, foram encontradas maiores densidades na borda que no interior dos fragmentos, para o dossel (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2015) e para o sub-bosque (GUERRA et al., 2013). As áreas de borda também tenderam a apresentar árvores mais baixas e de menores diâmetros (SILVA et al., 2008; FARIA et al., 2009; GUERRA et al., 2013). A análise da dinâmica entre a borda e o interior de alguns fragmentos revelou que o sub-bosque possui recrutamento reduzido e alta mortalidade na borda (SILVA et al., 2015).

Tabela 2. Trabalhos que abordaram algum aspecto da fragmentação de habitats sobre a vegetação arbórea e/ou arbustiva da floresta tropical Atlântica brasileira de terras baixas (<100 m de altitude). Foram incluídos apenas trabalhos que foram publicados em periódicos e que fizeram uso de alguma ferramenta estatística para comprovar os resultados.

Referência	Tipo de entorno	Critério de inclusão da vegetação lenhosa	Aspectos avaliados	Descritores*	Objetivo principal
Mendes et al. (2016a)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($CAP \geq 15\text{cm}$) e Sub-bosque ($CAP < 15\text{cm}$; $CAS \geq 3\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude e distância)	Atributos estruturais e taxas demográficas	Avaliar no espaço e no tempo o efeito de borda em fragmento de tamanho pequeno
Mendes et al. (2016b)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($DAP > 10\text{cm}$)	Efeito da fragmentação (Configurações da paisagem)	Características funcionais e riqueza de espécies	Avaliar a convergência e divergência de características funcionais em relação a métricas da paisagem.
Silva et al. (2015)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($CAP \geq 15\text{cm}$) e Sub-bosque ($CAP < 15\text{cm}$; $CAS \geq 3\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude e distância)	Atributos estruturais e taxas demográficas	Avaliar no espaço e no tempo o efeito de borda em fragmento de tamanho grande
Rabelo et al. (2015)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($CAP \geq 15\text{cm}$) e Sub-bosque ($CAP < 15\text{cm}$; $CAS \geq 3\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude e distância)	Atributos estruturais e taxas demográficas	Avaliar no espaço e no tempo o efeito de borda em fragmento de tamanho médio
Santo-Silva et al. (2015)	Plantação de cana-de-açúcar	Árvore (10 a 50cm de altura)	Efeito de área e sucessão secundária (Contínuo x fragmentado)	Atributos estruturais e características funcionais	Avaliar o efeito da perda de área e relacioná-lo com a “secundarização” da floresta

Referência	Tipo de entorno	Critério de inclusão da vegetação lenhosa	Aspectos avaliados	Descritores*	Objetivo principal
Guerra et al. (2013)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($CAP \geq 15\text{cm}$) e Sub-bosque ($CAP < 15\text{cm}$; $CAS \geq 3\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude) e da topografia	Atributos estruturais	Influência da borda e da topografia (topo e encosta) na fisionomia e estrutura da vegetação
Santo-Silva et al. (2013)	Plantação de cana-de-açúcar	Árvore (10 a 50cm de altura)	Efeito de área (Contínuo x fragmentado)	Atributos estruturais e características funcionais	Avaliar o efeito da perda de área sobre a assembleia de plântulas
Santos et al. (2010)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($DAP > 10\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude), Efeito de área e sucessão secundária (Contínuo x fragmentado)	Diversidade filogenética	Avaliar se a diversidade filogenética é afetada pelo efeito de borda e de área
Faria et al. (2009)	Pastagens e várias culturas anuais (seringal, cacau na sobra entre outras)	Dossel ($DAP > 5\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude), Efeito de área e sucessão secundária (Contínuo x fragmentado)	Atributos estruturais Frequência de espécies pioneiras, árvores mortas e troncos de árvores caídos	Avaliar o efeito de borda e de área e relacioná-los com a “secundarização” da floresta
Lopes et al. (2009)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel ($DAP > 10\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude), Efeito de área e sucessão secundária (Contínuo x fragmentado)	Frequência das características reprodutivas	Avaliar o efeito de borda e de área e relacioná-los com a “secundarização” da floresta
Gomes et al. (2009)	Plantação de cana-de-açúcar	Sub-bosque ($CAP < 15\text{cm}$; $CAS \geq 3\text{cm}$)	Efeito de borda (Magnitude e distância) e efeito de área	Atributos estruturais	Avaliação do efeito de borda e efeito de área sobre a estrutura do sub-bosque

Referência	Tipo de entorno	Critério de inclusão da vegetação lenhosa	Aspectos avaliados	Descritores*	Objetivo principal
Pardini et al. (2009)	Pasto, floresta em sucessão secundária e plantações de cacau na sombra	Dossel (DAP > 15cm), Sub-bosque (DAP > 5 < 15cm) e Sub-bosque baixo (DAP < 5 cm)	Efeito de área	Atributos estruturais e características funcionais	Avaliar o efeito de área
Santos et al. (2008)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel (DAP > 10 cm).	Efeito de borda (Magnitude), Efeito de área e sucessão secundária (Contínuo x fragmentado)	Atributos estruturais e características funcionais	Avaliar o efeito de borda e de área e relacioná-los com a “secundarização” da floresta
Silva et al. (2008)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel (CAP ≥ 15cm) e Sub-bosque (CAP < 15cm; CAS ≥ 3cm)	Efeito de borda (Magnitude) e da topografia	Atributos estruturais	Influência da borda e da topografia (topo, encosta média, encosta baixa e terraço) na fisionomia e estrutura da vegetação
Girão et al. (2007)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel (DAP > 10 cm)	Efeito de área (Contínuo x fragmentado)	Frequência de características reprodutivas de espécies arbóreas	Avaliar o efeito da perda de área da floresta
Oliveira et al. (2004)	Plantação de cana-de-açúcar	Dossel (DAP > 10 cm)	Efeito de borda (Magnitude)	Atributos estruturais e características funcionais	Avaliar o efeito de borda

CAP = Circunferência à altura do peito; CNS = Circunferência ao nível do solo; DAP = Diâmetro à altura do peito. *Detalhes sobre os descritores no texto.

2.2.2.2 Fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano: quadro da Região Metropolitana do Recife

Quando comparado o mapa dos remanescentes da floresta tropical Atlântica com o mapa da evolução da população urbana brasileira, observa-se que em grande parte do habitat original de floresta, hoje, são encontradas áreas urbanas. Como exemplo deste panorama, a Região Metropolitana do Recife – RMR, que é considerada a quinta Região Metropolitana mais populosa do Brasil (BITOUN et al., 2010), possui vários remanescentes de floresta Atlântica de terras baixas inseridos em seu território (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2011). Destes remanescentes, aproximadamente 40 são protegidos como unidades de conservação da natureza, pelo poder estadual (SEMAS, 2011). Por avaliação de imagem de satélite, verifica-se que mais de uma dezena destas áreas protegidas estão em contato com áreas urbanizadas (dados não publicados) e apesar de estarem protegidos por mais de 20 anos, pouco é conhecido sobre a biodiversidade existente em alguns destes remanescentes, e ainda menos sobre a sustentabilidade biológica dos mesmos frente aos efeitos da fragmentação e da estrutura da paisagem no qual estão inseridos.

As pesquisas realizadas e publicadas em fragmentos floresta Atlântica de terras baixas que possuem contato com áreas urbanizadas, não abordaram nenhum aspecto relacionado ao impacto da fragmentação; em sua maioria, há apenas a descrição e caracterização do fragmento (GUEDES et al., 1998; ALVES-JUNIOR et al., 2007; LINS-E-SILVA; RODAL, 2008; ROCHA et al., 2008; PESSOA et al., 2009; SANTOS et al., 2012). Diante disso, esta tese buscou trazer informações sobre como uma das consequências da fragmentação de habitats (efeito de borda) pode ser influenciada pelo tipo de uso do solo do entorno do fragmento, apresentando um panorama deste efeito tanto nas áreas urbanizadas como nas não urbanizadas.

3. REFERÊNCIAS

ACHARD, F. et al. Determination of deforestation rates of the world's Humid Tropical Forests. **Science**, v. 297, p. 999 – 1002, 2002.

ALBRECHT, H.; HAIDER, S. Species diversity and life history traits in calcareous grasslands vary long an urbanization gradient. **Biodiversity and Conservation**, n. 22, p. 2243-2267, 2013.

ALVES, L. F.; METZGER, J. P. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, p. 1 – 26, 2006.

ALVES-JUNIOR, F. T.; BRANDÃO, C. F. L. S.; ROCHA, K. D.; SILVA, J. T.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C. Estrutura diamétrica e hipsométrica do componente arbóreo de um fragmento de mata atlântica, Recife-PE. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 83-95, 2007.

BITOUN, J, et al. **Região Metropolitana do Recife no contexto de Pernambuco no Censo 2010**. Recife: Observatório das Metrôpoles, 2010.

BURTON, M. L.; SAMUELSON, L. J.; PAN, S. Riparian woody plant diversity and forest structure along an urban-rural gradient. **Urban Ecosystems**, n. 8, p. n.93–106, 2005.

BURTON, M. L.; SAMUELSON, L. J. Influence of urbanization on riparian forest diversity and structure in the Georgia Piedmont, US. **Plant Ecology**, v. 195, p. 99–115, 2008.

BURTON, M. L., SAMUELSON, L. J., MACKENZIE, M. D. Riparian woody plant traits across an urban–rural land use gradient and implications for watershed function with urbanization. **Landscape and Urban Planning**, v. 90, p. 42–55, 2009.

CAMPBELL, R. E. et al. Production land use alters edge response functions in remnant forest invertebrate communities. **Ecological Applications**, v. 21, n. 8, p. 3147–3161, 2011.

COMITA, L. S. et al. Patterns of woody plant species abundance and diversity in the seedling layer of a tropical forest. **Journal of Vegetation Science**, v. 18, p. 163–174, 2007.

DEBINSKI, D. M.; HOLT, R. D. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. **Conservation Biology**, v. 14, n. 2, p. 342-355, 2000.

DUNCAN, R. P. et al. Plant traits and extinction in urban areas: a meta-analysis of 11 cities. **Global Ecology and Biogeography**, n. 20, p. 509–519, 2011.

FARHIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic**, v. 34, p. 487-515, 2003.

FARIA, D., et al. Forest structure in a mosaic of rain forest sites: the effect of fragmentation and recovery after clear cut. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 2226–2234, 2009.

FISCHER, G., TEIXEIRA, E., HIZSNYIK, E. T., VAN VELTHUIZEN, H. Land use dynamics and sugarcane production. In: Zuurbier, P. & van Vooren, J. (eds.) **Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment**, pp. 29-62. Wageningen Academic Publishers, Netherlands. 2008.

FONTES, C. G. et al. Species turnover across different life stages from seedlings to canopy trees in swamp forests of Central Brazil. **International Journal of Ecology**. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/124851>

GASCON, C. et al. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. **Biological Conservation**, v. 91, p. 223-229, 1999.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **What drives tropical deforestation?** A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. Louvain-la-Neuve: LUCC International Project Offic. 136p. 2001.

GIRÃO, L.C. et al. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic Forest landscape. **PLoS ONE** 2, e908, 2007.

GOMES, J. S. et al.. Estrutura do sub-bosque lenhoso em ambientes de borda e interior de dois fragmentos de floresta atlântica em Igarassu, Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 2, p. 295-310, 2009.

GOMES-WESTPHALEN, J. S., LINS-E-SILVA, A. C. B., ARAÚJO, F. S. Who is who in the understory: the contribution of resident and transitory groups of species to plant richness in forest assemblages. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, p. 1025-1040, 2012.

GRIMM, N. B. et al. Global change and the ecology of cities. **Science**, v. 319, p. 756-760, 2008.

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

GUEDES, M. L. S. Vegetação fanerogâmica na Reserva Ecológica de Dois Irmãos. In: MACHADO, I. C., LOPES, A. V., PORTO, K. C. (Eds.) **Reserva Ecológica de Dois Irmãos: Estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana (Recife – Pernambuco – Brasil)**. Recife: Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente, Editora Universitária da UFPE, p. 157-172, 1998.

GUERRA, T. N. F. et al. Influence of edge and topography on the vegetation in an Atlantic Forest remnant in northeastern Brazil. **Journal of Forest Research**, v. 18, p. 200–208, 2013.

GUNTENSPERGEN, G. R.; LEVENSON, J. B. Understory plant species composition in remnant stands along an urban-to-rural land-use gradient. **Urban Ecosystems** n. 1, p. 155–169, 1997.

HAMBERG, L., LEHVÄVIRTA, S., KOTZE, D. J. Forest edge structure as a shaping factor of understorey vegetation in urban forests in Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 712–722, 2009.

HARPER, K. A. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.

HUANG, L., CHEN, H., REN, H., WANG, J., GUO, Q. Effect of urbanization on the structure and functional traits of remnant subtropical evergreen broad-leaved forests in South China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, p. 5003-5018, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006**. Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil**. Rio de Janeiro, Brasil. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas escolar, mapas do Brasil espaço econômico**. 2016. Disponível em: <http://atlascolar.ibge.gov.br/mapas-atlas/mapas-do-brasil/espaco-economico.html> Acessado em 10 de novembro de 2016.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, n. 204, p. 459–473, 2014.

KEENAN, R. J. et al. Dynamics of global forest area: Results from the FAO global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, n. 352, p. 9–20, 2015.

KNAPP, S.; KÜHN, I.; MOSBRUGGER, V.; KLOTZ, S. Do protected areas in urban and rural landscapes differ in species diversity? **Biodiversity Conservation**, v. 17, p. 1595–1612, 2008a.

KNAPP, S.; KÜHN, I.; WITTIG, R.; OZINGA, W. A.; POSCHOLD, P.; KLOTZ, S. Urbanization causes shifts in species' trait state frequencies. **Preslia**, n. 80, p. 375–388, 2008b.

KNAPP, S., et al. How species traits and affinity to urban land use control large-scale species frequency. **Diversity and Distributions**, v. 15, p. 533–546, 2009.

LAURANCE, W. F. et al. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. **Science**, v. 278, p. 1117–1118, 1997.

LAURANCE, W. F. Reflections on the tropical deforestation crisis. **Biological Conservation**, v. 91, p. 109–117, 1999.

LAURANCE, F. W. et al. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. **Conservation Biology**, v. 16, n. 3, p. 605–618, 2002.

LEYSER, G. et al. Regeneração de espécies arbóreas e relações com componente adulto em uma floresta estacional no vale do rio Uruguai, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 74–83, 2012.

LINDENMAYER, D. B. et al. Experimental evidence of the effects of a changed matrix on conserving biodiversity within patches of native forest in an industrial plantation landscape. **Landscape Ecology**, v. 24, p. 1091–1103, 2009.

LOPES, A.V. et al. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic Forest fragments. **Biological Conservation**, v. 142, n. 1154–1165, 2009.

LINS-E-SILVA, A. C. B.; RODAL, M. J. N. **Tree community structure in an urban remnant of Atlantic forest coastal Forest in Pernambuco, Brazil**. New York. The New York Botanical Garden Press. p. 517-540, 2008.

LUGO-PÉREZ, J.; SABAT-GUÉRNICA, A. M. Structure and composition of woody plants in urban forest remnants with different adjacent land-use and slope aspect. **Urban Ecosystems**, v. 14, p. 45–58, 2011.

LYRA, M. R. S. B.; SOUZA, M. A. A. **Demografia**: Perfil da população metropolitana. Desenvolvimento Humano na Região Metropolitana do Recife, Atlas Metropolitano. 2005.

MAGRACH, A., SANTAMARÍA, L., LARRINAGA, A. R. Forest edges show contrasting effects on an austral mistletoe due to differences in pollination and seed dispersal. **Journal of Ecology**, v. 101, p. 713–721, 2013.

MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, p. 885 – 898, 2008.

MCDONNELL, M. J.; PICKETT, S. T. A. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. **Ecology**, v. 71, n. 4, p. 1232-1237, 1990.

MCDONALD, R.I.; KAREIVA, P.; FORMAN, R.T.T..The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. **Biological Conservation**, 141, p. 1965-1703, 2008.

MCKINNEY, M. L. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. **Urban Ecosystems**, v. 11, p. 161–176, 2008.

MENDES, P. G. A. et al. Dynamics and edge effect of an Atlantic Forest fragment in Brazil. **Floresta e Ambiente**, 2016a. DOI: 10.1590/2179-8087.064713

MENDES, G. et al. Plant trait distribution and the spatial reorganization of tree assemblages in a fragmented tropical forest landscape. **Plant Ecology**, 2016b. DOI:10.1007/s11258-015-0557-6

MESQUITA, R. M.; DELAMONICA, P., LAURANCE, W. F. Effects of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. **Biological Conservation**, v. 91, p. 129-134, 1999.

METZGER, J. P. Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. **Ecology Applied**, v. 10, n. 4, p. 1147–1161, 2000.

METZGER, J. P. Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1138–1140, 2009.

MILLER, J. R.; HOBBS, R. J. Conservation where people live and work. **Conservation Biology**, v. 16, n. 2, p. 330-337, 2002.

MOFFATT S. F.; MCLACHLAN, S. M.; KENKEL, N. C. Impacts of land use on riparian forest along an urban – rural gradient in southern Manitoba. **Plant Ecology**, v. 174, p. 119–135, 2004.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, n.403, p. 853-858, 2000.

NASCIMENTO, H. E. M. et al. Effects of the surrounding matrix on tree recruitment in Amazonian Forest Fragments. **Conservation Biology**, v. 20, n. 3, p. 853–860, 2006.

NEVES, A. C. M. **Determinantes do desmatamento na Mata Atlântica: Uma Análise Econômica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. 94p.

OLIVEIRA, M. A.; GRILLO, A. S.; TABARELLI, M. Forest edge in the Brazilian Atlantic forest: drastic changes in the species assemblages. **Oryx**, v. 38, n. 4, p. 389-394, 2004.

PARDINI, R., et al. The challenge of maintaining Atlantic Forest biodiversity: a multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agro-forestry mosaic in southern Bahia. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1178–1190, 2009.

PENNINGTON, D. N.; HANSEL, J. R.; GORCHOV, D. L. Urbanization and riparian forest woody communities: Diversity, composition, and structure within a metropolitan landscape. **Biological Conservation**, v. 143, p. 182–194, 2010.

PESSOA, L. M.; PINHEIRO, T. S.; ALVES, M. C. J. L.; PIMENTEL, R. M. M.; ZICKEL, C. S. Flora lenhosa em um fragmento urbano de floresta atlântica em Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 26, n. 3, p. 247-262, 2009.

PICKETT, S. T. A. et al. Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 331-362, 2011.

RABELO, F.R.C. Dinâmica da vegetação em um fragmento de mata atlântica no nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 23-36, 2015.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141 – 1153, 2009.

RIES, L., et al. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability explained. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 491–522, 2004.

RIES, L.; SISK, T. D. A predictive model of edge effects. **Ecology**, v. 85, n. 11, p. 2917-2926, 2004.

ROCHA, K. D.; CHAVES, L. F. C.; MARANGON, L. C.; SILVA, A. C. B. L. Caracterização da vegetação arbórea adulta em um fragmento de floresta atlântica, Igarassu, PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 35-41, 2008.

SANTO-SILVA, E. E. et al. The nature of seedling assemblages in a fragmented tropical landscape: Implications for forest regeneration. **Biotropica**, v. 45, p. 386–394, 2013.

SANTO-SILVA, E. E. et al. Seedling assemblages and the alternative successional pathways experienced by Atlantic forest fragments. **Plant Ecology & Diversity**, 2015. DOI: 10.1080/17550874.2015.1048486

SANTOS, B. A. et al. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic Forest fragments of Northeastern Brazil. **Biological Conservation**, v. 141, p. 249-260, 2008.

SANTOS, B. A. et al. Edge-related loss of tree phylogenetic diversity in the severely fragmented Brazilian Atlantic Forest. **Plos One**, v. 5, n. 9, e12625, 2010.

SANTOS, E. G.; SILVA, A. M.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. Dinâmica regenerativa da vegetação do sub-bosque em áreas com influência de clareiras. In: EL-DEIR, A. C. A.; MOURA, G. J. B.; ARAÚJO, E. L. (Eds). **Ecologia e conservação de ecossistemas no Nordeste do Brasil**. Recife: NUPPEA, p. 89-104, 2012.

SAVARD, J. L., CLERGEAU, P., MENNECHEZ, G. Biodiversity concepts and urban ecosystems. **Landscape and Urban Planning**, v. 48, p. 131 – 142, 2000.

SCHLEICHER, A., BIEDERMANN, R., KLEYER, M. Dispersal traits determine plant response to habitat connectivity in an urban landscape. **Landscape Ecology**, v. 26, p. 529–540, 2011.

SEMAS – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Mapa Estadual das Unidades de Conservação**. Governo do Estado de Pernambuco, 1ª edição, 2011.

SILVA, A. G. et al. Influence of edge and topography on the canopy and sub-canopy structure of an Atlantic Forest fragment in Igarassu, Pernambuco State, Brazil. **Bioremediation, Biodiversity & Bioavailability**, v. 2, p. 41-46, 2008.

Silva, J. M. C.; Casteleti, C. H. M. Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. In: Galindo-Leal, C., Câmara, I.G. (Eds.), **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. CABS and Island Press, Washington, pp. 43–59, 2003.

SILVA, M. A. M. et al. Edge effects on the structure and dynamics of an Atlantic Forest fragment in northeastern Brazil. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, p. 538-543, 2015.

SOS MATA ATLÂNTICA, INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Período 2008-2010. São Paulo, 2011.

TABARELLI, M.; AGUIAR, A. V.; RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P. A conversão da floresta atlântica em paisagens antrópicas: lições para a conservação da diversidade biológica das florestas tropicais. **Interciência**, v. 37, n. 2, p. 88-92, 2012.

TABARELLI, M. et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, p. 2328–2340, 2010.

TURNER II, B. L., MEYER, W. B., SKOLE, D. L. Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study. **AMBIO**, v. 23, n. 1, p. 91 – 95, 1994.

UNITED NATION. **Urban population, development and the environment 2011**. Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York: NY, USA. 2011.

UNITED NATION. **World urbanization prospects: The 2014 Revision (Highlights)**. Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York: NY, USA. 32p. 2014.

UNICA – União da Indústria da Cana-de-açúcar. **Produção**: área cultivada com cana. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/>. Acessado em 14 de outubro de 2015.

URIARTE, M. et al. Expansion of sugarcane production in São Paulo, Brazil: Implications for fire occurrence and respiratory health. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 48-56, 2009.

VALLET, J. et al. Using biological traits to assess how urbanization filters plant species of small woodlands. **Applied Vegetation Science**, v. 13, p. 412–424, 2010.

WHITE, R. J.; CARREIRO, M. M.; ZIPPERER, W. C. Woody plant communities along urban, suburban, and rural streams in Louisville, Kentucky, USA. **Urban Ecosystems** n. 17, p. 1061–1094, 2014.

WILLIAMS, N. S. G. et al. Plant traits and local extinctions in natural grasslands along an urban–rural gradient. **Journal of Ecology**, v. 93, p. 1203–1213, 2005.

WILLIAMS, N. S. G. et al. A conceptual framework for predicting the effects of urban environments on floras. **Journal of Ecology**, v. 97, p. 4–9, 2009.

4. CAPÍTULO I

REDUÇÃO DA DIVERSIDADE DE PLANTAS ARBÓREAS E DO SUB-BOSQUE
LENHOSO NA BORDA DE FRAGMENTOS DE FLORESTA TROPICAL ATLÂNTICA
COM A URBANIZAÇÃO DO ENTORNO

Artigo a ser enviado para a revista *Biodiversity and Conservation*

Tassiane N. F. Guerra¹, Elcida L. Araújo², Everardo V. S. B. Sampaio³ & Elba M. N. Ferraz⁴

Redução da diversidade de plantas arbóreas e do sub-bosque lenhoso na borda de fragmentos de floresta tropical Atlântica com a urbanização do entorno

¹Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, Recife, Brasil;

²Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, Recife, Brasil

³Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Professor Luiz Freire, 1000, Recife, Brasil

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Avenida Professor Luiz Freire, 500, Recife, Brasil

Autora correspondente:

Tassiane N. F. Guerra

novacosque@gmail.com

Resumo

O tipo de uso do solo no entorno dos remanescentes de floresta tropical pode intensificar o efeito de borda e, conseqüentemente, a diversidade de espécies nativas. Entre os diversos tipos de uso do solo, áreas urbanas ou em processo de urbanização predominam no entorno de várias bordas florestais. Diante disso, foi avaliada a relação borda-interior do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização do entorno (alto, médio e baixo), em termos de diversidade *alfa* (riqueza, diversidade e dominância) e *beta* (composição florística). As áreas de estudo foram definidas após mapeamento e quantificação de ocupações urbanas e rurais no entorno dos remanescentes, tomando como base imagens de satélite. O efeito de borda na diversidade de plantas lenhosas se diferenciou no gradiente de urbanização. Nas áreas mais urbanizadas, esse efeito foi mais intenso no componente arbóreo para riqueza, diversidade, dominância e composição florístico-estrutural. No sub-bosque, riqueza, diversidade e dominância de espécies foram mais afetadas no remanescente com baixo grau de urbanização no entorno, onde predomina atividade agrícola intensa, que faz uso do fogo para colheita periodicamente. O remanescente com nível intermediário de urbanização no entorno apresentou para alguns dos parâmetros avaliados relação borda-interior mais homogênea. Assim, este estudo evidenciou que: a) a diversidade do componente arbóreo é mais vulnerável ao efeito de borda nos remanescentes urbanos; b) a diversidade do sub-bosque é mais comprometida na borda dos remanescentes em cujo entorno predominam atividades rurais com manejo mais intenso; e c) remanescentes com entorno suburbano podem ser relevantes para a conservação da biodiversidade, desde que as atividades rurais predominantes sejam de baixa intensidade.

Palavras-chave: Efeito de borda · Urbanização · Riqueza em espécies · Estratos verticais · Floresta Topical úmida · Fragmentação · Unidades de Conservação

Introdução

O tipo de uso do solo no entorno dos remanescentes florestais configura-se como um dos fatores que influenciam a intensidade do efeito de borda, e, portanto, pode ser determinante na composição de espécies e estrutura das populações vegetais (Driscoll et al. 2013). Quando o tipo de uso do solo assemelha-se estruturalmente com o habitat original, ou seja, apresenta baixo contraste de habitat com a borda da floresta, os efeitos desse entorno são menos pronunciados sobre a biota, já que a dispersão, sobrevivência e reprodução dos organismos serão menos afetadas (Mesquita et al. 1999; Ries et al. 2004; Magrach et al. 2013). Por consequência, florestas com este tipo de entorno possuem maior abundância e diversidade de espécies que florestas com usos do solo no entorno que produzem alto contraste (Kurz et al. 2014).

Dentre os diversos tipos de uso do solo, áreas urbanas ou em processo de urbanização são predominantes no entorno de várias bordas florestais (Pickett et al. 2011). Alguns estudos sugerem que o efeito de borda pode ser mais pronunciado em florestas com entorno urbanizado, já que a transição entre a borda da floresta e áreas urbanas tende a ser mais abrupta que em áreas rurais, e, em consequência, bordas com entorno urbano sofrem mais com aumento da temperatura do ar e redução da umidade, causada, principalmente, pelo maior aquecimento provocado pela baixa refletividade dos diversos tipos artificiais de cobertura do solo, como asfalto, concreto, telhas, dentre outros (Hamberg et al. 2009; Pickett et al. 2011). Florestas urbanas, quando comparadas com florestas rurais, apresentam redução na riqueza e diversidade de plantas nativas, aumento de espécies de plantas exóticas, alta dominância de espécies tolerantes a distúrbios, pouca similaridade de espécies e, conseqüentemente, composição florístico-estrutural diferenciada (Moffatt et al. 2004; Burton e Samuelson 2008; Knapp et al. 2008; Pennington et al. 2010). Observa-se ainda que os estratos verticais da floresta respondem de maneira diferenciada a urbanização, de modo que o sub-bosque pode apresentar respostas mais intensas e mais imediatas que o componente arbóreo (Pennington et al. 2010).

A partir disso, compreender a influência das áreas urbanas na intensidade do efeito de borda é de vital importância para estimativa de persistência de remanescentes florestais com este tipo de uso do solo no entorno (Moffat et al. 2004), principalmente em áreas que são consideradas *hotspot* para conservação da biodiversidade, como é o caso da floresta tropical Atlântica (Myers et al. 2000). A abrangência desta floresta coincide com a das áreas mais urbanizadas do Brasil (IBGE 2015) e apesar disso, a influência desse tipo de entorno nas

bordas dessa floresta é pouco compreendida, uma vez que grande parte dos estudos sobre efeito de borda em seu território não contempla variações ao longo de um gradiente urbano-rural de uso da terra (ver Tabarelli et al. 2010). Diante do exposto, este estudo avaliou o efeito de borda sobre a diversidade de espécies do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso de remanescentes protegidos de floresta Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) e com predominância de diferentes tipos de atividades rurais [de alta e baixa intensidade – Mofatt et al. (2004)]. Atividade rural de alta intensidade, tal como o plantio de cana-de-açúcar que faz uso periódico de fogo para colheita, pesticidas e fertilizantes, foram predominantes no remanescente com baixo grau de urbanização no entorno e atividades rurais de baixa intensidade, tais como sítios, chácaras e pequenos pastos, predominaram no remanescente com baixo grau de urbanização no entorno.

Partindo do pressuposto que áreas urbanas podem induzir um efeito de borda mais intenso e considerando que uma atividade rural de alta intensidade exerce mais influência no efeito de borda que uma atividade rural de baixa intensidade, foi hipotetizado que para a diversidade de espécies do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso, a relação borda-interior no gradiente de urbanização é mais influenciada pelo efeito de borda no remanescente com alto grau de urbanização no entorno menos influenciada no remanescente com médio grau de urbanização no entorno.

Dessa forma, esperou-se que (a) as plantas do componente arbóreo e do sub-bosque na borda do remanescente com alto grau de urbanização no entorno, se diferenciasssem das do interior apresentando: redução mais acentuada na riqueza e na diversidade de espécies nativas, alta dominância de poucas espécies, maior riqueza de espécies exóticas e composição florística mais dissimilar; e que (b) as plantas na borda e no interior do remanescente com médio grau de urbanização no entorno apresentem riqueza, diversidade, dominância e composição de espécies nativas mais similares.

Métodos

Áreas de estudo

O trabalho foi conduzido em três remanescentes de floresta tropical Atlântica (Floresta Ombrófila das Terras Baixas) (IBGE 2012) no Nordeste do Brasil, que são protegidos como unidades de conservação de proteção integral desde 1987 e fazem parte de um complexo de áreas protegidas inseridas na Região Metropolitana do Recife (CPRH 2013) (Figura 1). Foram escolhidos por possuírem uma série de características em comum: a mesma

formação geológica (Barreiras) e tipo de relevo (tabuleiros) (CPRH 2003); mesmo tipo de clima As' (quente e úmido) (Kotttek et al. 2006); pluviosidade média anual com pouca variação (1804 mm-2006 mm) (Climate-data 2015); bordas com ausência de modificações perceptíveis em imagens aéreas desde a década de 60; e diferirem principalmente quanto a quantidade de área urbana no seu entorno.

Por meio do mapeamento e posterior quantificação de ocupações urbanas e rurais na área que vai do limite da floresta até 1 km de distância (*buffer*), foi definido o grau de urbanização do entorno dos remanescentes florestais escolhidos, que variou entre alto (47% de áreas urbanas no entorno), médio (22% de áreas urbanas) e baixo (1,7% de áreas urbanas). O mapeamento foi feito na resolução de 1:10.000 através do programa ArcGIS 9.3 (ESRI 2009), tomando como base uma imagem de satélite *Quickbird*, datada de 2006, com alta resolução, cedida pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) e Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Também foram feitas conferências em campo para verificar se houve alterações consistentes no uso do solo do entorno dentro do intervalo mapeado.

Foram consideradas como áreas urbanas aquelas com aglomerados residenciais, comerciais ou industriais e estradas, rodovias e áreas sem vegetação (solo exposto) nas proximidades destes aglomerados. Áreas rurais foram consideradas aquelas com predomínio de atividades agropastoris, pequenas vilas e estradas, rodovias e áreas sem vegetação distante dos centros urbanos. O remanescente com alto grau de urbanização (387 ha - 8°00'11"S, 34°56'47"O) tem como demais usos do solo do seu entorno chácaras, vilas e áreas com vegetação em diferentes estágios de sucessão secundária. No remanescente com médio grau de urbanização (157 ha - 7°55'47"S, 34°55'47"O) predominam sítios e chácaras, além de pastagens e vegetação em diferentes estágios de sucessão secundária. E o remanescente com menor grau de urbanização no entorno (299 ha - 7°50'11"S, 35°00'07"O) tem como uso predominante no entorno a produção de cana-de-açúcar.

Coleta de dados

Para verificar como a intensidade do efeito de borda varia entre os remanescentes com diferentes graus de urbanização no entorno, a amostragem da vegetação foi realizada na borda e no interior de cada remanescente florestal. Considerou-se como borda da floresta o trecho localizado entre 0 e 100 m a partir do limite florestal, e como interior da floresta o

trecho localizado a uma distância mínima de 300 m a partir do limite florestal em direção ao centro (Laurance et al. 2002).

Tanto na borda quanto no interior de cada remanescente foram instaladas 20 parcelas, sendo 10 (10 x 10 m) para amostragem das plantas lenhosas e autossustentantes com circunferência ao nível do peito (1,30 m do solo) ≥ 15 cm, consideradas neste estudo como plantas do componente arbóreo (que incluiu árvores do dossel e do sub-dossel), e 10 parcelas (5 x 5 m) para amostragem de plantas (lenhosas e autossustentantes) com circunferência ao nível do peito < 15 cm, desde que apresentassem circunferência ao nível do solo ≥ 3 cm, sendo consideradas plantas do sub-bosque (que inclui regenerantes do componente arbóreo e plantas típicas do sub-bosque). As parcelas da amostragem do sub-bosque foram instaladas dentro (em um dos vértices) das parcelas de 10 x 10 m.

Em cada remanescente, as parcelas da borda foram alinhadas perpendicularmente ao limite da floresta. No remanescente com alto grau de urbanização todas as parcelas da borda foram instaladas nas proximidades de áreas urbanas. No remanescente com grau médio de urbanização, metade das parcelas foi instalada nas proximidades de áreas urbanas e outra metade próxima a áreas rurais (sítios e chácaras), e no remanescente com baixo grau de urbanização, todas as parcelas foram instaladas nas proximidades de áreas rurais (plantação de cana-de-açúcar). As parcelas do interior foram alinhadas em duas picadas paralelas de cinco parcelas. Tanto na borda como no interior as parcelas do componente arbóreo e do sub-bosque foram equidistantes entre si em 10 m e 15 m, respectivamente.

As plantas foram identificadas por meio da comparação com exsicatas depositadas em herbários de Pernambuco (Professor Vasconcelos Sobrinho/UFRPE, Geraldo Mariz/UFPE e Dárdano de Andrade Lima/IPA), ajuda de especialistas e de literatura especializada. Após identificação foram classificadas como nativas (flora original ou autóctone) ou exóticas (flora alóctone), a partir de informações da Flora do Brasil disponíveis no site <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> (Acessado em 22 de março de 2016). A classificação taxonômica seguiu o *Angiosperm Phylogeny Group - APG III* (APG 2009).

Análise de dados

Todas as análises foram realizadas para os dados coletados na borda e no interior em cada situação de estudo (remanescentes florestais com alto, médio e baixo grau de urbanização no entorno), considerando o componente arbóreo e o sub-bosque isoladamente. Para avaliar a riqueza de espécies e a diversidade *alfa* (α), foram calculadas as seguintes

variáveis: número de espécies (S), índice de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J') e índice de Simpson (D). A densidade de indivíduos (Di) também foi avaliada (ind.ha^{-1}). Os valores de S, H', J', D e Di (variáveis dependentes) foram comparados entre os remanescentes florestais (variável preditora Entorno) e entre a borda e o interior (variável preditora Ambiente) pela análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM - *General Linear Models*) no programa Statistica version 7 (StatSoft. Inc. 2004). Nesta análise foi realizada ANOVA fatorial com teste de significância multivariado seguido de teste de Fisher (LSD test).

A riqueza de espécies da assembleia vegetal da borda e do interior de cada remanescente também foi avaliada pela curva de acumulação espécies-indivíduos, após 300 randomizações no EstimateS 9.1.0 (Colwell 2013), e distribuição dos indivíduos entre as espécies foi avaliada por curvas de abundância (*rank-abundance*). Nas curvas de abundância as espécies foram “rankeadas” das mais abundantes para as mais raras com base na densidade relativa de indivíduos (Gotelli e Colwell 2011). As curvas da borda e do interior foram comparadas em cada situação pelo teste de distribuição Kolmogorov-Smirnov para duas amostras no Past 3.09 (Hammer et al. 2001). A fim de identificar onde estão localizadas as maiores diferenças absolutas ao longo das curvas, foi calculada a porcentagem de espécies com: (i) um indivíduo (*Singletons*); (ii) dois indivíduos (*Doubletons*); (iii) mais de dois até 10 indivíduos; e (iv) mais de 10 indivíduos. As proporções de espécies de cada intervalo (i a iv) foram comparadas entre a borda e interior de cada situação pela análise de resíduo do Qui-quadrado no Bioestat 5.0.

A variação espacial da composição de espécies está intimamente relacionada com o conceito de diversidade *beta* (β) (Jost et al. 2011). Para detectar variações florísticas resultantes da influência da variável Entorno (alto, médio e baixo grau de urbanização do entorno) e da variável Ambiente (borda e interior) foi realizada Análise Multivariada da Variância Permutacional *two-way* (PERMANOVA – *Permutational Multivariate Analysis of Variance*) e *one-way* considerando a variável Ambiente isoladamente para cada tipo de entorno. De forma complementar, foi realizada Análise de Similaridade - ANOSIM (*Analysis of Similarities*), na modalidade *one-way*, para verificação dos valores do R global. Estes valores variam de 0 a 1 e indicam o grau em que os ambientes diferem, quanto mais perto de um, maior é a dissimilaridade (Clark e Goley 2006). Para representar graficamente as variações florísticas entre borda e interior em cada remanescente, foi realizado Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS - *Non-metric Multidimensional*

Scaling), com exclusão de *outliers*. Para estas análises foram utilizadas matrizes de abundância de espécies transformadas em raiz quadrada e como medida de distância foi utilizado o índice de Bray-Curtis. PERMANOVA foi calculada no Past 3.09, ANOSIM e NMDS foram calculadas no Primer 6.1.6. Também foram verificadas quais espécies se sobressaem na borda e no interior de cada situação por meio da análise de espécies indicadoras (ISA - *Indicator Species Analysis*) (Dufrêne e Legendre 1997), agregada ao teste de Monte Carlo no PC-ORD para *Windows* versão 4.0 (McCune e Mefford 1999).

Resultados

Em conjunto, no componente arbóreo e no sub-bosque dos remanescentes avaliados foi registrado um total de 193 espécies nativas e 2.890 indivíduos, sendo 115 espécies e 1.072 indivíduos no remanescente de alto grau de urbanização, 118 espécies e 681 indivíduos no de médio grau de urbanização, e 138 espécies e 1.137 indivíduos no de baixo grau de urbanização. Apenas três espécies exóticas foram encontradas: *Artocarpus heterophyllus* (dois indivíduos), *Syzygium* sp. e *Eucalyptus* sp. (ambas com apenas um indivíduo), todas no remanescente com nível médio de urbanização no entorno.

As medidas de riqueza e diversidade α foram significativamente influenciadas tanto pelo tipo de entorno do remanescente (variável Entorno) como pelo efeito de borda (variável Ambiente) no componente arbóreo e no sub-bosque (Tabela 1). A interação entre estas variáveis preditoras foi significativa apenas no sub-bosque. Para o componente arbóreo, no remanescente com alto grau de urbanização no entorno, diferiram significativamente entre a borda e o interior: o número de espécies (S), o índice de Shannon (H') e de Simpson (D) e a densidade de indivíduos (Di); no remanescente com alto grau de urbanização no entorno: S e H'; e no remanescente com baixo grau de urbanização no entorno não houve diferenças (Tabela 2). Para o sub-bosque foram observadas diferenças nos remanescentes com alto e baixo grau de urbanização. No remanescente com alto grau de urbanização, borda e interior diferenciaram-se para H' e D e no remanescente com baixo grau de urbanização, houve diferença para S, H', D e Di. Em todos os casos, a borda apresentou valores menores de S, H' e Di e maiores valores de D que o interior (Tabela 2).

As curvas de acumulação espécies-indivíduos do componente arbóreo e do sub-bosque sugerem que os remanescentes com médio e baixo grau de urbanização no entorno conseguem manter mais espécies que o remanescente com alto grau de urbanização no entorno (Figura 2 A e B). Com relação a diferenças entre borda e interior, as curvas no

remanescente com baixo grau de urbanização no entorno são as que possuem inclinação mais diferenciada, a curva da borda apresentou maior inclinação que a do interior no componente arbóreo e menor no sub-bosque (Figura 2 A e B).

Na curva *rank-abundance*, as distribuições dos indivíduos na borda e no interior diferenciaram-se em todas as situações do gradiente de urbanização ($p < 0,007$) (Figura 3). O teste de distribuição Kolmogorov-Smirnov para duas amostras indicou que, no componente arbóreo, a distribuição dos indivíduos na borda e no interior dos remanescentes com alto e baixo grau de urbanização no entorno foram as que apresentaram maior diferença absoluta máxima ($D = 0,44$ no alto, $0,33$ no médio e $0,43$ no baixo). No sub-bosque, a maior diferença absoluta máxima foi para o remanescente com grau médio de urbanização ($D = 0,29$ no alto, $0,51$ no médio e $0,35$ no baixo). Apontada pela análise de resíduo do Qui-quadrado, a principal diferença nas curvas de abundância da borda e do interior no remanescente com alto e médio grau de urbanização no entorno foi para a proporção de espécies que possuem apenas um ou dois indivíduos (*Singletons* e *Doubletons*), tanto no componente arbóreo como no sub-bosque (Tabela 3). No remanescente com alto grau de urbanização a proporção destas espécies tendeu a aumentar na borda, enquanto no remanescente com médio grau, esta proporção tendeu a reduzir. No remanescente com baixo grau de urbanização no entorno a diferença entre as curvas parece se concentrar na redução da proporção de espécies que possuem maior número de indivíduos (> 10) na borda.

A composição florístico-estrutural do componente arbóreo e do sub-bosque foi significativamente influenciada, isoladamente e em interação, pelo grau de urbanização do entorno (variável Entorno) e pelo efeito de borda (variável Ambiente), com o grau de urbanização do entorno sendo indicado como o responsável pela maior parte das variações (Tabela 4). No componente arbóreo e no sub-bosque, a borda e o interior se diferenciaram floristicamente de forma significativa para os remanescentes com alto e baixo grau de urbanização no entorno (Tabela 5). No remanescente com médio grau de urbanização tal dissimilaridade foi observada apenas no sub-bosque. O R global apontou que, a borda e o interior do remanescente com alto grau de urbanização são os que possuem maior diferenciação ($0,4163$ no arbóreo e $0,6493$ no sub-bosque), seguidos do remanescente com baixo grau de urbanização ($0,3236$ e $0,5588$) e, por último, do remanescente com nível médio ($0,2347$ e $0,3423$) (Tabela 4). O NMDS refletiu estes resultados (Figuras 4 e 5).

Em termos de espécies, a Análise de Espécies Indicadoras revelou que no componente arbóreo apenas o interior apresenta espécies caracterizadas como indicadoras, sendo quatro

espécies no remanescente com alto grau de urbanização, duas no médio e três no baixo (Tabela 6). No sub-bosque, algumas espécies foram caracterizadas como indicadoras tanto na borda como no interior. Na borda, foram indicadoras três espécies no remanescente com alto grau de urbanização, duas no médio e apenas uma no baixo. No interior, foram seis no alto, duas no médio e dez no baixo.

Discussão

O efeito de borda foi percebido em todas as situações avaliadas: alto, médio e baixo grau de urbanização do entorno dos remanescentes, ora no componente arbóreo, ora no sub-bosque, ou em ambos os estratos. Este efeito afetou negativamente as medidas de riqueza e diversidade (α) das espécies nativas na borda dos remanescentes. De acordo com as premissas levantadas neste trabalho, o efeito de borda foi percebido de forma mais acentuada no remanescente com alto grau de urbanização no componente arbóreo. No sub-bosque, o efeito de borda tendeu a ser mais intenso no remanescente com baixo grau de urbanização no entorno.

Embora todas as bordas ao longo de um gradiente urbano-rural estejam sujeitas a alterações por fatores bióticos e abióticos resultantes da interação com habitat de entorno (Harper et al. 2005), alguns fatores colaboram para uma maior redução na riqueza e diversidade de plantas nativas nas áreas urbanas. Os mais citados são: menor impermeabilidade da matriz e baixa conectividade entre remanescentes nas paisagens urbanizadas (Metzger 2000; Knapp et al. 2009; Schleicher et al. 2011); alterações abióticas mais intensas, tais como, maior temperatura do ar e do solo, maior entrada de luz (Hamburg et al. 2009; Pickett et al. 2011; Huang et al. 2012); e maior susceptibilidade a invasão por espécies exóticas (Mckinney 2006, Pickett et al. 2011).

Trabalhos que avaliaram a riqueza de espécies em um gradiente urbano-rural em diferentes estratos verticais relataram que a riqueza do sub-bosque correlaciona-se negativamente com o grau de urbanização do entorno mais fortemente que o componente arbóreo (Moffatt et al. 2004; Burton e Samuelson 2008; Pennington et al. 2010; Huang et al. 2012). No presente trabalho, o sub-bosque na borda do remanescente com baixo grau de urbanização foi bastante afetado pelo efeito de borda, apresentando redução no número de espécies e de indivíduos, na diversidade e, principalmente, forte dominância (D), ou seja, alta concentração de indivíduos em poucas espécies.

Além do tipo de uso do solo do entorno, a dinâmica/intensidade de cada uso (Moffatt et al. 2004; Campbell et al. 2011; Jakovac et al. 2005) também é um fator a ser considerado como modelador da resposta das espécies ao efeito de borda, principalmente porque o sub-bosque está mais associado a mudanças recentes na paisagem que o componente arbóreo (Metzger 1998; Metzger et al. 2009). Nesse sentido, as diferenças mais robustas na borda do sub-bosque do remanescente com baixo nível de urbanização podem ter sido em resposta aos ciclos de dinâmica do uso do solo no entorno desse remanescente, onde predomina plantação de cana-de-açúcar, com ciclo de colheita que varia entre 12 e 18 meses e faz uso do fogo, além de fertilizantes e pesticidas (Fischer et al. 2008).

O efeito de borda também ocorreu de maneira diferenciada no gradiente de urbanização quanto à distribuição dos indivíduos entre as espécies. No remanescente com alto e médio grau de urbanização no entorno, a diferença mais marcante na distribuição dos indivíduos entre a borda e o interior foi quanto ao maior número de espécies com apenas um ou dois indivíduos na borda, enquanto no remanescente com baixo grau de urbanização no entorno essa diferença foi quanto à maior quantidade de espécies mais abundantes (mais de 10 indivíduos no interior), tanto no componente arbóreo como no sub-bosque. Uma maior proporção de espécies com poucos indivíduos na borda de florestas com entorno urbanizado também foi reportada por Godefroid e Koedam (2003). As condições da borda com entorno urbano tendem a restringir algumas espécies ao ambiente de interior, característica confirmada nas análises de similaridade florístico-estrutural e de espécies indicadoras.

A análise de similaridade indicou que o grau de diferenciação florística entre a borda e interior é maior no remanescente com alto grau de urbanização no entorno. Estudos que compararam a composição de espécies em um gradiente de urbanização relataram que algumas espécies são associadas a áreas mais urbanizadas, geralmente espécies exóticas ou nativas pioneiras, enquanto outras não se associam e geralmente são espécies nativas secundárias (Moffatt et al. 2004; Pennington et al. 2010; Huang et al., 2012). Estes resultados sugerem que áreas urbanas impõem filtros cruciais que determinam a seleção e sobrevivência de espécies com características funcionais específicas (Williams et al. 2009; Vallet et al. 2010; Albrecht e Haider, 2013). A avaliação de características funcionais relacionadas à persistência, ao estabelecimento e à regeneração de espécies no mesmo gradiente urbano-rural estudado neste trabalho, indicou que, em resposta ao efeito de borda, as alterações nas proporções destas características são mais pronunciadas nas áreas mais urbanizadas (no prelo).

A maioria das espécies caracterizadas como indicadoras pela ISA apresentou associação com o interior dos remanescentes. O baixo número de espécies indicadoras na borda parece indicar que (i) grande parte das espécies encontradas neste ambiente também consegue sobreviver no interior da floresta, mas não o contrário ou (ii) que algumas espécies tiveram sua distribuição espacial restrita ao interior por não se adaptarem as condições da borda. Quanto à influência do grau de urbanização do entorno, observou-se que um nível intermediário de urbanização não tende a restringir a distribuição espacial das espécies, já que o menor número de espécies indicadoras foi observado neste remanescente, corroborando, junto com os demais resultados, a hipótese de que remanescentes florestais em cujo entorno predominam atividades rurais de baixa intensidade apresentam efeito de borda mais ameno que remanescentes em cujo entorno predominam atividades rurais intensas (plantio de cana-de-açúcar).

Além do resultado da análise de espécies indicadoras, a análise de similaridade florística e alguns dos estimadores de riqueza e diversidade também indicaram que no remanescente com nível médio de urbanização no entorno a relação borda-interior tende a ser a mais homogênea do gradiente, principalmente no sub-bosque, indicando que florestas em áreas suburbanas com atividades rurais menos intensas sofrem impactos mais amenos sob a diversidade de espécies. Assim, no gradiente de distúrbio, em termos de intensidade do efeito de borda sobre a diversidade de espécies, um nível intermediário de urbanização no entorno pode posicionar-se no extremo de menor perturbação. Este padrão também foi observado por McKinney (2008) ao analisarem vários estudos que descreveram o efeito da urbanização sobre a riqueza de espécies. Alguns autores, como Porter et al. (2001), atribuem este aumento de riqueza não só a dinâmica do tipo de uso do solo do entorno, mas também a heterogeneidade dos mesmos.

Conclusão

Este trabalho evidencia que a intensidade do efeito de borda sobre a diversidade de espécies vegetais varia de acordo com a quantidade de áreas urbanas no entorno. Um alto grau de urbanização induziu, no componente arbóreo da floresta, uma maior heterogeneidade entre borda e o interior do remanescente florestal, percebida tanto pelo alto número de medidas que se diferenciaram quanto pela maior amplitude das diferenças na riqueza, diversidade, equitabilidade, dominância e composição de espécies. O sub-bosque da floresta foi mais influenciado pelo efeito de borda no remanescente com menor grau de urbanização, onde predomina atividade canavieira que faz uso periódico de fogo para colheita, além de

fertilizantes e pesticidas. Em todos os casos o efeito de borda afetou negativamente os parâmetros de riqueza e diversidade de espécies nativas na borda e levou a uma maior diferenciação florística entre a borda e o interior.

Como previsto, o entorno com baixo grau de urbanização e predominância de plantio de cana-de-açúcar (atividade rural intensa) ocupou o segundo lugar na escala de influência do efeito de borda e o entorno com médio grau de urbanização com predominância de chácaras, sítios e pastos (atividades rurais de baixa intensidade) posicionou-se no extremo onde a influência do efeito de borda foi mais amena. Nesta situação a relação borda-interior tendeu a ser mais homogênea, especialmente quanto à riqueza, diversidade e composição no sub-bosque, e quanto à distribuição de indivíduos e composição, no componente arbóreo.

Os resultados obtidos, as projeções de aumento de áreas urbanas (United Nation 2014) e a necessidade da manutenção de alta diversidade de plantas para manutenção dos ecossistemas (Isbell et al. 2011), levam a conclusão que medidas mitigadoras do efeito de borda devem ser adotadas em prol da manutenção dos remanescentes urbanos. No entanto, áreas com intensa atividade agrícola também carecem de ações de manejo específicas, já que o sub-bosque foi bastante influenciado, e conseqüentemente, a regeneração pode estar comprometida. Os resultados também evidenciaram a importância em considerar o tipo de uso do solo no planejamento de áreas para conservação, principalmente porque a diversidade de espécies nos remanescentes com entorno suburbano e com predominância de atividades rurais de baixa intensidade pode ser menos afetada pelo efeito de borda.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Instituto Federal de Pernambuco pelo suporte logístico e financeiro; aos proprietários e gestores das unidades de conservação pela autorização para execução da pesquisa (Refúgio de Vida Silvestre Mata da Usina São José - grupo Cavalcanti Petribu, Estação Ecológica de Caetés – CPRH e Parque Estadual de Dois Irmãos – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade); à Agência Estadual de Pernambuco, pela liberação da servidora, primeira autora, para realização do trabalho; e ao CNPq pelas bolsas de produtividade concedidas. Agradecimento especial a Marcos Chagas pelo apoio durante as atividades de campo.

Referências

- Albrecht H, Haider S (2013) Species diversity and life history traits in calcareous grasslands vary long an urbanization gradient. *Biodivers Conserv* 22:2243-2267
- APG (Angiosperm Phylogeny Group) III (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot J Linn Soc* 161: 105-121
- Ayres M, Ayres MJR, Ayres DL, Santos AA (2007) *Bioestat 5.0. Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas*. Ong Mamiraua. Belém, PA
- Burton ML, Samuelson LJ (2008) Influence of urbanization on riparian forest diversity and structure in the Georgia Piedmont US. *Plant Ecol* 195:99–115
- Campbell RE, Harding JS, Ewers RM, Thorpe S, Didham RK (2011) Production land use alters edge response functions in remnant forest invertebrate communities. *Ecol Appl* 21(8):3147–3161
- Clarke KR, Gorley RN (2006) *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*.PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK
- Climate-Data (2015) Dados climáticos para cidades. <http://ptclimate-dataorg/>. Accessed 6 April 2015
- Colwell RK (2013) EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. Available at <http://purloclcorg/estimates>
- CPRH, Agência Estadual De Meio Ambiente (2003) Diagnóstico socioambiental do litoral norte de Pernambuco. Available at <http://www.cprhpegovbr/>
- CPRH, Agência Estadual De Meio Ambiente (2013) Unidades de Conservação Estaduais. http://www.cprh.pe.gov.br/Unidades_de_Conservacao/descricao_das_unidades/41788%3B48981%3B5001%3B0%3B0.asp. Accessed 10 May 2013
- Driscoll DA, Banks SC, Barton PS, Lindenmayer DB, Smith AL (2013) Conceptual domain of the matrix in fragmented landscapes. *Trends Ecol Evol* 28(10):605-613

Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67(3):345-366

ESRI, Environmental Systems Research Institute (2009) ArcGis Professional GIS for the desktop version 93. ESRI, Redlands

Godefroid S, Koedam N (2003) Distribution pattern of the flora in a peri-urban forest: an effect of the city–forest ecotone *Landscape Urban Plan* 65 169–185

Gotelli NJ, Colwell RK (2011) Estimating species richness. In: Magurran AE, McGill BJ (eds) *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*, 1st edn. Oxford University Press Inc., New York, pp 39-54

Fischer G, Teixeira E, Hizsnyik ET, van Velthuisen H (2008) Land use dynamics and sugarcane production. In: Zuurbier P, van Vooren J (eds) *Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment*. Wageningen Academic Publishers, Netherlands, pp 29-62

Hamberg L, Lehvävirta S, Kotze DJ (2009) Forest edge structure as a shaping factor of understorey vegetation in urban forests in Finland. *For Ecol Manag* 257:712–722

Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) Past: Paleontological statistics software packages for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4(1):9 pp.

Harper KA, Macdonald E, Burton PJ, Chen J, Broszofske KD, Saunders SC, Euskirchen ES, Roberts D, Jaiteh MS, Essen P. (2005) Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conserv Biol* 19(3): 768-782

Huang L, Chen H, Ren H, Wang J, Guo Q (2012) Effect of urbanization on the structure and functional traits of remnant subtropical evergreen broad-leaved forests in South China. *Environ Monit Assessment* 185:5003-5018

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012) Manual técnico da vegetação brasileira, Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1, 2ª edição. Rio de Janeiro, Brasil

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil.

- Isbell F, Calcagno V, Hector A (2011) High plant diversity is needed to maintain ecosystem service. *Nature* 477: 199-203
- Jakovac CC, Peña-Claros M, Kuyper TW, Bongers F (2015) Loss of secondary-forest resilience by land-use intensification in the Amazon. *J Ecol* 103:67–77
- Jost L, Chao N, Chazdon RL (2011) Compositional similarity and β (beta) diversity. In: Magurran AE, McGill BJ (eds) *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*, 1st edn. Oxford University Press Inc., New York, pp 39-54
- Knapp S, Kühn I, Mosbrugger V, Klotz S (2008) Do protected areas in urban and rural landscapes differ in species diversity? *Biodivers Conserv* 17:1595–1612
- Knapp S, Kühn I, Bakker JP, Kleyer M, Klotz S, Ozinga WA, Poschlod P, Thompson K, Thuiller W, Römermannet C (2009) How species traits and affinity to urban land use control large-scale species frequency. *Divers and Distrib* 15:533–546
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15:259-263
- Kurz DJ, Nowakowski AJ, Tingley MW, Donnelly MA, Wilcove DS (2014) Forest-land use complementarity modifies community structure of a tropical herpetofauna. *Biol Conserv* 170:246–255
- Laurance WF, Lovejoy TE, Vasconcelos HL, Bruna EM, Didham RK, Stouffer PC, Gascon C, Bierregaard RO, Laurance SG, Sampaio E (2002) Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conserv Biol* 3: 605-618
- Magrach A, Santamaría L, Larrinaga A R (2013) Forest edges show contrasting effects on an austral mistletoe due to differences in pollination and seed dispersal. *J Ecol* 101:713–721.
- McCune B, Mefford MJ (1999) *PC-ORD version 4.0: Multivariate analysis of ecological data - users guide*. MjM Software Design, Glaneden Beach
- McGuinness KA (1984) Equations and explanations in the study of species-area curves. *Biol Rev* 59:423-440
- McKinney ML (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biol Conserv* 127:247–260

- McKinney ML (2008) Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems* 11:161–176
- Mesquita RM, Delamonica P, Laurance WF (1999) Effects of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biol Conserv* 91:129-134
- Metzger JP (1998) Changements de la structure du paysage et richesse spécifique des fragments forestiers dans le sud-est du Brésil. *C R Acad. Sci* 321(4):319-333
- Metzger JP (2000) Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. *Ecol Appl* 10(4):1147–1161
- Metzger JP, Martensen AC, Dixo M, Bernacci LC et al (2009) Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. *Biol Conserv* 142:1166–1177
- Moffatt SF, Mclachlan SM, Kenkel NC (2004) Impacts of land use on riparian forest along an urban–rural gradient in southern Manitoba. *Plant Ecol* 174: 119–135
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858
- Pennington DN, Hansel JR, Gorchoff DL (2010) Urbanization and riparian forest woody communities: Diversity composition and structure within a metropolitan landscape. *Biol Conserv* 143:182–194
- Pickett STA, Cadenasso ML, Grove JM, Nilon CH, Pouyat RV, Zipperer WC, Costanza R (2011) Urban ecological systems: scientific foundations and a decade of progress. *J Environ Manage* 92:331-362
- Porter EE, Forschner BR, Blair RB (2001) Woody vegetation and canopy fragmentation along a forest-to-urban gradient. *Urban Ecosystems* 5: 131–151
- Rodrigues MF, Silva SP (coords) (2014) Plano de Manejo Parque Estadual de Dois Irmãos, Secretaria de Meio Ambiente, Recife. Available at <http://www.cprh.pe.gov.br/>
- Schleicher A, Biedermann R, Kleyer M (2011) Dispersal traits determine plant response to habitat connectivity in an urban landscape. *Landscape Ecol* 26: 529–540

Shepherd GJ (1998) FITOPAC I: Manual do Usuário. Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Botânica, Campinas

StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com

Tabarelli M, Venceslau AA, Ribeiro MC, Metzger JP, Peres CA (2010) Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. *Biol Conserv* 143:2328–2340

United Nation (2014) World Urbanization Prospects: The 2014 Revision (Highlights). Department of Economic and Social Affairs, New York 32p

Vallet J, Daniel H, Beaujouan V, Rozé F, Pavoine S (2010) Using biological traits to assess how urbanization filters plant species of small woodlands. *App Veg Sci* 13:412–424

Williams NSG, Morgan JW, McDonnell MJ, McCarthy MA (2005) Plant traits and local extinctions in natural grasslands along an urban–rural gradient. *J Ecol* 93: 1203–1213

Tabela 1 Teste multivariado de significância da análise de Modelo Linear Generalizado (GLM) considerando a influência das variáveis preditoras Entorno (alto, médio e baixo grau de urbanização no entorno) e Ambiente (borda e interior) sobre riqueza, diversidade, equitabilidade e densidade de plantas do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso em remanescentes de floresta tropical Atlântica, localizados na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Variável	F	<i>P-value</i>
Arbóreo		
Entorno	4,40	0,000043
Ambiente	4,30	0,002454
Entorno x Ambiente	1,50	0,154825
Sub-bosque lenhoso		
Entorno	4,78	0,000013
Ambiente	4,04	0,003715
Entorno x Ambiente	4,37	0,000044

P-values significativos ($\leq 0,05$) em negrito.

Tabela 2 Riqueza, diversidade e densidade (valor absoluto, média e desvio padrão entre parênteses) de plantas do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso em remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização (alto, médio e baixo) no entorno, localizados na Região Metropolitana do Recife, Brasil. *P-value* refere-se ao teste de Fisher LSD, *a posteriori* do teste multivariado de significância da análise de Modelo Linear Generalizado (GLM), entre a borda (B) e o interior (I) em cada situação de estudo.

Grau de urbanização	Ambiente	Nº de espécies	Shannon H' (nats/ind.)	Equitabilidade (J')	Simpson (D)	Densidade (ind.ha⁻¹)
Arbóreo						
Alto:	B	31 (5,8 ± 1,99)	3,03 (1,62 ± 0,33)	0,88 (0,94 ± 0,05)	0,057 (0,23 ± 0,08)	810 (81 ± 26,4)
	I	43 (9,7 ± 2,79)	3,25 (2,09 ± 0,31)	0,86 (0,94 ± 0,05)	0,056 (0,15 ± 0,05)	1.420 (142 ± 47,8)
	<i>P</i>	0,003	0,003	ns	0,025	0,003
Médio:	B	52 (8,4 ± 2,32)	3,67 (1,99 ± 0,32)	0,93 (0,95 ± 0,04)	0,028 (0,16 ± 0,06)	1.180 (118 ± 23,5)
	I	54 (11,9 ± 3,31)	3,70 (2,37 ± 0,30)	0,93 (0,97 ± 0,02)	0,026 (0,11 ± 0,03)	1.510 (151 ± 38,1)
	<i>P</i>	0,008	0,016	ns	ns	ns
Baixo:	B	63 (11,4 ± 4,09)	3,76 (2,2 ± 0,48)	0,91 (0,92 ± 0,11)	0,027 (0,15 ± 0,13)	1.800 (180 ± 74,9)
	I	56 (12,6 ± 1,78)	3,43 (2,35 ± 0,24)	0,85 (0,93 ± 0,06)	0,053 (0,12 ± 0,05)	1.940 (194 ± 36,3)
	<i>P</i>	ns	ns	ns	ns	ns
Sub-bosque lenhoso						
Alto:	B	66 (15,2 ± 5,45)	3,25 (2,14 ± 0,41)	0,78 (0,8 ± 0,07)	0,069 (0,19 ± 0,08)	15.960 (1.596 ± 406,81)
	I	66 (18 ± 3,37)	3,43 (2,51 ± 0,26)	0,82 (0,87 ± 0,05)	0,053 (0,12 ± 0,04)	18.000 (1.800 ± 441,81)
	<i>P</i>	ns	0,044	ns	0,043	ns
Médio:	B	55 (10 ± 4,97)	3,23 (1,9 ± 0,55)	0,81 (0,88 ± 0,10)	0,063 (0,21 ± 0,11)	9.400 (940 ± 651,9)
	I	50 (9,1 ± 2,60)	3,06 (1,90 ± 0,38)	0,78 (0,88 ± 0,11)	0,081 (0,21 ± 0,10)	7.080 (708 ± 273,93)
	<i>P</i>	ns	ns	ns	ns	ns
Baixo:	B	61 (11,8 ± 4,44)	3,38 (2,02 ± 0,46)	0,82 (0,84 ± 0,09)	0,057 (0,20 ± 0,09)	10.880 (1.092 ± 486,27)
	I	91 (22,9 ± 3,78)	3,75 (2,79 ± 0,21)	0,83 (0,89 ± 0,04)	0,040 (0,09 ± 0,02)	19.600 (1.960 ± 511,90)
	<i>P</i>	0,000	0,000	ns	0,002	0,001

ns = diferenças não significativas ($p > 0,05$).

Tabela 3 Porcentagem de espécies calculada por intervalos de número de indivíduos do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso, na borda (B) e no interior (I) de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) na Região Metropolitana do Recife, Brasil. *Singletons* referem-se a espécies com um indivíduo e *Doubletons* espécies com dois indivíduos. Em negrito estão indicadas as maiores variações entre a borda e o interior fornecidas pela análise de resíduos do Qui-quadrado (Res. X^2).

Intervalo de nº de indivíduos	Grau de urbanização								
	Alto			Médio			Baixo		
	B	I	Res. X^2	B	I	Res. X^2	B	I	Res. X^2
Arbóreo:									
<i>Singletons</i>	54,84	44,19	1,507	48,08	33,33	2,122*	47,62	42,86	0,677
<i>Doubletons</i>	16,13	18,60	0,462	17,31	31,48	2,334*	19,05	21,43	0,419
$2 > e \leq 10$	25,81	30,23	0,697	32,69	31,48	0,183	30,16	30,36	0,031
> 10	3,23	6,98	1,206	1,92	3,70	0,761	3,17	5,36	0,764
Sub-bosque lenhoso:									
<i>Singletons</i>	46,97	28,79	2,650**	50,91	64,00	1,872	36,07	35,16	0,133
<i>Doubletons</i>	13,64	21,21	1,412	20,00	12,00	1,543	27,87	25,27	0,415
$2 > e \leq 10$	25,76	31,82	0,947	18,18	14,00	0,805	26,23	25,27	0,154
> 10	13,64	18,18	0,879	10,91	10,00	0,210	9,84	14,29	0,966

* $\alpha \leq 0,05$ e ** $\alpha < 0,01$

Tabela 4 Dissimilaridade florístico-estrutural (*two-way* PERMANOVA) do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso considerando a influência das variáveis preditoras Entorno (alto, médio e baixo grau de urbanização no entorno) e Ambiente (borda e interior) obtidas em remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Variável	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>QM</i>	F	<i>P-value</i>	<i>R</i>²
Arbóreo						
Entorno	2,0028	2	1,0014	3,0697	0,0001	9,025
Ambiente	0,9877	1	0,9877	3,0278	0,0001	4,451
Entorno x Ambiente	1,5847	2	0,7923	2,4289	0,0001	7,141
Resíduo	17,616	54	0,3262			
Total	22,191	59				
Sub-bosque lenhoso						
Entorno	2.8015	2	1.4008	5.0268	0.0001	13.22
Ambiente	1.384	1	1.384	4.9668	0.0001	6.53
Entorno x Ambiente	1.955	2	0.9775	3.5079	0.0001	9.23
Resíduo	15.047	54	0.27866			
Total	21.188	59				

P-values significativos ($\leq 0,05$) em negrito.

Tabela 5 Dissimilaridade florístico-estrutural (*one-way* PERMANOVA e ANOSIM) do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso entre a borda e o interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

ANOSIM	Grau de urbanização		
	Alto	Médio	Baixo
Componente arbóreo			
PERMANOVA			
F	3,264	2,056	2,628
<i>P-value*</i>	0,004	0,073	0,006
ANOSIM			
R global	0.416	0.235	0.324
<i>P-value</i>	0.001	0.007	0.002
Sub-bosque lenhoso			
PERMANOVA			
F	5.228	3,215	3,9
<i>P-value*</i>	0,003	0,001	0,001
ANOSIM			
R global	0,649	0,342	0,559
<i>P-value</i>	0,001	0,001	0,001

* *P-value- Bonferroni corrected value.*

Valores significativos ($\leq 0,05$) em negrito.

Tabela 6. Espécies indicadoras na borda e no interior, em ordem decrescente do valor indicativo (VI), de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Grau de urbanização	Família/Espécies	Ambiente	VI	P value*
Componente arbóreo				
Alto	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. &Endl.) Rusby	Interior	70	0,004
	<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Interior	67,7	0,008
	<i>Protium giganteum</i> Engl.	Interior	50	0,034
	<i>Protium aracouchini</i> (Aubl.) Marchand	Interior	50	0,039
Médio	<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Interior	60,7	0,042
	<i>Miconia pyrifolia</i> Naudin	Interior	50	0,042
Baixo	<i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers ex Benth.	Interior	73,1	0,009
	<i>Chamaecrista ensiformis</i> (Vell.) H.S. Irwin &Barneby	Interior	70	0,004
	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	Interior	50	0,027
Sub-bosque lenhoso				
Alto	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	Borda	87,2	0,002
	<i>Rinorea guianensis</i> Aubl.	Borda	50	0,033
	<i>Cupani racemosa</i> (Vell.) Radlk.	Borda	50	0,026
	<i>Protium aracouchini</i> (Aubl.) Marchand	Interior	100	0,001
	<i>Protium giganteum</i> Engl.	Interior	90	0,001
	<i>Virola gardneri</i> (A. DC.) Warb.	Interior	70	0,006
	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Interior	65,5	0,023
	<i>Myrcia</i> sp. 1	Interior	60	0,013
Médio	<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D. Penn.	Interior	50	0,033
	<i>Anaxagorea dolichocarpa</i> Sprague & Sandwith	Borda	50	0,035
	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. &Endl.) Rusby	Borda	50	0,044
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Interior	85,9	0,001
	<i>Aspidosperma discolor</i> A. DC.	Interior	64,2	0,016
Baixo	<i>Tovomita mangle</i> G. Mariz	Borda	64,8	0,017
	<i>Myrciaria cf floribunda</i> (H. West ex Willd.) O. Berg	Interior	90	0,001
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Interior	80	0,001
	<i>Aspidosperma discolor</i> A. DC.	Interior	66,3	0,017
	<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni	Interior	62,2	0,009
	<i>Eugenia</i> sp. 1	Interior	60	0,008
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Interior	60	0,01
	<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D. Penn.	Interior	56,3	0,032
	<i>Talisia macrophylla</i> (Mart.) Radlk.	Interior	50	0,027
	<i>Eugenia</i> sp. 3	Interior	50	0,033
<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	Interior	50	0,039	

*P value refere-se a valores significativos ($\alpha \leq 0,05$) de VI, teste de Dufrene e Legendre (1997).

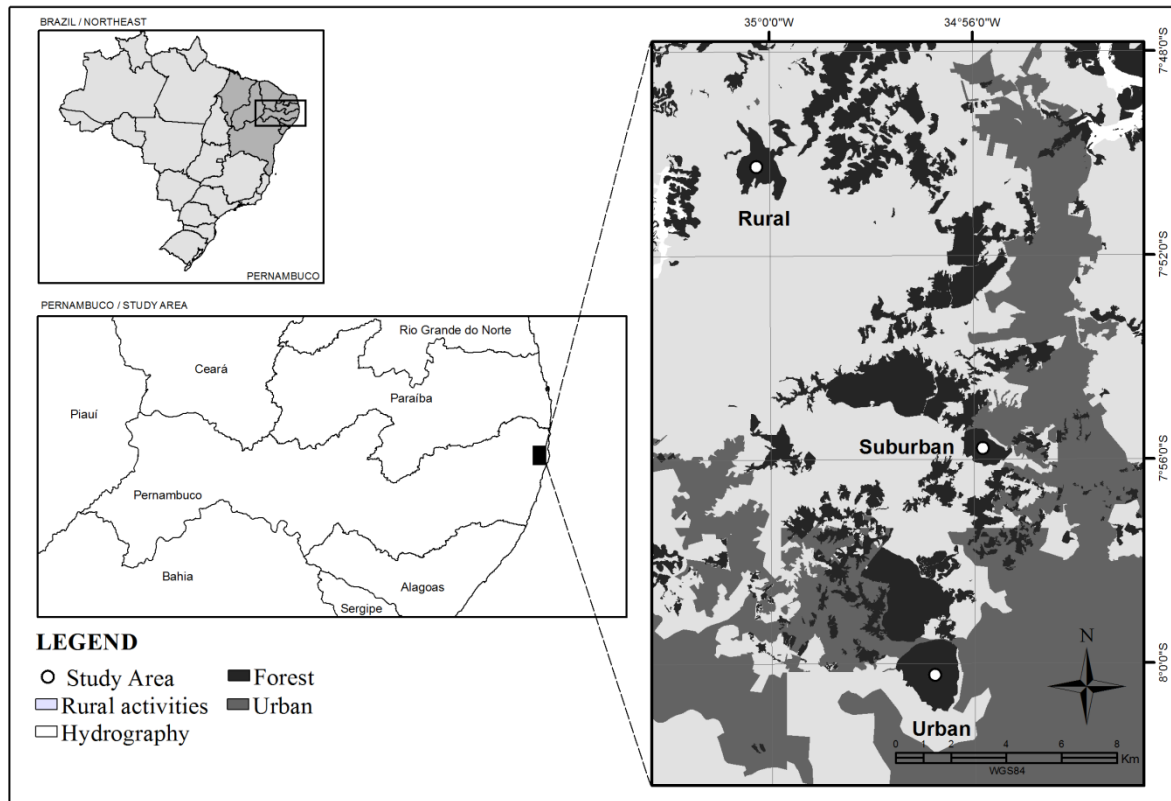


Fig. 1

Localização dos remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto – urbano, médio – suburbano e baixo – rural) avaliados na Região Metropolitana do Recife, Nordeste do Brasil.

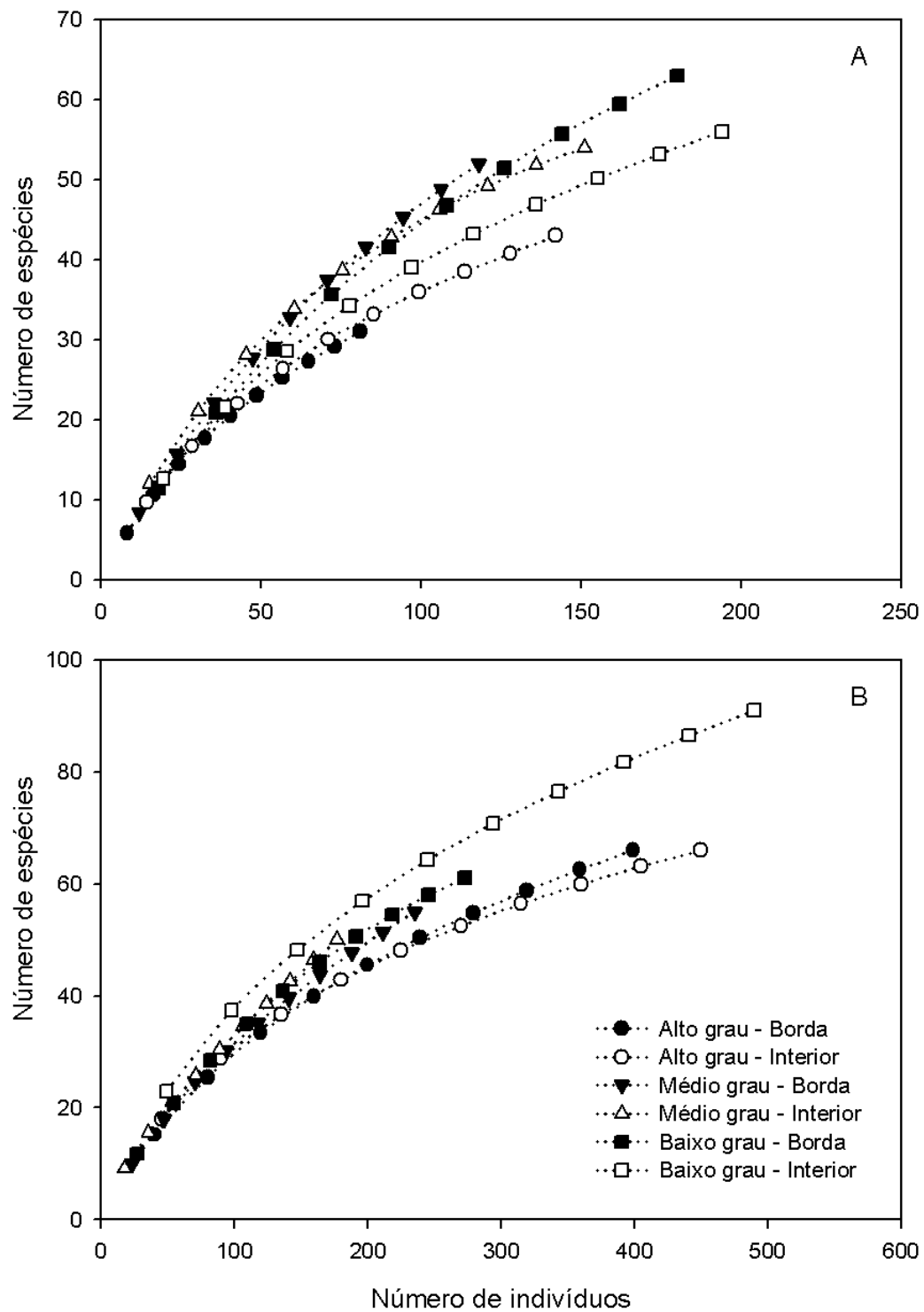
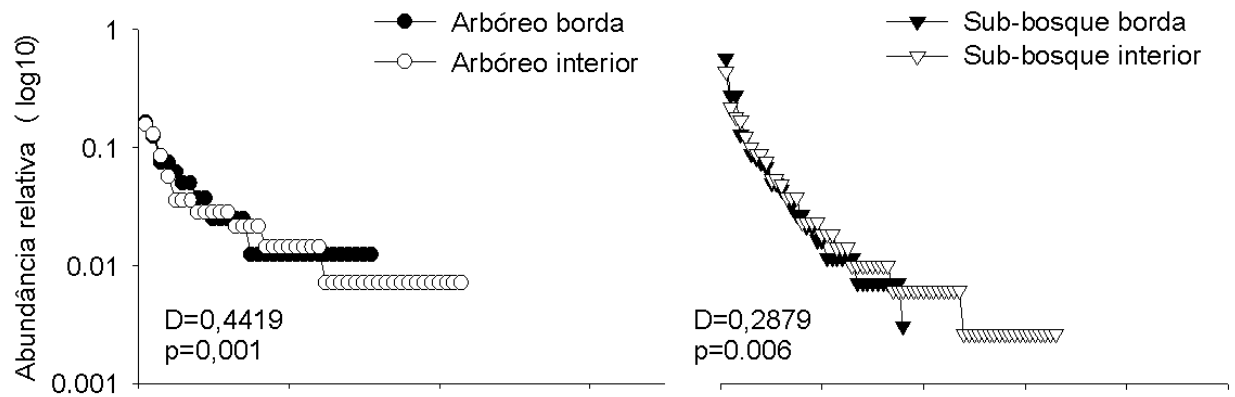


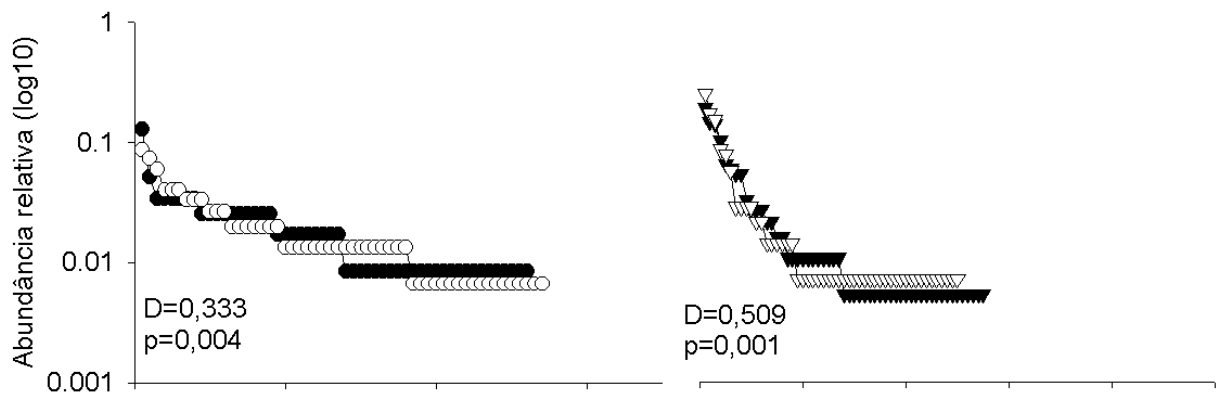
Fig. 2

Curvas de acumulação espécies-indivíduo do componente arbóreo (a) e do sub-bosque lenhoso (b) na borda e no interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (alto, médio e baixo) na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

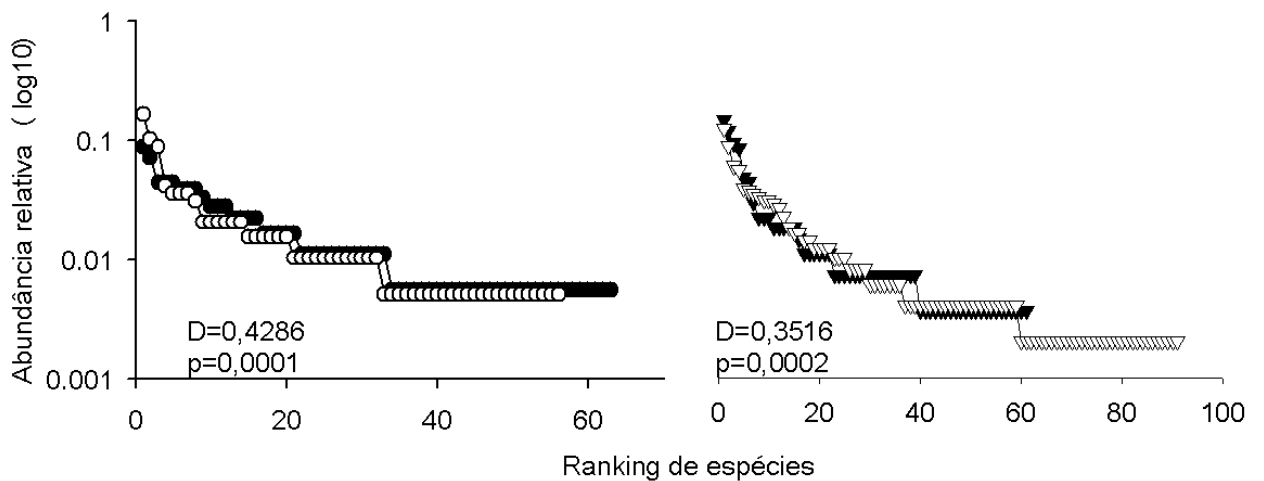
(a) Alto grau de urbanização



(b) Médio grau de urbanização



(c) Baixo grau de urbanização

**Fig. 3**

Curvas de abundância de indivíduos por espécies do componente arbóreo e do sub-bosque lenhoso na borda e no interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (a - alto, b - médio e c - baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil. D e *p-value* referem-se ao Teste Kolmogorov-smirnov para duas amostras.

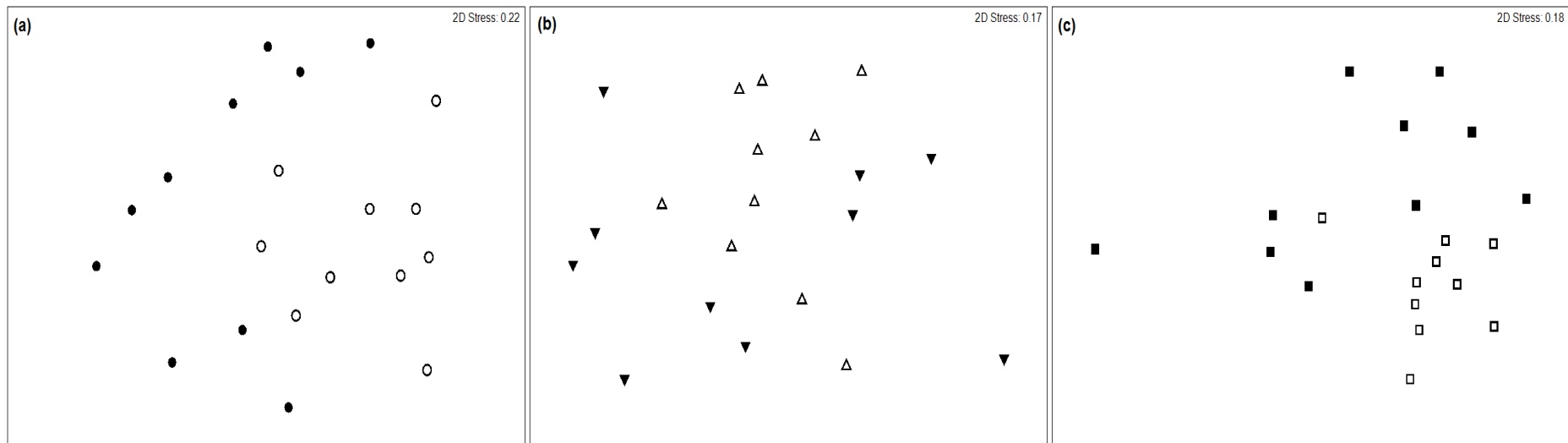


Fig. 4

Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) baseado na composição florístico-estrutural do componente arbóreo na borda (polígonos cheios) e no interior (polígonos vazios) de remanescentes florestais com diferentes graus de urbanização no entorno (a – alto, b - médio e c – baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

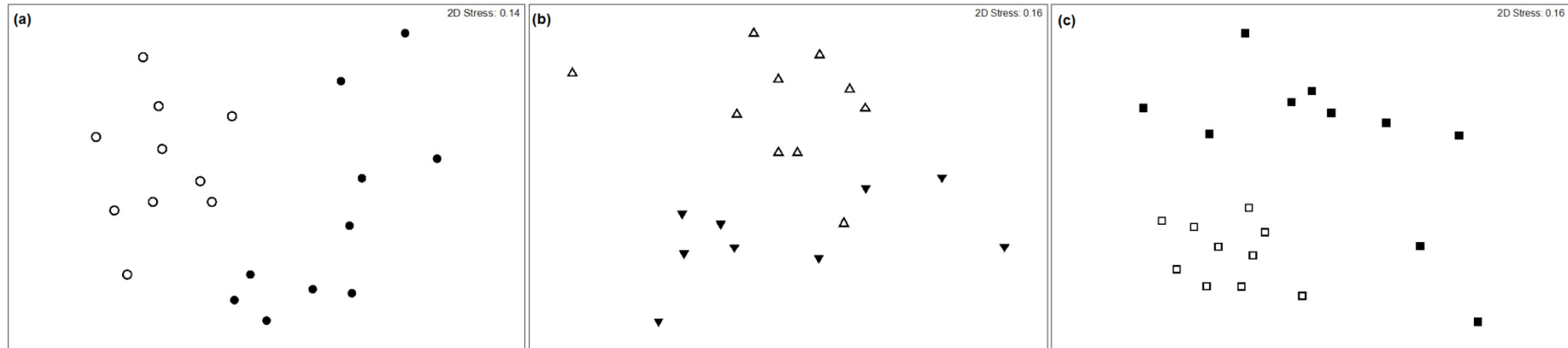


Fig. 5

Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) baseado na composição florístico-estrutural do sub-bosque lenhoso na borda (polígonos cheios) e no interior (polígonos vazios) de remanescentes florestais com diferentes graus de urbanização no entorno (a - alto, b - médio e c – baixo), na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

5. CAPÍTULO II

ÁREAS URBANAS OU ÁREAS RURAIS: QUAL USO DO SOLO NO ENTORNO DA FLORESTA INDUZ MAIOR INTENSIDADE DE EFEITO DE BORDA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DAS PLANTAS?

Artigo em revisão pela revista *Applied Vegetation Science*

Áreas urbanas ou áreas rurais: qual uso do solo no entorno da floresta induz maior intensidade de efeito de borda sobre as características funcionais das plantas?

Tassiane N. F. Guerra, Elcida de L. Araújo, Everardo V. S. B. Sampaio & Elba M. N. Ferraz

Guerra, T. N. F. (autora correspondente, novacosque@gmail.com)¹, **Araújo, E. L.** (elcida@db.ufrpe.br)², **Sampaio, E. V. S. B.** (esampaio@ufpe.br)³, **Ferraz, E. M. N.** (elbanogueira@superig.com.br)⁴

¹ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, Recife, Brasil;

² Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, Recife, Brasil;

³ Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Recife, Brasil;

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 500, Recife, Brasil.

Palavras-chave: Urbanização; Fragmentação; Contraste de habitat; Magnitude do efeito de borda; Gradiente urbano-rural; Arbóreo; Sub-bosque; Floresta tropical úmida; Unidades de Conservação

Resumo

Pergunta(s): Qual tipo de uso do solo no entorno da floresta tropical Atlântica (urbano, suburbano ou rural) configura-se como um indutor de efeito de borda mais intenso na perspectiva das respostas funcionais das plantas do componente arbóreo e do sub-bosque da floresta? Quais características funcionais respondem a esse efeito em cada tipo de entorno, nesses dois estratos verticais da floresta?

Localização: Unidades de Conservação de Proteção Integral na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, Brasil.

Métodos: Foi calculada a proporção de espécies e de indivíduos de plantas lenhosas por característica funcional (tamanho de semente, altura máxima, síndrome de dispersão e estratégia de regeneração) na borda e no interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica com diferentes graus de urbanização no entorno (urbano, suburbano e rural), por meio da instalação de 120 parcelas (60 do componente arbóreo e 60 do sub-bosque lenhoso). O grau de urbanização do entorno dos remanescentes foi obtido pelo mapeamento dos seus entornos com uso de imagem de satélite. A intensidade do efeito de borda e as diferenças nas características funcionais foram verificadas por meio de análises multivariadas.

Resultados: O conjunto de características funcionais do remanescente florestal com o entorno mais urbanizado apresentou maior diferença entre a borda e o interior que os demais, nos dois estratos da floresta. O componente arbóreo do remanescente rural (predominância de atividade agrícola intensa) foi mais influenciado pelo efeito de borda que o do suburbano. Na borda com entorno mais urbanizado, o efeito de borda atuou selecionando espécies que possuem sementes de tamanho pequeno, menor altura máxima, dispersão abiótica e intolerância à sombra. A dispersão biótica prevaleceu no componente arbóreo da borda do remanescente rural.

Conclusões: Do ponto de vista funcional, a floresta com entorno mais urbanizado é mais ameaçada pelo efeito de borda que a floresta cujo entorno é suburbano ou rural. Apesar disso, em um gradiente urbano-rural, uma atividade agrícola intensa no entorno da floresta pode representar um papel intermediário em termos de intensidade de efeito de borda. Este efeito atua de forma diferenciada nas características funcionais do componente arbóreo e do sub-bosque e influencia diferentes características a depender do tipo de entorno.

1. Introdução

A conversão de áreas rurais em áreas urbanas pelo processo de urbanização vem sendo apontada como a grande indutora de alterações deletérias sobre a biodiversidade nativa dos remanescentes naturais adjacentes (Pickett et al. 2011). Parte dessas alterações é resultado do efeito de borda na zona de interação entre a floresta e a área urbana (Hamberg et al. 2009). Diante disso, configura-se como extremamente importante o entendimento das mudanças que ocorrem nos padrões e processos ecológicos sob este efeito e quais fatores podem influenciar a sua intensidade (Harper et al. 2005).

Um dos fatores que influenciam a intensidade do efeito de borda é o contraste entre os ambientes adjacentes (Ries et al. 2004). A intensidade desse efeito pode ser fraca, quando o contraste entre as bordas for baixo, ou forte, quando o contraste for alto (Ries et al. 2004; Magrath et al. 2013). Embora os ambientes urbanos ao redor do mundo compartilhem muitas características em comum, já que as cidades são construídas para atender as necessidades humanas (Grimm et al. 2008), a história de desenvolvimento das cidades, aliada as peculiaridades de cada região (Díaz et al. 2007; Duncan et al. 2011) e ao grau de urbanização de cada área (Čepelová & Münzbergová 2012), pode apresentar contrastes diferenciados com a borda da floresta, do mesmo modo que o tipo e intensidade da atividade rural (Moffat et al. 2004).

Como a abordagem funcional tem se revelado boa preditora na identificação de grupos de espécies com resposta similar a um determinado fator ambiental (Gondard et al., 2003; Mouillot et al. 2013), estudos recentes têm abordado a relação entre as condições específicas das áreas urbanas e rurais e as características funcionais das espécies (Duncan et al. 2011). Assim, quando florestas urbanas e rurais foram comparadas, observou-se que nas assembleias vegetais das áreas urbanas há maior proporção de espécies com ciclo de vida mais curto, que investem mais em crescimento que na sobrevivência, que são intolerantes à sombra, que conseguem se dispersar por longas distâncias e que possuem semente mais leves (Williams et al. 2005; Knapp et al. 2008; Burton et al. 2009; Vallet et al. 2010; Huang et al. 2012).

Apesar de alguns avanços nessa perspectiva para florestas temperadas e boreais, para florestas subtropicais (Huang et al. 2012) e tropicais a maior parte dos estudos não contempla variações ao longo de um gradiente urbano-rural de uso da terra (Tabarelli et al. 2010a), o que impossibilita a geração de predições mais abrangentes do efeito continuado da urbanização sobre a conservação da diversidade funcional dessas florestas. Outro aspecto

menos abordado, mas de grande importância para a avaliação da sustentabilidade dessas florestas, está relacionado com a variação na distribuição das características funcionais nos diferentes estratos verticais da floresta (Ding et al. 2012).

Entre as florestas tropicais circundadas por grandes centros urbanos destaca-se a floresta tropical Atlântica (IBGE, 2015), que se encontra altamente fragmentada (Ribeiro et al. 2009) e é considerada uma das florestas mais ameaçadas do planeta (Myers et al. 2000). Parte dos remanescentes dessa floresta é circundada por áreas urbanas, com diferentes graus de urbanização, e outra parte é circundada por área rural. Em algumas regiões há predominância de plantio da cana-de-açúcar onde o fogo, pesticidas e fertilizantes são utilizados durante o cultivo ou colheitas (Fischer et al. 2008).

Diante deste cenário, este estudo buscou (i) compreender qual tipo de uso do solo no entorno (urbano, suburbano ou rural - predominância de cana-de-açúcar), configura-se como um indutor de efeito de borda mais intenso (de maior magnitude) na perspectiva das respostas funcionais das plantas do componente arbóreo e do sub-bosque da floresta tropical atlântica e (ii) identificar as características funcionais (tamanho de semente, altura máxima, síndrome de dispersão e estratégia de regeneração) que respondem ao efeito de borda em cada tipo de uso do solo, em cada um desses estratos da vegetação. Para isso, foram analisadas e comparadas as respostas funcionais das plantas do componente arbóreo e do sub-bosque, na borda e no interior de florestas cujo uso do solo do entorno variou de acordo com a quantidade de áreas urbanas e rurais.

De acordo com as premissas apresentadas, a hipótese de estudo é que à medida que o grau de urbanização aumentasse, o conjunto de características funcionais da borda e do interior se diferencie de forma gradativa, ou seja, que a magnitude do efeito de borda aumente com aumento da urbanização do entorno. Dessa maneira, esperou-se observar que com o aumento da urbanização o conjunto de características funcionais das espécies da borda e do interior da floresta se diferencie mais fortemente e que estas diferenças se concentrem na maior predominância de espécies com semente pequenas, de menor altura, intolerantes à sombra e que são dispersas por vetores não-bióticos na borda das florestas com entorno mais urbanizado.

2. Métodos

2.1 Áreas de estudo

O efeito da urbanização sobre as respostas funcionais das espécies foi avaliado em três remanescentes protegidos (unidades de conservação de proteção integral) de floresta

tropical Atlântica, localizados ao Norte da Região Metropolitana do Recife, no Nordeste do Brasil. Estes remanescentes florestais foram escolhidos por possuírem uma série de características em comum, e por diferirem, principalmente, quanto ao tipo de uso do solo de seu entorno (Figura 1).

Os três remanescentes avaliados são classificados como Floresta Ombrófila das Terras Baixas (IBGE 2012), estão localizados na mesma formação geológica (Barreiras), possuem relevo do tipo tabuleiro (CPRH 2003), clima do tipo As' (quente e úmido), segundo Köppen (Kottek et al. 2006), e pluviosidade média anual variando entre 1804 mm e 2006 mm (<http://pt.climate-data.org/>, acessado em 6 de abril de 2015). Desde a década de 1960, a borda dessas florestas não apresenta modificações perceptíveis em imagens aéreas fornecidas pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) e em 1987 tais remanescentes passaram a ser protegidos por lei pelo Estado de Pernambuco.

Quanto ao uso do solo do entorno, os remanescentes foram caracterizados de acordo com a quantidade de área urbana no seu entorno em: urbano, suburbano e rural. O remanescente urbano (387 ha) possui 47% de áreas urbanas no seu entorno, o remanescente suburbano (157 ha) possui 22% de área urbana em seu entorno, e o remanescente rural (299 ha) possui apenas 1,7% de área urbana em seu entorno. A quantidade de área urbana do entorno dos remanescentes florestais foi obtida por meio do mapeamento e posterior quantificação de ocupações urbanas e rurais encontradas na área que vai do limite da floresta até 1 km de distância (*buffer*).

Este mapeamento foi realizado na resolução de 1:10.000 através do programa ArcGIS 9.3 (version 9.3, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, US), tomando como base uma imagem de satélite Quickbird, datada de 2006, com alta resolução, cedida pela Agência CONDEPE/FIDEM e Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Foram consideradas como áreas urbanas aquelas com aglomerados residenciais, comerciais ou industriais, estradas, rodovias e áreas sem vegetação (solo exposto) nas proximidades destes aglomerados. Áreas rurais foram consideradas aquelas com predomínio de atividades agropastoris, pequenas vilas, estradas, rodovias e áreas sem vegetação distante dos centros urbanos.

No entorno do remanescente suburbano predominam sítios e chácaras, além de pastagens e vegetação em sucessão secundária e no entorno do remanescente rural é predominante a produção de cana de açúcar. No Brasil esta atividade tem sido historicamente associada com sérios impactos ambientais, dentre eles o desmatamento da floresta tropical Atlântica, uso do fogo na pré-colheita, risco potencial de contaminação ambiental pelo

consumo de fertilizantes inorgânicos e orgânicos e pesticidas (Fischer et al. 2008). Apesar disso, desde a década de 80 o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (Fischer et al. 2008), com cerca de 12% da área de cana plantada localizada na região Nordeste (<http://www.unicadata.com.br/>, acessado em 14 de outubro de 2015), onde foi realizado este estudo.

2.2 Coleta de dados

A intensidade do efeito de borda pode ser conferida por meio da medida da magnitude no qual um dado parâmetro difere na borda e no interior do remanescente (Harper et al. 2005; Ewers & Didham 2006). Neste trabalho, a amostragem da vegetação foi realizada na borda e no interior de cada remanescente florestal. Foi considerado borda da floresta, o trecho localizado entre 0 e 100 m a partir do limite florestal, e interior da floresta, o trecho localizado a uma distância mínima de 300 m a partir do limite florestal em direção ao centro (Laurance et al. 2002).

A amostragem ocorreu pela instalação sistemática de 120 parcelas, 40 por fragmento, sendo 20 no ambiente de borda e 20 no de interior. Em cada ambiente as parcelas foram subdivididas da seguinte maneira: (1) 10 parcelas de 10 x 10 m para amostragem das plantas do componente arbóreo, aquelas com circunferência ao nível do peito a 1,30 m do solo ≥ 15 cm (incluiu árvores do dossel e do sub-dossel) e (2) 10 parcelas de 5 x 5 m para amostragem das plantas do sub-bosque, aquelas com circunferência ao nível do peito < 15 cm, desde que apresentassem circunferência ao nível do solo ≥ 3 cm (incluiu regenerantes do componente arbóreo e plantas típicas do sub-bosque). As parcelas do sub-bosque foram instaladas dentro das parcelas do componente arbóreo, tomando como base um dos seus vértices. Tanto na borda como no interior as parcelas do componente arbóreo e do sub-bosque foram equidistantes entre si em 10 m e 15 m, respectivamente.

Em cada remanescente, as parcelas da borda foram alinhadas perpendicularmente ao limite da floresta, em dois transectos de cinco parcelas, a localização de cada grupo dependeu, principalmente, do tipo de entorno. No remanescente urbano foram escolhidas bordas em contato ou nas proximidades das áreas urbanas, no remanescente rural foram escolhidas bordas em contato com a plantação de cana-de-açúcar, presente em 98,3% do entorno, e no remanescente suburbano, foram escolhidas bordas em contato com áreas urbanas e bordas em contato com áreas rurais (sítios e chácaras). Os transectos do interior foram alinhados em duas picadas paralelas. Em 2014 todas as plantas lenhosas

autossustentantes presentes no interior das parcelas foram identificadas taxonomicamente (*Angiosperm Phylogeny Group III - APG 2009*) e medidas em termos de altura e diâmetro.

2.2.1 Características funcionais das espécies

As espécies identificadas foram categorizadas de acordo com as suas características funcionais. Foram consideradas características relacionadas à regeneração, à persistência, à dispersão e ao requerimento em termos de recursos (Vallet et al. 2010). Quanto à regeneração e à persistência, as espécies foram avaliadas por meio do tamanho das sementes e da altura máxima, respectivamente. Em relação ao tamanho da semente, considerando a medida de seu maior comprimento, as espécies foram classificadas em quatro grupos: pequena (< 0,6 cm); média (0,6 – 1,5 cm); grande (> 1,5 – 3,0 cm) e muito grande (> 3,0 cm), conforme adotado por Tabarelli & Peres (2002) e Santos et al. (2008). E em relação à altura máxima, considerando a altura apresentada pelo seu indivíduo mais alto nos três remanescentes, as espécies foram distribuídas em quatro grupos: muito alta, com altura máxima maior ou igual a 18 m; alta, com altura máxima de 10 a 17,9 m; média, com altura máxima de 5 a 9,9 m e baixa, com altura máxima inferior a 5 m. A delimitação dos grupos de altura máxima foi feita através de *box-plots* e histogramas de distribuição em classes de altura, de modo que os intervalos de altura dos grupos fossem compatíveis com a fisionomia das florestas estudadas.

Quanto à dispersão, as espécies foram classificadas de acordo com o modo de dispersão de diásporos em biótico ou abiótico, conforme proposto por Van der Pijl (1982). E quanto ao requerimento de recurso, foi obtida da literatura a estratégia de regeneração das espécies em termos de requerimento de luz, sendo as mesmas classificadas como tolerantes à sombra - aquelas que, de maneira geral, germinam e se estabelecem sobre a sombra do componente arbóreo, e intolerantes à sombra - aquelas cujas sementes germinam e se estabelecem sob incidência solar ao menos em parte do dia (Budowski 1965; Swaine & Whitmore 1988; Whitmore 1989; Finegan 1993).

Tamanho de semente, síndrome de dispersão e estratégia de regeneração foram obtidas por meio de literatura especializada, em alguns casos, especialistas, herbários e dados de campo foram consultados. Conforme detalhado anteriormente, a altura máxima das espécies foi obtida por meio de informações coletadas em campo.

2.3 Análise de dados

A fim de verificar se o aumento da urbanização induz respostas mais intensas nas características funcionais das plantas na borda da floresta, foi calculada para cada parcela a porcentagem de espécies e de indivíduos por característica funcional (ver Cingolani et al. 2007), tanto para o componente arbóreo, como para o sub-bosque. A partir destes valores, foram calculadas proporções ponderadas pelo número total de espécies e de indivíduos de cada parcela. Estas proporções foram transformadas em “centred Log-ratios” para remover efeitos das somas das constantes (Constant sum constraint – CSC) (Kucera & Malmgren 1998) e analisadas em conjunto pela Análise de Redundância (RDA - *Redundancy Analysis*) para avaliar a influência do entorno (urbano, suburbano e rural) no efeito de borda. A transformação dos dados foi realizada pela função *clr* no pacote *rgl* (Garrett 2016) e a análise de redundância foi realizada pela função *rda* no pacote *vegan* (Oksanen et al., 2016), ambos disponíveis no programa R (versão 3.3.1; R Development Core Team).

A RDA foi utilizada para verificar como a variável Entorno (urbano, suburbano e rural) e a variável Ambiente (borda e interior) influenciam o conjunto de características funcionais. Inicialmente esta análise foi calculada em dois passos. O primeiro passo analisou a influência de cada variável isoladamente, bem como a sua interação (Legendre & Anderson, 1999), e o segundo analisou detalhadamente estas influências, por meio da partição das variações (Peres-Neto et al. 2006), com o uso da função *varpart* disponível no pacote *vegan* do programa R. Em seguida, foi realizada RDA simples entre borda e interior dentro de cada tipo de entorno para identificar com se apresenta o efeito de borda em cada situação.

Para verificar se as alterações no conjunto de características funcionais são percebidas em termos de diversidade funcional, foi calculado o índice de diversidade funcional de Rao (índice de entropia quadrática de Rao) entre as mesmas situações da RDA simples (Botta-Dukát 2005). Para o cálculo deste índice foram utilizadas duas matrizes, uma com a abundância de indivíduos de cada espécie por parcela e a outra com as características funcionais de cada espécie.

E para detectar quais características funcionais respondem ao efeito de borda nas três situações de estudo e qual a natureza dessa resposta, as proporções ponderadas de cada característica por parcela foram submetidas individualmente (Modelos simples) à análise Modelos Lineares Generalizados (GLM - *General Linear Models*), usando modelo de distribuição binomial e logit como função de ligação, no programa Statistica (version 7, Stat Soft. Inc., OK, US).

3. Resultados

3.1 Componente arbóreo

O conjunto de características funcionais do componente arbóreo apresentou, de acordo com a RDA, variações significativas para a variável Entorno (urbano, suburbano e rural) ($R^2 = 7,475$, $p = 0,005$) e para a interação entre as variáveis Entorno e Ambiente (Borda e Interior) ($R^2 = 8,185$, $p = 0,004$) (Tabela 1). A partição da variação observada pela RDA revelou que as variações entre os três tipos de entorno são as que mais contribuem para as diferenças observadas no conjunto de características (Tabela 2).

As diferenças entre borda e interior, apontadas na RDA simples, foram para o remanescente urbano ($R^2 = 3,176$, $p = 0,005$) e rural ($R^2 = 2,106$, $p = 0,047$) (Tabela 3). Estas alterações não foram percebidas da mesma maneira pelo índice de diversidade funcional de Rao (Tabela 4). Mesmo com a diversidade funcional das bordas do urbano e do suburbano apresentando valores inferiores aos do interior e a da borda rural apresentando valor superior ao do interior, não foi detectado efeito de borda significativo em nenhum dos remanescentes avaliados. Apesar disso, diferenças significativas foram observadas entre estes remanescentes. O remanescente urbano apresentou, significativamente, menor índice de diversidade funcional, tanto na borda, como no interior que o observado no interior do suburbano.

Algumas das características funcionais diferiram entre os ambientes de borda e interior nos três remanescentes (Tabela 5). As diferenças estatísticas apontadas pela GLM revelaram que o remanescente urbano e o suburbano apresentaram efeito de borda para algumas características em comum, no entanto, com natureza oposta. No urbano, ocorreu menor proporção de espécies e indivíduos com sementes maiores (muito grande e grande), com dispersão biótica e com tolerância à sombra na borda. Na borda do remanescente suburbano ocorreram maiores proporções de espécies e indivíduos com sementes grandes e com tolerância à sombra. E na borda do remanescente rural, menores proporções de espécies e indivíduos com altura máxima alta e maiores proporções de espécies e indivíduos com altura máxima baixa e com dispersão biótica.

3.2 Sub-bosque lenhoso

Quanto ao conjunto de características funcionais, a RDA revelou que no sub-bosque lenhoso há variações significativas para a variável Entorno ($R^2 = 14,384$, $p = 0,001$) e para a interação Entorno x Ambiente ($R^2 = 9,908$, $p = 0,014$) (Tabela 1). A partição da variação

detectou que a maior parte da variância pode ser explicada pelos três tipos de entorno (Tabela 2).

Na análise individual entre borda e interior por tipo de entorno, foi detectado efeito de borda apenas para o conjunto de características funcionais da vegetação do remanescente com entorno urbano ($R^2 = 4,614$, $p = 0,002$) (Tabela 3). Apesar disso, para diversidade funcional não foram detectadas diferenças significativas nem entre borda e interior, nem entre os tipos de entorno (Tabela 4). Ainda assim, valores mais baixos do índice de diversidade funcional foram observados na borda e no interior do remanescente urbano. O maior índice de diversidade funcional foi registrado no interior do remanescente rural.

A borda e o interior dos três remanescentes diferiram estatisticamente para o tamanho de semente e a altura máxima, segundo a GLM (Tabela 6). No remanescente urbano, a borda apresentou menor proporção de espécies e indivíduos com sementes muito grandes, enquanto que a borda do remanescente suburbano apresentou maior proporção de espécies e indivíduos com este tamanho de semente. No remanescente rural, a borda apresentou menor proporção de espécies e indivíduos com sementes de tamanho médio. Quanto à altura máxima, a borda do urbano apresentou menor proporção de espécies e indivíduos altos e maior proporção de espécies e indivíduos muito altos e baixos; a borda do suburbano apresentou menor proporção de espécies e indivíduos muito altos; e a borda do rural apresentou menor proporção no baixo.

4. Discussão

4.1 Intensidade do efeito de borda sobre as características funcionais

Os resultados confirmam que, do ponto de vista funcional, a interação entre o tipo de entorno dos remanescentes florestais e os ambientes (borda e interior) interfere no conjunto de características funcionais analisado. Com a análise detalhada desta interação, observa-se que a assembleia de plantas da borda do remanescente florestal com entorno mais urbanizado responde ao efeito de borda de forma mais intensa, uma vez que o conjunto de características funcionais da borda e do interior deste remanescente se diferenciou mais que o dos remanescentes suburbano e rural. Estes resultados corroboram a ideia de que áreas mais urbanizadas produzem um contraste mais alto de borda, conforme levantado na hipótese deste trabalho e proposto por Hamberg et al. (2009). Apesar disso, a diversidade funcional não chegou a ser afetada significativamente, mesmo com o conjunto de características funcionais na borda com entorno mais urbanizado apresentando maior homogeneidade.

Embora estudos sobre o efeito de borda ao longo de gradientes urbano-rurais sejam infreqüentes, as variações bióticas e abióticas entre ambientes urbanos e rurais vêm sendo reportadas como diferentes entre si em trabalhos que decorrem mais de uma década (Pickett et al. 2011). As áreas urbanas diferem de áreas rurais em diversos aspectos, nelas podem ocorrer alterações chamadas de "síndromes urbanas", que são derivadas em parte do aumento de temperatura (ilha de calor), da alta taxa de impermeabilização do solo, da maior poluição (água, ar e solo) e da introdução de espécies exóticas (McDonnell & Pickett 1990; Pellissier et al. 2008; Pickett et al. 2011).

Era esperado que à medida que o grau de urbanização aumentasse, o conjunto de características funcionais da borda e do interior se diferenciassse de forma gradativa. No entanto, os resultados indicaram a tendência de que o remanescente suburbano apresenta menor intensidade de efeito de borda que o rural no componente arbóreo. Áreas suburbanas estão localizadas na posição intermediária do gradiente urbano-rural de uso da terra (McDonnell & Pickett 1990), por este motivo, de acordo com Čepelová & Münzbergová (2012), são afetadas por um nível intermediário de distúrbio. Apesar disso, foi observado que o tipo de atividade rural parece influenciar o efeito de borda, podendo assumir um papel intermediário na intensidade do efeito de borda. Na área de estudo, predominam no entorno do remanescente suburbano sítios e chácaras, a maioria residencial, enquanto no entorno do remanescente rural, há predominância da atividade canavieira.

Por conta da declividade do terreno, a atividade canavieira no Nordeste do Brasil, principalmente no estado de Pernambuco, realiza parte da colheita da cana-de-açúcar com uso de fogo, em período de aproximadamente 12 meses (www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/855892, acessado em 13 de outubro de 2015). Acredita-se que esta prática, além de outras utilizadas no cultivo da cana-de-açúcar (uso de fertilizantes e agrotóxicos), produz impactos negativos na biodiversidade dos remanescentes florestais que são mantidos nas propriedades das usinas (Campbell & Doswald 2009), especialmente nas bordas dessas florestas.

4.2 Respostas das características funcionais ao efeito de borda

As quatro características funcionais avaliadas neste trabalho: tamanho da semente, altura máxima, tipo de dispersão e estratégia de regeneração foram influenciadas pelo efeito de borda. No entanto, conforme foi observado em estudos que compararam características funcionais das plantas entre áreas urbanas e rurais (Williams et al. 2005; Knapp et al. 2008; Burton et al. 2009; Vallet et al. 2010; Huang et al. 2012), a resposta dessas características

apresentam-se de maneira diferenciada a depender do tipo de uso do solo do entorno das florestas (urbano, suburbano ou rural) e do componente da vegetação (arbóreo ou sub-bosque).

A borda do remanescente com maior grau de urbanização no entorno apresentou diminuição da proporção de espécies com sementes maiores, tanto no componente arbóreo, quanto no sub-bosque. Sobre esse aspecto, sabe-se que embora sementes pequenas sejam produzidas em grande quantidade e possuam grande facilidade de dispersão, essas sementes são negativamente correlacionadas com o sucesso na emergência e na sobrevivência de plântulas (Dalling & Hubbell 2002; Moles & Westoby 2004). Outro aspecto que também se relaciona com o tamanho da semente é a idade da floresta, de modo que nos estágios iniciais de sucessão são encontradas maiores proporções de espécies com sementes pequenas (Tabarelli & Peres 2002). Estas considerações indicam que as bordas com entorno mais urbanizado podem ter a regeneração comprometida e que essas bordas sofrem ou sofreram interferências mais recentes.

Com relação à altura máxima, embora o componente arbóreo não tenha sentido efeito de borda nas florestas com entorno urbanizado, o sub-bosque mostrou que nessas áreas esse efeito atua na diminuição da proporção de espécies altas e no aumento da proporção de espécies baixas e de espécies muito altas. Na floresta com entorno rural foram observadas tais alterações só que no componente arbóreo (exceto para espécies muito altas). A redução de árvores mais altas pelo efeito de borda é considerada um fenômeno típico pela literatura (Laurance et al. 2000; Santos et al. 2008). Essa redução em altura também já foi relacionada com o aumento da urbanização (Knapp et al. 2009). Sobre a contradição de maior proporção de espécies muito altas na borda do urbano, pode-se ponderar que, provavelmente, são resultantes do maior número de espécies que à medida que investem em altura e crescem a elevadas taxas, não sobrevivem por longos períodos (Wright et al., 2010). Segundo Swaine & Whitmore (1988) estas são características comuns em espécies pioneiras.

Quanto ao modo como os diásporos são dispersos, alguns autores observaram que a estrutura de ambientes urbanizados pode afetar negativamente a conectividade da paisagem para alguns grupos de animais como pássaros (Rottenborn 1999) e mamíferos (Villaseño et al. 2014). Em adição a isto, Vespa et al. (2014) observaram que a abundância de espécies dispersas pelo vento aumentou com o contraste da borda. Corroborando os resultados destes autores, foi encontrada a predominância de espécies e indivíduos com dispersão abiótica na borda do remanescente urbano e redução de dispersão biótica na borda do rural.

Embora uma maior proporção de espécies e de indivíduos intolerantes à sombra na borda dos três tipos de entorno tenha sido esperada, este aumento ocorreu de forma significativa apenas para o componente arbóreo da borda do remanescente com entorno mais urbanizado. Este resultado corrobora a hipótese deste trabalho e é compatível com o detectado por Burton et al. (2009) que observaram predominância de espécies intolerantes à sombra em outras áreas urbanas, quando estas foram comparadas com áreas rurais. Possivelmente, esta característica funcional não variou no sub-bosque devido à presença de espécies típicas do sub-bosque que completam todo o seu ciclo de vida sob o dossel da floresta, e, portanto, são tolerantes à sombra.

Intolerância à sombra, bem como tamanho de semente pequeno, são duas características comuns em espécies pioneiras (Swaine & Whitmore 1988). Este tipo de espécie já foi apontada como predominante em áreas urbanizadas (Huang et al. 2012) e em bordas de floresta (Tabarelli et al. 2010b). Um aumento de espécies pioneiras pode levar a área afetada a diversas implicações que variam desde a diminuição de biomassa da floresta como aumento na dinâmica, alterações na fisionomia, maior vulnerabilidade a incêndios e até mudanças na fauna (Laurance et al. 2006). Outra importante implicação da alta dominância de pioneiras é que estas espécies conseguem rapidamente substituir as espécies secundárias, fato que pode levar a homogeneização taxonômica e funcional ao nível da paisagem, resultando na redução das diversidades *alfa* e *beta*, e empobrecimento da diversidade funcional (Tabarelli et al. 2008).

5. Conclusões

Podemos concluir que áreas mais urbanizadas no entorno da floresta induzem um efeito de borda mais intenso do ponto de vista funcional e, ao contrário do que foi pensado como hipótese, em alguns casos, áreas com um nível de urbanização intermediário podem induzir um efeito de borda mais ameno que áreas rurais com atividades intensas. Este cenário indica que ações de manejo nas bordas dos remanescentes florestais não podem ser generalizadas, sendo necessário considerar as características do tipo do entorno e avaliar não só a estrutura dos habitats adjacentes à borda da floresta, mas também a dinâmica desses habitats.

Com base nas características funcionais analisadas, concluímos que na floresta com entorno mais urbanizado o efeito de borda atua selecionando, especialmente, espécies que produzem sementes menores, que possuem menor altura máxima, e que são intolerantes à sombra. Este conjunto de características é apontado como comum nas espécies de áreas em

processo inicial de sucessão secundária e de áreas mais sujeitas à homogeneização biótica e funcional. Nestes locais, os processos ecológicos originais são mais difíceis de serem mantidos ou restabelecidos, assim, intervenções são necessárias para a sustentabilidade dessas áreas.

Conforme apresentado, observou-se que a depender do tipo de entorno, as características funcionais das plantas no componente arbóreo e no sub-bosque foram afetadas pelo efeito de borda de maneira diferenciada. De maneira geral, o efeito de borda sobre o componente arbóreo das bordas das florestas com entorno urbanizado influenciou, principalmente, a estratégia de regeneração, enquanto no sub-bosque influenciou, sobretudo, a altura máxima da planta. Tamanho de semente tende a diferir em ambos os estratos.

O aumento da população urbana é uma tendência mundial, desse modo, remanescentes florestais podem estar mais sujeitos ao impacto da urbanização, especialmente, como sugerido nos resultados deste trabalho, com relação à maior intensidade de efeito de borda sobre as características funcionais das espécies. Para a floresta tropical Atlântica brasileira que além da grande perda de hábitat e alta fragmentação, já possui parte de seus remanescentes circundados por áreas urbanas, este estudo fornece importantes informações para conservação da diversidade funcional destas áreas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio financeiro as atividades de campo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e ao Instituto Federal de Pernambuco – IFPE pelas bolsas de produtividade em pesquisas, à Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH pela liberação integral da servidora primeira autora deste trabalho e aos proprietários/administradores dos remanescentes de estudo pela autorização para realização desta pesquisa (Refúgio de Vida Silvestre Mata da Usina São José - grupo Cavalcanti Petribu, Estação Ecológica de Caetés – CPRH e Parque Estadual de Dois Irmãos – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade). Agradecimento especial a Marcos Chagas pelo apoio durante atividades de campo.

Referências

Botta-Dukát, Z. 2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of vegetation science* 16: 533-540.

- Budowski, G. N. 1965. Distribution of tropical American rain forest species in the light of succession processes. *Turrialba* 1: 1540-1542.
- Burton, M. L., Samuelson, L. J. & Mackenzie, M. D. 2009. Riparian woody plant traits across an urban–rural land use gradient and implications for watershed function with urbanization. *Landscape and Urban Planning* 90: 42–55.
- Campbell, A. & Doswald, N. 2009. *The impacts of biofuel production on biodiversity: A review of the current literature*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Čepelová, B. & Münzbergová, B. 2012. Factors determining the plant species diversity and species composition in a suburban landscape. *Landscape and Urban Planning* 106: 336–346.
- Cingolani, A. M., Cabido, M., Gurvich, D. E., Renison, D. & Díaz, S. 2007. Filtering processes in the assembly of plant communities: Are species presence and abundance driven by the same traits? *Journal of Vegetation Science* 18: 911-920.
- CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. 2003. *Diagnóstico socioambiental do litoral norte de Pernambuco*. CPRH, Recife, Brazil.
- Dalling, J. W. & Hubbell, S. P. 2002. Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology* 90: 557–568.
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K. & Robson, T. M. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America* 104: 20684–20689.
- Ding, Y., Zang, R., Letcher, S. G., Liu, S. & He, F. 2012. Disturbance regime changes the trait distribution, phylogenetic structure and community assembly of tropical rain forests. *Oikos* 121: 1263–1270.
- Duncan, R. P., Clemants, S. E., Corlett, R. T., Hahs, A. K., McCarthy, M. A., McDonnell, M. J., Schwartz, M. W., Thompson, K. & Vesik, P. A. 2011. Plant traits and extinction in urban areas: a meta-analysis of 11 cities. *Global Ecology and Biogeography* 20: 509–519.
- Ewers, R.M. & Didham, R. K. 2006. Continuous response functions for quantifying the strength of edge effects. *Journal of Applied Ecology* 43: 527–536.
- Fischer, G., Teixeira, E., Hizsnyik, E. T. & van Velthuisen, H. 2008. Land use dynamics and sugarcane production. In: Zuurbier, P. & van Vooren, J. (eds.) *Sugarcane ethanol*:

Contributions to climate change mitigation and the environment, pp. 29-62. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.

Finegan, B. 1993. *Bases ecológicas de la silvicultura y la agroforesteria*. Centro Agronômico Tropical de Investigacion y Ensenanza, Turrialba, Costa Rica.

Garrett, R. G. 2016. rgr: Applied Geochemistry EDA. R package version 1.1.13. <https://CRAN.R-project.org/package=rgr>

Gondard, H., Jauffret, S., Aronson, J. & Lavorel, S. 2004. Plant functional types: a promising tool for management and restoration of degraded lands. *Applied Vegetation Science* 6: 223-234.

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L. Wu, J., Bai, X. & Briggs, J. M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319: 756-760.

Hamberg, L., Lehvavirta, S. & Kotze, D. J. 2009. Forest edge structure as a shaping factor of understorey vegetation in urban forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 257: 712-722.

Harper, K. A.; Macdonald, E.; Burton, P. J.; Chen, J.; Brosofske, K. D.; Saunders, S.C.; Euskirchen, E. S.; Roberts, D.; Jaiteh, M. S. & Essen, P. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 3: 768-782.

Huang, L., Chen, H., Ren, H., Wang, J. & Guo, Q. 2012. Effect of urbanization on the structure and functional traits of remnant subtropical evergreen broad-leaved forests in South China. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 5003-5018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1. 2ª edição, Rio de Janeiro, Brazil.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil*. Rio de Janeiro, Brasil.

Knapp, S., Kühn, I., Mosbrugger, V. & Klotz, S. 2008. Do protected areas in urban and rural landscapes differ in species diversity? *Biodiversity Conservation* 17: 1595-1612.

Knapp, S., Kühn, I., Bakker, J. P., Kleyer, M., Klotz, S., Ozinga, W. A., Poschlod, P., Thompson, K., Thuiller, W. & Römermannet, C. 2009. How species traits and affinity to

- urban land use control large-scale species frequency. *Diversity and Distributions* 15: 533–546.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263.
- Kucera, M., Malmgren, B.A. 1998. Logratio transformation of compositional data - a resolution of the constant sum constraint. *Marine Micropaleontology* 34: 117–120.
- Laurance, W. F., Nascimento, H. E. M., Laurance, S. G., Andrade, A. C., Fearnside, P. M., Ribeiro, J. E. L. & Capretz, R. L. 2006. Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. *Ecology* 2: 469–482.
- Laurance, W. F., Lovejoy, T. E., Vasconcelos, H. L., Bruna, E. M., Didham, R. K., Stouffer, P. C., Gascon, C., Bierregaard, R. O., Laurance, S. G. & Sampaio, E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology* 3: 605-618.
- Laurance, W. F., Delamônica, P., Laurance, S. G., Vasconcelos, H. L. & Lovejoy, T. E. 2000. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature* 20, 836.
- Legendre, P. & Anderson, M.J. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs* 1: 1-24.
- Magrath, A., Santamaría, L. & Larrinaga, A. R. 2013. Forest edges show contrasting effects on an austral mistletoe due to differences in pollination and seed dispersal. *Journal of Ecology* 101:713–721.
- Mabry, C. M. & Fraterrigo, J. M. 2009. Species traits as generalized predictors of forest community response to human disturbance. *Forest Ecology and Management* 257: 723–730
- McDonnell, M. J. & Pickett, S. T. A. 1990. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology* 4: 1232-1237.
- Moffatt S. F., Mclachlan, S. M. & Kenkel, N. C. 2004. Impacts of land use on riparian forest along an urban–rural gradient in southern Manitoba. *Plant Ecology* 174: 119–135.
- Moles, A.T. & Westoby, M. 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology* 92: 372-383.

- Mouillot, D., Graham, N. A. J., Villéger, S., Mason, N. W. H. & Bellwood, D. R. A. 2013. Functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology and Evolution* 3: 167–177.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Oksanen, J. F., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., et al. 2016. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-1. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Pellissier, V., Rozé, F., Aguejdad, R., Quénot, H. & Clergeau, P. 2008. Relationships between soil seed bank, vegetation and soil fertility along an urbanisation gradient. *Applied Vegetation Science* 11: 325-334.
- Peres-Neto, P.R., Legendre, P., Dray, S. & Borcard, D. 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology* 87: 2614–2625.
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J.M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C. & Costanza, R. 2011. Urban ecological systems: scientific foundations and a decade of progress. *Journal of Environmental Management* 92: 331-362.
- Ries, L., Fletcher, Jr. R. J., Battin, J. & Sisk, T. D. 2004. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, Models, and Variability Explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35:491–522.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J. & Hirota, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142: 1141–1153.
- Rottenborn, S. C. 1999. Predicting the impacts of urbanization on riparian bird communities. *Biological Conservation* 88: 289–299.
- Santos, B. A., Peres, C. A., Oliveira, M. A., Grillo, A., Alves-Costa, C. P. & Tabarelli, M. 2008. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic Forest fragments of Northeastern Brazil. *Biological Conservation* 141: 249-260.
- Swaine, M. D. & Whitmore, T. C. 1988. On the definition of ecological species groups. *Vegetation* 75: 81-86.

- Tabarelli, M. & Peres, C. A. 2002. Abiotic and vertebrate seed dispersal in the Brazilian Atlantic forest: implications for forest regeneration. *Biological Conservation* 106: 165–176.
- Tabarelli, M., Lopes, A. V., & Peres, C. A. 2008. Edge-effects drive tropical forest fragments towards an early-successional system. *Biotropica* 6: 657–661
- Tabarelli, M., Venceslau, A. A., Ribeiro, M. C., Metzger, J. P. & Peres, C. A. 2010a. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation* 143: 2328–2340.
- Tabarelli, M., Aguiar, A. V., Girão, L. C., Peres, C.A. & Lopes, A.V. 2010b. Effects of pioneer tree species hyperabundance on forest fragments in Northeastern Brazil. *Conservation Biology* 6: 1654–1663.
- Vallet, J., Daniel, H., Beaujouan, V., Rozé, F. & Pavoine, S. 2010. Using biological traits to assess how urbanization filters plant species of small woodlands. *Applied Vegetation Science* 13: 412–424.
- Van der Pijl, L. 1982. *Principles of dispersal in higher plants*. Springer-Verlag, New York, US.
- Vespa, N. I., Zurita, G. & Bellocq, I. M. 2014. Functional responses to edge effects: Seed dispersal in the southern Atlantic forest, Argentina. *Forest Ecology and Management* 328: 310–318.
- Villaseño, N. R., Driscoll, D. A., Escobar, M. A. H., Gibbons, P. & Lindenmayer, D. B. 2014. Urbanization impacts on mammals across urban-forest edges and a predictive model of edge effects. *Plos One* 5.
- Williams, N. S. G., Morgan, J. W., McDonnell, M. J. & McCarthy, M. A. 2005. Plant traits and local extinctions in natural grasslands along an urban–rural gradient. *Journal of Ecology* 93: 1203–1213.
- Whitmore, T. C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 3: 536–538.
- Wright, S. J. S., Kitajima, K., Kraft, N. J. B., Reich, P. B., Wright, I. J., Bunker, D. E., et al. (2010). Functional traits and the growth-mortality trade-off in tropical trees. *Ecology* 91: 3664–3674.

Tabela 1 Resultado da Análise de Redundância (RDA) para influência dos tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) e de ambientes (borda e interior) sobre o conjunto de características funcionais das plantas de remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Variável	<i>R</i>²	F	<i>P-value</i>
Arbóreo			
Tipo de entorno	7,475	2,477	0,005
Ambientes	2,789	1,847	0,074
Tipo de entorno ^x Ambientes	8,185	2,708	0,004
Sub-bosque lenhoso			
Tipo de entorno	14,384	5,174	0,001
Ambientes	0,620	0,447	0,881
Tipo de entorno ^x Ambientes	9,908	3,565	0,001

P-values significativos ($\leq 0,05$) em negrito.

Tabela 2 Resultados na variação de partição (VARPART) para influência da variável tipo de entorno (urbano, suburbano e rural) e do tipo de ambiente (borda e interior) sobre o conjunto de características funcionais das plantas de remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Variável	<i>R</i>²<i>Ajustado</i>	<i>R</i>²
Arbóreo		
[a + b]	0,03246	0,01578*
[b + c]	0,02789	0,01113*
[a + b + c]	0,06035	0,02738*
Tipo de entorno [a]		0,01625*
Compartilhadas [b]		-0,00047
Ambientes [c]		0,01160*
Sem explicação [d]		0,97262
Sub-bosque lenhoso		
[a + b]	0,03297	0,01630*
[b + c]	0,00621	-0,01092*
[a + b + c]	0,03918	0,00547*
Tipo de entorno [a]		0,01639*
Compartilhadas [b]		-0,00009
Ambientes [c]		-0,01083
Sem explicação [d]		0,99453

* indica as frações que podem ser testadas.

Tabela 3 Similaridade funcional entre a borda e o interior de remanescentes de floresta tropical Atlântica em um gradiente urbano-rural. Resultados da Análise de Redundância (RDA) simples para remanescentes de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Grau de urbanização	Borda versus Interior		
	F	R^2	<i>P-value</i>
Árboreo			
Urbano	14,997	3,176	0,0050
Suburbano	7,943	1,553	0,1500
Rural	10,473	2,106	0,0470
Sub-bosque lenhoso			
Urbano	20,410	4,616	0,0020
Suburbano	10,405	2,090	0,0620
Rural	8,067	1,579	0,1530

P-values significativos ($\leq 0,05$) em negrito.

Tabela 4 Índice de diversidade funcional de Rao calculado para borda e interior em três tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) de remanescentes de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Médias comparadas pelo teste de Tukey entre a borda e o interior.

Grau de urbanização	Médias	
	Borda	Interior
Árboreo		
Urbano	8,87 b	10,57 b
Suburbano	11,53 ab	14,81a
Rural	12,70 ab	11,30 ab
Sub-bosque lenhoso		
Urbano	10,45 a	10,76 a
Suburbano	12,18 a	12,75 a
Rural	11,65 a	13,85 a

Letras iguais indicam semelhança e letras diferentes indicam disparidades.

Tabela 5 Proporção média ponderada de espécies e indivíduos para cada característica funcional e resultados da análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM) entre os ambientes de borda (B) e interior (I) do componente arbóreo de remanescentes de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Característica funcional	Urbano		Suburbano		Rural	
	B	I	B	I	B	I
(i) Tamanho de semente						
Muito grande	0,00	5,26*	1,82	3,38	4,40	1,61
Grande	2,59	14,59**	26,53	12,68**	16,06	20,54
Médio	69,23	66,51	47,99	52,46	47,64	58,99
Pequeno	28,18	13,65	23,66	31,47	31,91	18,86
(ii) Altura máxima						
Muito alta	30,53	20,86	17,86	19,40	18,52	16,58
Alta	48,37	58,02	49,34	52,78	48,66	69,77**
Média	18,81	20,52	30,97	27,81	27,09	13,05*
Baixo	2,29	0,61	1,82	0,00	5,73	0,61*
(iii) Modo de dispersão dos diásporos						
Biótico	64,71	81,42*	60,23	66,11	84,17	66,43**
Abiótico	35,29	18,58*	39,77	33,89	15,83	33,57**
(iv) Estratégia de regeneração						
Tolerante à sombra	42,12	69,79***	55,32	47,41***	48,98	62,61
Intolerante à sombra	57,88	30,21***	44,68	52,59***	51,02	37,39

Diferenças significativas entre borda e interior: * $P \leq 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

Tabela 6 Proporção média ponderada de espécies e indivíduos para cada característica funcional e resultados da análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM) entre os ambientes de borda (B) e interior (I) do sub-bosque lenhoso de remanescentes de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Característica funcional	Urbano		Suburbano		Rural	
	B	I	B	I	B	I
(i) Tamanho de semente						
Muito grande	0,29	3,88**	7,74	0,00**	1,42	0,64
Grande	22,23	22,53	14,28	20,09	26,91	24,71
Médio	66,39	65,18	58,49	58,38	41,28	57,14*
Pequeno	11,10	8,40	19,49	21,53	30,39	17,50
(ii) Altura máxima						
Muito alta	17,88	9,18*	7,25	18,69**	22,83	21,55
Alta	30,58	54,30**	29,53	46,09	27,81	30,84
Média	35,96	31,83	40,70	24,70	43,20	35,46
Baixo	15,57	4,70**	22,52	10,52	6,16	12,15*
(iii) Modo de dispersão dos diásporos						
Biótico	81,79	88,72	72,70	61,87	78,54	76,76
Abiótico	18,21	11,28	27,30	38,13	21,46	23,24
(iv) Estratégia de regeneração						
Tolerante à sombra	55,12	64,39	67,01	66,84	63,08	57,24
Intolerante à sombra	44,88	35,61	32,99	33,16	36,92	42,76

Diferenças significativas entre borda e interior: * $P \leq 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

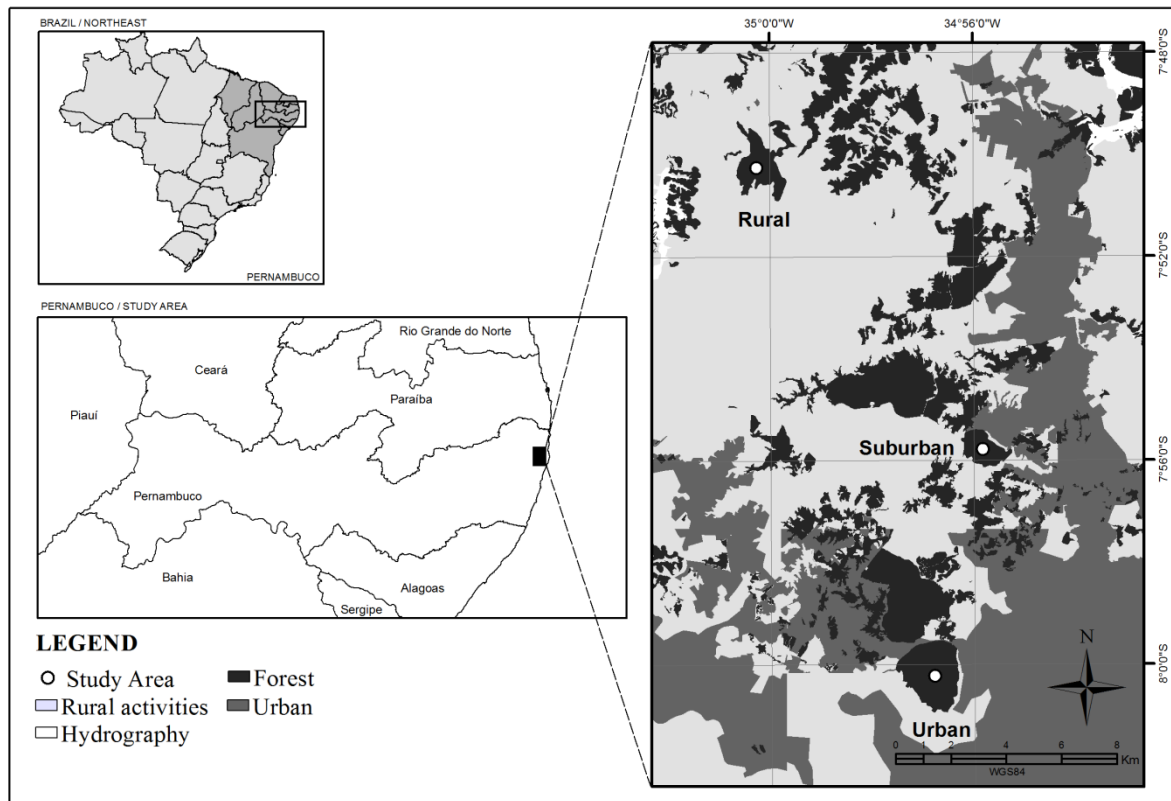


Fig. 1 Localização da área de estudo, com indicação dos remanescentes de floresta tropical Atlântica avaliados (urbano, suburbano e rural) na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

6. CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA REGENERAÇÃO DE PLANTAS LENHOSAS
POR CATEGORIA DE OCUPAÇÃO VERTICAL: AVALIAÇÃO DO EFEITO DE
BORDA EM ÁREAS PROTEGIDAS DE FLORESTA TROPICAL ATLÂNTICA

Artigo a ser enviado para a revista *Biological Conservation*

Influência da urbanização na regeneração de plantas lenhosas por categoria de ocupação vertical: avaliação do efeito de borda em áreas protegidas de floresta tropical Atlântica

Tassiane N. F. Guerra^{a*}, Elcida L. Araújo^b, Everardo V. S. B. Sampaio^c, Nélio D. Silva^d,
Maria de Lourdes A. Gonçalves^d & Elba M. N. Ferraz^d

^a Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, Recife, Brasil;

^b Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, Recife, Brasil;

^c Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Recife, Brasil;

^d Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 500, Recife, Brasil.

*Autora correspondente: novacosque@gmail.com (T.N.F. Guerra)

Resumo

Áreas urbanas ou em processo de urbanização no entorno dos fragmentos florestais induzem uma série de alterações deletérias que podem comprometer a sustentabilidade dos fragmentos florestais. Diante disso, foi avaliado o efeito de borda sobre a regeneração natural das espécies do dossel e do sub-bosque (alto e baixo) de fragmentos de floresta Atlântica com diferentes proporções de áreas urbanas no entorno (urbano, suburbano e rural). Estes estratos foram caracterizados quanto à proporção de indivíduos, à proporção de espécies e à composição florística, na borda e no interior dos fragmentos, em três tamanhos de diâmetro, que foram aqui representados como fases de desenvolvimento das plantas (inicial, intermediária e avançada). O efeito de borda afetou notadamente a proporção de indivíduos na fase inicial e intermediária, sobretudo das espécies do sub-bosque alto. Todavia, este efeito ocorreu de maneira diferenciada a depender do tipo de entorno. A proporção de espécies não apresentou variações significativas, mas a composição florística foi dissimilar especialmente entre a borda e o interior do fragmento com entorno mais urbanizado, tanto para as espécies do dossel como para as do sub-bosque alto. Notável efeito de borda também foi percebido no entorno rural (predominância de atividade canavieira), pois sua influência foi observada na abundância das espécies do dossel na fase inicial e na composição florística da borda e do interior. Com base neste cenário, sugere-se que ações de manejo, conservação e pesquisas devem ser adotadas nos fragmentos circundados por áreas altamente urbanizadas e que atividades agrícolas intensas com uso periódico de fogo, nas bordas dessas florestas devem ser monitoradas e ter seus efeitos avaliados de maneira detalhada. Enfatiza-se a importância em incluir o sub-bosque alto nas avaliações e ações de manejo.

Palavras-chave: Efeito de borda, Fragmentação, Contraste de habitat, Gradiente urbano-rural, Plântulas, Estratos verticais.

1. Introdução

Áreas urbanas ou em processo de urbanização no entorno de fragmentos florestais induzem alterações deletérias que podem comprometer a sustentabilidade desses fragmentos (Mckinney, 2002; McDonald et al., 2008; Williams et al., 2009; Pickett et al., 2011). De maneira geral, configuram-se como áreas de alto contraste com a vegetação da borda (Hamberg et al., 2009) e, por conseguinte, podem aumentar a intensidade de efeito de borda (Ries et al., 2004). Neste cenário, compreender como este efeito influencia a regeneração de espécies é primordial, tanto para fazer previsões quanto ao futuro destas florestas, como para embasar técnicas de restauração e manejo (Grubb, 1977; Finegan, 1996).

Os diferentes estratos verticais da floresta (dossel e sub-bosque), assim como a regeneração de suas espécies, respondem de maneira diferenciada a urbanização. A riqueza do sub-bosque, por exemplo, tende a se correlacionar negativamente com o grau de urbanização do entorno mais fortemente que o dossel, da mesma forma que a riqueza de juvenis e plântulas tende a declinar com o aumento da urbanização (Guntenspergen & Levenson, 1997; Moffatt et al., 2004; Burton et al. 2005; Burton & Samuelson, 2008; Burton et al., 2009; Pennington et al., 2010; Huang et al., 2012; White et al. 2014).

Entre as formações vegetacionais, a floresta Atlântica, que é um dos *hotspot* mundiais para conservação da biodiversidade (Myers et al., 2000), possui abrangência coincidente com a das áreas mais urbanizadas do Brasil (IBGE, 2015) e encontra-se altamente fragmentada (Ribeiro et al., 2009). Apesar disso, o panorama de informações sobre o efeito de borda em fragmentos de floresta Atlântica limita-se a áreas em cujo entorno predominam atividades agropastoris (Tabarelli et al., 2010) e concentra-se nos estratos superiores da floresta.

Enquanto nos estratos superiores da floresta predominam espécies arbóreas que alcançam as maiores alturas e, portanto, compõem o dossel da floresta e o grupo de espécies emergentes, nos estratos inferiores, é possível encontrar espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas cujas alturas máximas não alcançam o dossel e, portanto, compõem o sub-bosque da floresta (Richard, 1996). Além destas espécies, o sub-bosque também abriga indivíduos jovens do dossel e das emergentes (Finol, 1971, Tabarelli et al., 1993).

Com relação aos estratos inferiores, os estudos que avaliaram o efeito de borda na floresta Atlântica, considerando fragmentos com entorno rural, revelaram que em resposta a este efeito a assembleia vegetal apresenta: redução no número de espécies, no número de indivíduos e no recrutamento de novas plantas; aumento da mortalidade e da divergência florística; diminuição no número de espécies regenerantes do dossel e aumento no de

espécies típicas do sub-bosque (Silva et al., 2008; Gomes et al., 2009; Gomes-Westphalen et al., 2012; Santo-Silva et al., 2013; Rabelo et al., 2015; Silva et al., 2015).

Uma das formas de avaliar o processo de regeneração natural da floresta é caracterizar por completo a sua estrutura vertical por meio da identificação da abundância e da composição das espécies (Cook et al., 2015), e da posterior comparação destas características entre estes estratos (Comita et al., 2007; Leyser et al., 2012; Fontes et al., 2015). A partir desta caracterização, é definido tanto o potencial de ocupação vertical de cada espécie como a forma que elas estão se regenerando (Guarigata e Ostertag, 2001; Santos, 2014), já que os diferentes estratos verticais da floresta abrigam plantas de diferentes estádios de desenvolvimento (Benítez-Malvido e Martínez-Ramos, 2003; Bouroncle e Finegan, 2011) e de diferentes formas de vida (Cain, 1950).

Diante disso, foi investigada a hipótese de que em um gradiente urbano-rural (*sensu* McDonnell e Pickett, 1990) a regeneração das plantas lenhosas é mais comprometida na borda de fragmentos de floresta Atlântica com maior quantidade de área urbana no entorno. Para isso, foi avaliada a proporção de indivíduos, a proporção de espécies e a composição florística na borda e no interior de fragmentos com entorno urbano, suburbano e rural nas fases inicial, intermediária e avançada de desenvolvimento.

Esperou-se observar, quando comparada à borda e o interior do fragmento com entorno mais urbanizado, forte redução na proporção de indivíduos e de espécies da borda, assim como maior divergência florística, especialmente na fase inicial e intermediária de desenvolvimento. A avaliação ocorreu por categoria de ocupação vertical (dossel, sub-bosque alto e sub-bosque baixo) da floresta para fornecer um panorama mais completo da influência da urbanização no efeito de borda.

2. Materiais e Métodos

2.1 Áreas de estudo

O trabalho foi conduzido na Região Metropolitana do Recife (RMR), Nordeste do Brasil, em três fragmentos de floresta tropical Atlântica que variam, principalmente, quanto à quantidade de áreas urbanas em seu entorno. Estes fragmentos são classificados como Floresta Ombrófila das Terras Baixas (IBGE, 2012), possuem proteção do governo estadual desde 1987 (unidades de conservação de proteção integral) e fazem parte de um complexo de áreas protegidas na RMR (CPRH, 2013); localizam-se na mesma formação geológica

(Barreiras), possuem o mesmo tipo de relevo, que é caracterizado por tabuleiros (CPRH, 2003), o mesmo tipo de clima As' (quente e úmido), segundo Köppen (Kottek et al., 2006), e pluviosidade média anual entre 1804 mm e 2006 mm (Climate-data, 2015). Desde a década de 60 suas bordas não apresentam modificações perceptíveis em imagens aéreas fornecidas pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM).

Os fragmentos foram caracterizados em função da quantidade de áreas urbanas no entorno em urbano, suburbano e rural. Esta caracterização foi feita por meio do mapeamento e posterior quantificação de ocupações urbanas e rurais da área que vai do limite da floresta até 1 km de distância (*buffer*). O mapeamento foi feito no programa ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009), com resolução de 1:10.000 e tomando como base uma imagem de satélite *Quickbird*, datada de 2006, com alta resolução, cedida pela Agência CONDEPE/FIDEM e Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Foram consideradas como áreas urbanas aquelas com aglomerados residenciais, comerciais ou industriais e áreas sem vegetação (solo exposto) nas proximidades destes aglomerados. Áreas rurais foram consideradas aquelas com predomínio de atividades agropastoris, pequenas vilas e áreas sem vegetação distante dos centros urbanos.

O fragmento urbano (387 ha - 8°00'11"S, 34°56'47"O) possui 47% de áreas urbanas no seu entorno e tem como demais usos do solo do seu entorno chácaras, vilas e áreas com vegetação em diferentes estádios de sucessão secundária. O fragmento suburbano (157 ha - 7°55'47"S, 34°55'47"O) possui 22% de área urbana em seu entorno e tem como demais usos sítios, chácaras, além de pastagens e vegetação em diferentes estádios de sucessão secundária. O fragmento rural (299 ha - 7°50'11"S, 35°00'07"O) possui apenas 1,7% de área urbana em seu entorno e tem como uso predominante no entorno a produção de cana-de-açúcar.

2.2 Coleta de dados

A influência da urbanização do entorno foi avaliada por meio da magnitude do efeito de borda, determinada pela medida na qual um dado parâmetro difere entre a borda e o interior do fragmento florestal (Harper et al., 2005; Ewers e Didham, 2006). Dessa forma, a amostragem da vegetação foi realizada na borda e no interior de cada fragmento florestal, sendo considerado como borda o trecho localizado entre 0 e 100 m a partir do limite florestal, e interior, o trecho localizado a uma distância mínima de 300 m a partir do limite florestal em direção ao centro (Laurance et al., 2002).

Foram instaladas 30 parcelas na borda e 30 no interior de cada fragmento. Dentro das parcelas foram amostradas plantas lenhosas e autossustentantes em três diferentes diâmetros: (i) as com diâmetro ao nível do peito ≥ 5 cm, amostradas em parcelas de 10 x 10 m, estas plantas foram consideradas representantes da fase de desenvolvimento mais avançada; (ii) as com diâmetro ao nível do peito < 5 cm e ao nível do solo ≥ 1 cm, amostradas em parcelas de 5 x 5 m, estas plantas foram consideradas representantes da fase de desenvolvimento intermediária; (iii) e as com diâmetro ao nível do solo < 1 cm e altura ≥ 10 cm, amostradas em parcelas de 2,5 x 2,5 m, foram consideradas como da fase de desenvolvimento inicial. O critério de altura foi adotado no item iii para minimizar problemas na identificação das espécies. E para cada diâmetro foram estabelecidas 10 parcelas na borda e 10 no interior de cada fragmento.

As parcelas de 10 x 10 m se distanciaram uma da outra em 10 m, dessa forma, as parcelas de 5 x 5 m distanciaram-se em 15 m e as de 2,5 x 2,5, distanciaram-se em 17,5 m, já que tanto as de 5 x 5 m como as de 2,5 x 2,5 foram instaladas dentro das parcelas de 10 x 10 m (em um dos vértices).

Na borda, as parcelas foram alinhadas perpendicularmente ao limite da floresta, em dois transectos de cinco parcelas. No fragmento urbano todas as parcelas da borda foram instaladas nas proximidades de áreas urbanas; no fragmento suburbano, metade das parcelas foi instalada nas proximidades de áreas urbanas e outra metade próxima a áreas rurais (sítios e chácaras); e no fragmento rural, todas as parcelas foram instaladas nas proximidades de áreas com plantação de cana-de-açúcar. As parcelas do interior foram alinhadas em dois transectos paralelos de cinco parcelas.

Todas as plantas no interior das parcelas que atenderam aos critérios de inclusão foram identificadas por meio da comparação de material botânico coletado com exsicatas depositadas nos herbários Professor Vasconcelos Sobrinho/UFRPE, Geraldo Mariz/UFPE e Dárdano de Andrade Lima/IPA, com a ajuda de especialistas e de literatura especializada.

Considerando o potencial de ocupação vertical dos indivíduos e a estratificação vertical da floresta, todas as espécies identificadas foram categorizadas em: (i) espécies que atingem o dossel, aquelas com indivíduos acima de 10 m de altura; (ii) espécies que só atingem o sub-bosque alto, aquelas com indivíduos de mais de 4 m de altura, mas que não ultrapassam os 10 m; e (iii) espécies do sub-bosque baixo, aquelas com indivíduos que chegam ao máximo a 4 m de altura. Esta categorização foi adaptada de Gomes-Westphalen et al. (2012). Para enquadrar as espécies nestas categorias foi considerada, além da altura do indivíduo mais alto

de cada espécie nas parcelas amostradas, o registro da altura máxima da espécie obtido das informações do banco de dados dos herbários (disponíveis na Rede *speciesLink* - <http://inct.splink.org.br>) e da literatura especializada, desde que fossem para o mesmo tipo de floresta deste trabalho e em regiões próximas à área de estudo.

As fases de desenvolvimento das plantas podem ser avaliadas de diversas maneiras, dentre elas, por meio da medição de seus tamanhos (Gatsuk et al., 1980). Assim como adotado neste trabalho, outros autores também utilizaram o diâmetro das plantas em analogia às fases de desenvolvimento (Lieberman et al. 1985; Clark e Clark 1992; 1999). Quanto à nomenclatura adotada para as fases de desenvolvimento, cabe salientar que a mesma foi definida como forma de facilitar a apresentação e discussão dos dados e não a fim de determinar o estágio ontogenético das espécies, já que o objetivo deste trabalho foi avaliar a regeneração natural de um conjunto de espécies por categoria de ocupação vertical da floresta. Apesar da nomenclatura adotada estar adequadamente aplicada para espécies do dossel da floresta, algumas espécies que compõem o sub-bosque alto podem não atingir o critério adotado para a fase avançada e as espécies do sub-bosque baixo não atingem esse critério (veja Tabela 1).

2.3 Análise dos dados

Para a avaliação da influência da urbanização no entorno dos fragmentos foram elaboradas tabelas de contingência com a frequência de indivíduos e de espécies e matrizes de presença e ausência das espécies para cada categoria de ocupação vertical (espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo) por fase de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) (Tabela 1).

As tabelas de contingência foram avaliadas pela análise log-linear de tabela de frequência no Statistica (13.0). Inicialmente foi determinado se as variáveis Categoria de ocupação vertical (Oc - espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), Fase de desenvolvimento (Fd – inicial, intermediária e avançada) e Tipo de ambiente (Am - borda e interior) são dependentes ou independentes entre si (nível de interação - *one-way*, *two-way* ou *three-way*) e se há associação significativa entre elas (teste de associações parciais). Em seguida, foi avaliado para cada tipo de entorno um modelo padrão de interação (Oc, Am, Fd, Oc*Am, Oc*Fd e Am*Fd) e realizada análise dos componentes da tabela de frequência (teste da razão de verossimilhança e análise de resíduos padronizados), a fim de verificar quais

proporções mais contribuíam para diferenças entre a borda e o interior e entre as fases de desenvolvimento na borda.

Com as matrizes de presença e ausência das espécies foi realizada Análise Multivariada da Variância Permutacional *one-way* (PERMANOVA – *Permutational Multivariate Analysis of Variance*), calculada no Past 3.09 (Hammer et al., 2001). Esta análise avaliou a similaridade florística de cada categoria de ocupação vertical entre a borda e o interior por fases de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) e entre as fases de desenvolvimento na borda (inicial x intermediária, inicial x avançada e intermediária x avançada). De forma complementar, foi realizada Análise de Similaridade - ANOSIM (*Analysis of Similarities*), calculada no Primer (6.1.6), na modalidade *one-way*, para verificação dos valores do R global. Estes valores variam de 0 a 1 e indicam o grau em que os ambientes diferem, quanto mais perto de um, maior é a dissimilaridade (Clark e Goley 2006). Em ambas as análises foi utilizado o índice de Bray-Curtis como medida de distância e ambas foram realizadas com 10.000 permutações.

3. Resultados

Um total de 193 espécies e 4.481 indivíduos foi identificado, sendo 113 espécies e 3.155 indivíduos categorizados como do dossel, 66 espécies e 965 indivíduos como do sub-bosque alto e 14 espécies e 361 indivíduos do sub-bosque baixo.

3.1 Diferenças na proporção de indivíduos e de espécies

De acordo com a análise log-linear da tabela de proporção de indivíduos em todos os tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) as variáveis analisadas (Ocupação vertical, Tipo de ambiente e Fase de desenvolvimento) interagiram de forma significativa até a segunda ordem (*Three-way*) (Tabela 2). Mas quanto ao número de associações significativas o fragmento urbano e o suburbano apresentaram mais associações que o fragmento rural (Tabela 3).

Para a proporção de espécies, as variáveis não interagiram entre si de forma significativa no fragmento urbano, apenas os efeitos principais apresentaram variações entre os seus níveis (*One-way*) (Tabela 2). Já no fragmento suburbano e no rural, as variáveis interagiram até a primeira ordem (*Two-way*). Quanto às associações, observou-se que apenas

o tipo de ocupação vertical (Oc) e a fase de desenvolvimento (Fd) associam-se nos três fragmentos (Tabela 3).

O modelo avaliado apresentou significância nos três tipos de entorno para proporção de indivíduos (Tabela 4), mas para proporção de espécies, este modelo não foi significativo em nenhum tipo de entorno (Tabela 5). A discriminação dos componentes nos casos significativos revelou que as variações concentram-se no sub-bosque alto, com 64,46%, 54,38% e 70,66% de contribuição às diferenças entre a borda e o interior no urbano, suburbano e rural, respectivamente.

Na avaliação da relação borda-interior verificou-se que as espécies do dossel foram mais afetadas na fase de desenvolvimento inicial e intermediária em todos os tipos de entorno (Tabela 4). Apesar disso, no urbano e no suburbano a fase inicial apresentou aumento da proporção de indivíduos na borda, enquanto no rural, esta fase apresentou redução da proporção de indivíduos na borda.

As espécies do sub-bosque alto também foram mais afetadas na fase inicial em todos os tipos de entorno (Tabela 4). Neste estrato, a borda do urbano e a do suburbano apresentou redução da proporção de indivíduos, enquanto a do rural apresentou aumento. As espécies do sub-bosque baixo foram mais afetadas na fase intermediária, apresentando aumento da proporção de indivíduos na borda do urbano e redução na borda do suburbano e na do rural.

Na avaliação da relação entre as três fases de desenvolvimento na borda, foi observado que, para as espécies do dossel, a principal diferença na borda do fragmento urbano e suburbano foi para menores proporções na fase avançada, enquanto no rural, as menores proporções ocorreram na fase inicial (Tabela 4). Para as espécies do sub-bosque alto, destacou-se na borda do urbano e do suburbano a predominância de indivíduos na fase intermediária, enquanto que na borda do rural ocorreu predominância de indivíduos na fase inicial. E para as do sub-bosque baixo, houve uma tendência na diminuição de indivíduos da fase inicial na borda do urbano, enquanto na borda do suburbano e na do rural esta fase de desenvolvimento foi predominante.

3.2 Similaridades florísticas

Quanto a diferenças entre a borda e o interior, a composição florística do dossel diferiu estatisticamente nos três tipos de entorno para a fase de desenvolvimento inicial e a intermediária, para a fase avançada, as diferenças foram observadas apenas no urbano

(Tabela 6). Na fase inicial o fragmento com entorno suburbano apresentou maior dissimilaridade florística ($R = 0,44$), seguido do urbano ($R = 0,22$) e, por último, do rural ($R = 0,20$), enquanto na fase intermediária a maior dissimilaridade foi observada no urbano ($R = 0,47$), seguido do rural ($R = 0,46$) e por último no suburbano ($R = 0,32$).

A composição florística do sub-bosque alto diferiu estatisticamente entre a borda e o interior na fase inicial apenas no fragmento entorno urbano ($R = 0,38$) e na fase intermediária no urbano ($R = 0,53$) e no rural ($R = 0,55$). E a composição florística do sub-bosque baixo não apresentou dissimilaridade estatística entre a borda e o interior para nenhum dos tipos de entorno avaliados.

Quanto a diferenças entre as fases de desenvolvimento na borda, as composições florísticas do dossel e do sub-bosque alto diferiram em todos os tipos de entorno, enquanto a do sub-bosque baixo não diferiu para nenhuma situação (Tabela 7). Maiores dissimilaridades florísticas para as espécies do dossel foram encontradas no fragmento urbano, especialmente entre a fase inicial e a avançada, e para as espécies do sub-bosque alto, no suburbano, entre a fase intermediária e a avançada, e no urbano, entre a inicial e a intermediária.

4. Discussão

4.1 Diferenças na proporção de indivíduos e de espécies

A previsão de que maiores alterações na proporção de indivíduos e de espécies ocorreriam na borda com maior grau de urbanização do entorno foi confirmada para proporção de indivíduos, uma vez que as bordas com entorno urbano e suburbano apresentaram mais interações significativas entre as variáveis analisadas (tipo de ocupação vertical, tipo de ambiente e fase de desenvolvimento) que a borda com entorno rural. Apesar disso, a borda do fragmento com entorno rural também foi influenciada pelo efeito de borda em diversas situações, embora, na maioria dos casos, esta influência foi percebida de maneira diferenciada da observada no entorno urbano e suburbano.

Ainda conforme previsto, o efeito de borda foi observado mais fortemente na fase inicial e intermediária de desenvolvimento, causando, na borda do urbano e do suburbano, aumento na proporção de indivíduos das espécies do dossel e redução das do sub-bosque alto, e na borda do rural, comportamento contrário, com a redução da proporção de indivíduos nas espécies do dossel e aumento nas do sub-bosque alto. Corroborando estes resultados, a comparação entre as fases de desenvolvimento na borda, revelou que na fase inicial de

desenvolvimento, a proporção de indivíduos das espécies do dossel no fragmento rural e a das espécies do sub-bosque alto, no urbano e no suburbano, também foram reduzidas.

Diferentes respostas das espécies do dossel e do sub-bosque ao gradiente de urbanização também foram relatadas por Moffatt et al. (2004), Burton e Samuelson (2008), Pennington et al. (2010) e Huang et al. (2012) ao observarem que o sub-bosque apresentou respostas mais expressivas que o dossel nas áreas com entorno mais urbanizado. No entanto, esses trabalhos, não avaliaram estes estratos em diferentes fases de desenvolvimento e não consideraram o tipo de atividade desenvolvida na área rural.

A fase de desenvolvimento inicial e a intermediária representam as etapas mais críticas no ciclo de vida das plantas (Larson et al., 2015), por serem mais sensíveis a perturbações, podem refletir, em parte, as condições bióticas e abióticas atuais (Pennington et al., 2010; Santo-Silva et al., 2013). O tipo de uso do solo predominante no entorno do fragmento rural (cana-de-açúcar) faz uso de fogo para a colheita e de fertilizantes e pesticidas durante o cultivo em ciclos periódicos que variam entre 12 e 18 meses (Fischer et al., 2008), enquanto a urbanização existente no entorno do fragmento urbano encontra-se consolidada há alguns anos. Esta diferença na dinâmica dos tipos de entorno pode ter sido percebida na resposta diferenciada da regeneração das espécies de cada categoria de ocupação vertical da floresta.

Enquanto o comprometimento da regeneração das espécies que compõem o dossel da floresta na borda do fragmento com entorno rural parece estar relacionado com a maior dinâmica imposta pela atividade agrícola predominante no entorno, o comprometimento da regeneração das espécies do sub-bosque alto na borda com entorno urbanizado parece estar relacionado com a estratégia de regeneração adotada pelas espécies quanto à necessidade de luz para germinação e estabelecimento de suas plântulas: tolerantes e intolerantes à sombra (Swaine e Whitmore, 1988). Um estudo no mesmo gradiente urbano-rural avaliado neste trabalho observou apenas para a borda com entorno mais urbanizado, redução na proporção de indivíduos e espécies tolerantes à sombra do componente arbóreo, que inclui tanto espécies do dossel quanto as do sub-bosque alto (no prelo).

Cabe destacar que quando considerada a porcentagem de contribuição de cada categoria de ocupação vertical ao modelo avaliado, o sub-bosque alto foi a categoria que teve a abundância mais influenciada em todos os tipos de entorno. O sub-bosque alto ocupa a porção intermediária da floresta, com espécies que não alcançam o dossel, e muitas vezes, é negligenciado nos estudos, já que alguns autores não o consideram como componente importante na avaliação da regeneração vertical da floresta (Finol, 1971). Neste estudo foi

possível observar que o sub-bosque alto, além da alta efetividade em termos de respostas quanto ao impacto do entorno na sua regeneração, este estrato apresenta, na fase inicial de desenvolvimento, considerável representatividade de regenerantes, tanto em termos de riqueza quanto em abundância (ex. 33% das espécies e 51% de indivíduos na borda do fragmento rural).

Ao contrário do observado com a proporção de indivíduos, a proporção de espécies no urbano apresentou influência apenas das variáveis principais isoladamente. Apesar dos modelos não terem sido significativos, os resultados indicaram as mesmas variações observadas para proporção de indivíduos, assim, a discussão aqui apresentada pode, até certo ponto, ser considerada para alterações na riqueza.

4.2 Similaridades florísticas

O maior grau de urbanização no entorno parece influenciar uma maior dissimilaridade entre borda e interior tanto para as espécies do dossel, especialmente na fase de desenvolvimento avançada, como para as espécies do sub-bosque alto, especialmente na fase de desenvolvimento inicial. Nas demais situações, o entorno mais urbanizado e o entorno rural parecem influenciar da mesma maneira, exceto para a composição florística do dossel na fase inicial, que apresentou alta dissimilaridade entre a borda e o interior no entorno suburbano. As espécies do sub-bosque baixo não apresentaram distinção.

A composição florística do dossel está relacionada a fatores ambientais e bióticos de períodos sucessionais mais antigos (Gonzaga et al., 2013; Metzger et al., 2009), como foi observado que o entorno mais urbanizado induziu diferenças florísticas para as espécies deste estrato que se encontram na fase de desenvolvimento avançada, há indicações de que mudanças mais abruptas no entorno, como as que ocorreram durante a formação da borda ou até mesmo durante o aumento da quantidade de área urbanizada no entorno, ainda podem ser percebidas atualmente. Da mesma forma, alterações na composição florística do sub-bosque, especialmente, nas fases iniciais de desenvolvimento, também podem ser reflexo de distúrbios mais recentes.

No caso da maior influência do entorno suburbano na alta divergência florística da fase inicial de desenvolvimento para as espécies do dossel, pondera-se que por conta do maior número de indivíduos e de espécies na borda em comparação com o interior deste fragmento, assim como o observado em estudos anteriores (no prelo e dados não publicados), este resultado ocorreu em consequência da maior heterogeneidade de habitats no entorno deste

fragmento (Poorter et al., 2001) e, especialmente, por serem considerados habitats de baixo contraste com a borda (Ries et al., 2004).

Quanto às espécies do sub-bosque baixo, contrariamente ao observado, esperava-se que esta categoria de ocupação fosse prejudicada pelo aumento de luminosidade e temperatura na borda, já que estas tendem a ser tolerantes à sombra. Uma das causas deste resultado pode estar relacionada com o baixo número de espécies desta categoria de ocupação vertical (Gomes-Westphalen et al., 2012) ou com o fato de serem espécies generalistas.

Do ponto de vista florístico, o cenário ideal para regeneração natural sem comprometimentos, é composto por alta similaridade de espécies entre as diferentes fases de desenvolvimento, em garantia de que determinada espécie estaria mantendo sua população por possuir indivíduos de diferentes idades (Runkle, 1981). Nas situações com maior comprometimento da regeneração, espera-se observar menor similaridade entre as fases de desenvolvimento avançada e inicial, como indicativo de que pode estar ocorrendo problemas nos processos ecológicos que envolvem reprodução, dispersão, germinação, estabelecimento e até mesmo crescimento (Guarigata e Ostertag, 2001; Chazdon et al., 2010). Neste sentido, os resultados obtidos revelaram que as espécies do dossel, na borda com entorno mais urbanizado, possuem maior comprometimento na regeneração, já que este estrato apresentou maiores dissimilaridades não só entre a fase avançada e inicial, mas entre todas as fases de desenvolvimento. O entorno rural apresentou altas dissimilaridades para o sub-bosque alto entre as fases avançada e intermediária, e entre avançada e inicial. Corroborando resultados anteriores, o entorno suburbano apresentou, na maioria das situações, menor discrepância florística entre as fases de desenvolvimento.

5. Conclusões

A regeneração das espécies do dossel e do sub-bosque de fragmentos de floresta Tropical Atlântica é influenciada pelo efeito de borda ao longo de um gradiente urbano-rural de uso da terra. Esta influência é percebida para proporção de indivíduos e para composição florística, especialmente na fase inicial e intermediária de desenvolvimento. Todavia, as alterações ocorrem de maneira diferenciada a depender do tipo de entorno: urbano, suburbano e rural.

Nas bordas com entorno mais urbanizado as espécies do sub-bosque alto (àquelas que não alcançam o dossel, mas que ultrapassam 4 m de altura) têm regeneração mais afetada, em termos de abundância de indivíduos, enquanto na borda com entorno rural, esse

comprometimento é observado para as espécies regenerantes do dossel. Em termos de composição florística, a influência do alto grau de urbanização no entorno é ainda mais evidente, principalmente na fase inicial de desenvolvimento, tanto para o dossel como para o sub-bosque alto. Na fase intermediária, o entorno rural também exerce bastante influência nas dissimilaridades florísticas entre a borda e o interior.

Com base neste cenário conclui-se que o alto grau de urbanização no entorno compromete a regeneração de espécies na borda dos fragmentos florestais, assim como atividades agrícolas intensas. Dessa maneira, ações de manejo devem ser implementadas prioritariamente em áreas com estes tipos de entorno, o planejamento e gestão de áreas para conservação devem considerar a vulnerabilidade de fragmentos que se encontram ou poderão encontrar-se sob este impacto, e atividades agrícolas intensas nas bordas dessas florestas devem ser monitoradas e ter seus efeitos avaliados de maneira detalhada. A efetiva resposta do sub-bosque alto, que ocupa a porção intermediária na estratificação vertical da floresta, bem como sua alta representatividade, em alguns casos superior a 50% em termos de abundância de indivíduos, enfatiza a importância de incluir este estrato nas avaliações e ações de manejo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal e ao Instituto Federal de Pernambuco pelo suporte logístico e financeiro; aos proprietários e gestores das unidades de conservação pela autorização para execução da pesquisa (Refúgio de Vida Silvestre Mata da Usina São José - grupo Cavalcanti Petribu, Estação Ecológica de Caetés – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco e Parque Estadual de Dois Irmãos – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade); à Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco pela liberação da servidora, primeira autora, para realização do trabalho; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de produtividade concedidas. Agradecimento especial a Marcos Chagas pelo apoio durante as atividades de campo.

Referências

Benítez-Malvido, J., Martínez-Ramos M., 2003. Impact of forest fragmentation on understory plant species richness in Amazonia. *Conservation Biology* 17, 389–400.

- Bouroncle, C., Finegan, B., 2011. Tree regeneration and understory woody plants show diverse responses to forest–pasture edges in Costa Rica. *Biotropica* 43, 562–571.
- Burton, M.L., Samuelson, L.J., Pan, S., 2005. Riparian woody plant diversity and forest structure along an urban-rural gradient. *Urban Ecosystems* 8, 93–106.
- Burton, M.L., Samuelson, L.J., 2008. Influence of urbanization on riparian forest diversity and structure in the Georgia Piedmont US. *Plant Ecology* 195, 99–115.
- Burton, M.L., Samuelson, L.J., Mackenzie, M.D., 2009. Riparian woody plant traits across an urban–rural land use gradient and implications for watershed function with urbanization. *Landscape and Urban Planning* 90, 42–55.
- Cain, S.A., 1950. Life forms and phytoclimate. *Botanical Review* 16, 1-32.
- Climate-Data, 2015. Dados climáticos para cidades. <http://ptclimate-dataorg/>. Accessed 6 April 2015
- Clark, D.A., Clark D.B. 1992. Life history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs* 62, 315-344.
- Clark, D.A., Clark D.B. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: Issues for forest modeling and management. *Ecological Applications* 9, 981-997.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2006. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Chazdon, R.L., Finegan, B., Capers, R.S., Salgado-Negret, B., Casanoves, F., Boukili V., Norden, N., 2010. Composition and dynamics of functional groups of trees during tropical forest succession in Northeastern Costa Rica. *Biotropica* 1: 31-40.
- Comita, L.S., Aguilar, S., Perez, R., Lao, S., Hubbell, S.P., 2007. Patterns of woody plant species abundance and diversity in the seedling layer of a tropical forest. *Journal of Vegetation Science* 18, 163–174.
- Cook, J.E., 2015. Structural effects on understory attributes in second-growth forests of northern Wisconsin, USA. *Forest Ecology and Management* 347, 188–199.

CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, 2003. Diagnóstico socioambiental do litoral norte de Pernambuco. CPRH, Recife, Brazil.

CPRH, Agência Estadual De Meio Ambiente, 2013. Unidades de Conservação Estaduais. http://www.cprh.pe.gov.br/Unidades_de_Conservacao/descricao_das_unidades/41788%3B48981%3B5001%3B0%3B0.asp. Accessed 10 May 2013

ESRI, Environmental Systems Research Institute (2009) ArcGis Professional GIS for the desktop version 93. ESRI, Redlands

Ewers, R.M., Didham, R.K., 2006. Continuous response functions for quantifying the strength of edge effects. *Journal of Applied Ecology* 43, 527–536.

Finegan B., 1996. Pattern and process neotropicals secondary the first 100 years of rain. *Tree* 1, 119-124.

Finol, H.U., 1971. Nuevos parametros a considerarse en el analisis structural de las selvas virgenes tropicales. *Revista Forestal Venezuelana* 14, 29-42.

Fontes, C.G., Walter, B.M.T., Pinto, J.R.R., Damasco, G., 2015. Species turnover across different life stages from seedlings to canopy trees in swamp forests of central Brazil. *International Journal of Ecology*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/124851>

Gatsuk, L.E., Smirnova, O. V., Vorontzova, L. I., Zaugolnova L. B., Ztiukova L. A. 1980. Age states of plants of various growth forms: a review. *Journal of Ecology* 68, 675-696.

Guntenspergen, G. R., Levenson, J. B., 1997. Understory plant species composition in remnant stands along an urban-to-rural land-use gradient. *Urban Ecosystems* 1, 155–169.

Gomes, J.S., Lins-e-Silva, A.C.B., Rodal, M.J.N., Silva, H.C.H., 2009. Estrutura do sub-bosque lenhoso em ambientes de borda e interior de dois fragmentos de floresta atlântica em Igarassu, Pernambuco, Brasil. *Rodriguésia* 60, 295-310.

Gomes-Westphalen, J.S., Lins-e-Silva, A.C.B., Araújo, F.S., 2012. Who is who in the understory: the contribution of resident and transitory groups of species to plant richness in forest assemblages. *Revista Biologia Tropical* 60, 1025-1040.

Gonzaga, A. P. D., Pinto, J. R. R., Machado, E. L. M. & Felfili, J. M. 2013. Similaridade florística entre estratos da vegetação em quatro Florestas Estacionais Deciduais na bacia do Rio São Francisco. *Rodriguésia* 1, 011-019.

Grubb, P.J., 1977. The maintenance of species richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biological Reviews* 52, 107–145.

Guariguata, M.R., Ostertag, R., 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148, 185–206.

Hamberg, L., Lehvavirta S., Kotze, D.J., 2009. Forest edge structure as a shaping factor of understorey vegetation in urban forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 257, 712–722.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: Paleontological statistics software packages for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4, 9 pp.

Harper, K.A., Macdonald, E., Burton, P.J., Chen, J., Brososke, K.D., Saunders, S.C., Euskirchen, E.S., Roberts, D., Jaiteh, M.S., Essen, P., 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19, 768-782.

Huang, L., Chen, H., Ren, H., Wang, J., Guo, Q., 2012. Effect of urbanization on the structure and functional traits of remnant subtropical evergreen broad-leaved forests in South China. *Environmental Monitoring and Assessment* 185, 5003-5018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1. 2ª edição, Rio de Janeiro, Brazil.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil.

Fischer G, Teixeira E, Hizsnyik ET, van Velthuisen H (2008) Land use dynamics and sugarcane production. In: Zuurbier P, van Vooren J (eds) *Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment*. Wageningen Academic Publishers, Netherlands, pp 29-62.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259-263.

- Larson, J. E., Sheley, R. L., Hardegree, S. P., Doescher, P.S., James, J. J., 2015. Seed and seedling traits affecting critical life stage transitions and recruitment outcomes in dryland grasses. *Journal of Applied Ecology* 52:199–209.
- Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., Gascon, C., Bierregaard, R.O., Laurance, S.G., Sampaio, E., 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology* 3, 605-618.
- Leyser, G., Zanin, E.M., Budke, J.C., Mélo, M.A., Henke-Oliveira, C., 2012. Regeneração de espécies arbóreas e relações com componente adulto em uma floresta estacional no vale do rio Uruguai, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 26, 74–83.
- Liebreman, D., Lieberman, M., Hartshorn, G., Peralta, R. 1985. Growth rates and age-size related relationships of Tropical Wet forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* 1, 97-109.
- Mcdonnell, M.J., Pickett, S.T.A., 1990. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology* 71, 1232-1237.
- Mckinney, M.L., 2002. Urbanization, biodiversity, and conservation. *Bioscience* 52, 883-890.
- Mcdonald, R.I., Kareiva, P., Forman, R.T.T., 2008. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation* 141, 1965-1703.
- Metzger, J.P., Martensen, A.C., Dixo, M., Bernacci, L.C. et al. 2009. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. *Biological Conservation* 142, 1166–1177.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858.
- Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Grove, J.M., Nilon, C.H., Pouyat, R.V., Zipperer, W.C., Costanza, R., 2011. Urban ecological systems: scientific foundations and a decade of progress. *Journal of Environmental Management* 92, 331-362.
- Moffatt, S.F., Mclachlan, S.M., Kenkel, N.C., 2004. Impacts of land use on riparian forest along an urban–rural gradient in southern Manitoba. *Plant Ecology* 174, 119–135.

- Pennington, D.N., Hansel, J.R., Gorchoy, D.L., 2010. Urbanization and riparian forest woody communities: Diversity, composition and structure within a metropolitan landscape. *Biological Conservation* 143,182–194.
- Porter, E.E., Forschner, B.R., Blair, R.B., 2001. Woody vegetation and canopy fragmentation along a forest-to-urban gradient. *Urban Ecosystems* 5, 131–151.
- Rabelo, F.R.C, Rodal, M.J.N., Lins-e-Silva, A.C.B., Lima, A.L.A., 2015. Dinâmica da vegetação em um fragmento de mata atlântica no nordeste do Brasil. *Ciência Florestal* 25, 23-36.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J., Hirota, M. M., 2009. The Brazilian Atlantic forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142, 1141–1153.
- Richard, P.W., 1996. *The tropical rain forest: an ecological study*. 2ª Ed. University Press, Cambridge. 575p.
- Ries, L., Fletcher, Jr. R. J., Battin, J. & Sisk, T. D. 2004. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, Models, and Variability Explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35, 491–522.
- Ries, L.& Sisk, T. D. 2004. A predictive model of edge effects. *Ecology*, v. 85, n. 11, p. 2917-2926.
- Runkle, J. R. 1981. Gap regeneration in some old-growth forests of the Eastern United States. *Ecology* 62, 1041-1051.
- Santos, E. G., 2014. Comparação da composição e estrutura dos estratos arbóreo e regenerante em um fragmento de floresta atlântica. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife.
- Santo-Silva, E.E., Almeida, W.R., Melo, F.P. L., Zickel, C.S., Tabarelli, M., 2013. The Nature of Seedling Assemblages in a Fragmented Tropical Landscape: Implications for Forest Regeneration. *Biotropica* 45, 386–394.
- Swaine, M. D. & Whitmore, T. C., 1988. On the definition of ecological species groups. *Vegetation* 75, 81-86.

Silva, A.G., Silva, I.M.M.S., Rodal, M.J.N., Lins-e-Silva, A.C.B., 2008. Influence of edge and topography on the canopy and sub-canopy structure of an Atlantic Forest fragment in Igarassu, Pernambuco State, Brazil. *Bioremediation, Biodiversity & Bioavailability* 2, 41-46.

Silva, M.A.M, Alencar, P.G.A.M, Guerra, T.N.F., Melo, A.L., Lins-e-Silva, A.C.B., Rodal, M.J.N., 2015. Edge effects on the structure and dynamics of an Atlantic Forest fragment in northeastern Brazil. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 10, 538-543.

Tabarelli, M., Villani, J.P., Mantovani, W., 1993. Aspectos da sucessão da secundária em floresta atlântica no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. *Revista do Instituto Florestal* 5, 99-112.

Tabarelli, M., Venceslau, A.A., Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Peres, C.A., 2010. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation* 143, 2328–2340.

White, R.J., Carreiro, M.M., Zipperer, W.C., 2014. Woody plant communities along urban, suburban, and rural streams in Louisville, Kentucky, USA. *Urban Ecosystems* 17, 1061–1094.

Williams, N.S.G., Schwartz, M.W., Vesk, P.A., McCarthy, M.A., Hahs, A.K., et al., 2009. A conceptual framework for predicting the effects of urban environments on floras. *Journal of Ecology* 97, 4–9.

Tabela 1. Variáveis utilizadas para avaliação da influência da urbanização do entorno sobre a regeneração de espécies em fragmentos de floresta tropical Atlântica na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Tipo de entorno	Ambiente	Fase de desenvolvimento	Categoria de ocupação vertical
1. Urbano (47% de áreas urbanas no entorno)	1. Borda (0-100 m do limite da floresta)	1. Inicial (DNS < 1 cm e H ≥ 10 cm)	1. Dossel (H > 10 m)
2. Suburbano (22% de áreas urbanas no entorno)	2. Interior (Mais de 300 m do limite da floresta)	2. Intermediária (DNS ≥ 1 cm e DAP < 5 cm)	2. Sub-bosque alto (4 m > H ≥ 10 m)
3. Rural (1,7% de áreas urbanas no entorno)		3. Avançada (DAP < 5 cm)	3. Sub-bosque baixo (H ≤ 4 m)

DNS – Diâmetro ao nível do solo, DAP – Diâmetro ao nível do peito, H – Altura.

Tabela 2. Resultado da avaliação dos níveis de interação entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (borda e interior) e fase de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) coletadas em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. (Testes simultâneos de que todas as interações que envolvem k variáveis são nulas).

Tipo de entorno/ Nível de interação	GL	Proporção de indivíduos		Proporção de espécies	
		Max. veros. ¹	P-value	Max. veros. ¹	P-value
Urbano					
1	5	2128,19	0,00	213,76	0,00
2	8	69,76	0,00	13,96	0,08
3	4	30,17	0,00	4,20	0,38
Suburbano					
1	5	566,90	0,00	206,41	0,00
2	8	651,21	0,00	21,86	0,01
3	4	68,30	0,00	7,09	0,13
Rural					
1	5	1508,17	0,00	273,09	0,00
2	8	75,02	0,00	21,75	0,01
3	4	87,95	0,00	3,43	0,49

¹ Max. Veros. = Máxima verossimilhança.

Tabela 3. Resultado do teste de associação parcial entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (borda e interior) e fase de desenvolvimento (Fase de des. - inicial, intermediária e avançada) coletadas em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Tipo de entorno/ Variáveis	GL	Proporção de indivíduos		Proporção de espécies	
		Ass. ¹ Parcial	P-value	Ass. ¹ Parcial	P-value
Urbano					
Ocupação vertical	2	1717,99	0,00	195,59	0,00
Ambiente	1	5,26	0,02	1,13	0,29
Fase de desenvolvimento (Fd)	2	404,94	0,00	17,04	0,00
Ocupação*Ambiente	2	22,75	0,00	2,33	0,31
Ocupação*Fd	4	32,68	0,00	10,23	0,04
Fd*Ambiente	2	12,09	0,00	1,80	0,41
Suburbano					
Ocupação vertical	2	327,92	0,00	203,59	0,00
Ambiente	1	31,49	0,00	0,12	0,73
Fase de desenvolvimento (Fd)	2	207,49	0,00	2,70	0,26
Ocupação*Ambiente	2	165,52	0,00	2,20	0,33
Ocupação*Fd	4	443,44	0,00	18,06	0,00
Fd*Ambiente	2	19,08	0,00	1,30	0,52
Rural					
Ocupação vertical	2	1262,62	0,00	251,40	0,00
Ambiente	1	33,10	0,00	2,96	0,09
Fase de desenvolvimento (Fd)	2	212,45	0,00	18,74	0,00
Ocupação*Ambiente	2	5,00	0,08	0,40	0,82
Ocupação*Fd	4	57,18	0,00	16,96	0,00
Fd*Ambiente	2	15,57	0,00	3,24	0,20

¹ Ass. = Associação.

Tabela 4. Proporção de indivíduos e análise log-linear de tabela de frequência, avaliando modelos com associações entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (Oc - espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (Am - borda e interior) e fase de desenvolvimento (Fd – inicial, intermediária e avançada) em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Modelo: (Oc+Fd+Am+Oc*Am+Oc* Fd+Fd*Am)	Urbano			Suburbano			Rural		
	X ²	GL	p	X ²	GL	p	X ²	GL	p
	30,17	4	0,000	68,30	4	0,000	87,95	4	0,000
	Borda	Interior	Total	Borda	Interior	Total	Borda	Interior	Total
Dossel			21,27			11,51			28,57
Avançada	11,50	17,02	0,95	24,94	34,82	4,42	35,60	28,67	0,16
Intermediária	41,37	46,86	51,76	36,02	30,63	37,49	50,35*	48,93	30,59
Inicial	47,13*	36,12*	47,30	39,04	34,55	58,09	14,05*	22,40*	69,24
SB Alto			64,46			54,38			70,66
Avançada	4,70	9,50	1,51	13,56	10,69	7,83	18,37	11,70	0,40
Intermediária	71,18*	49,00	38,38	71,19*	30,19*	28,47	34,69*	81,87*	31,32
Inicial	24,12*	41,50*	60,11	15,25*	59,12*	63,71	46,94*	6,43*	68,28
SB Baixo			14,27			34,11			0,77
Avançada	0,00	0,00	10,63	0,00	0,00	3,37	0,00	0,00	7,43
Intermediária	60,71	0,00	58,33	0,37*	14,71*	92,43	33,33	60,00	54,54
Inicial	39,29	100,00	31,04	99,63	85,29	4,20	66,67	40,00	38,03

Notas:

- Valores em negrito referem-se à contribuição total ao modelo;
- Asteriscos referem-se a valores significativos $\leq 0,05$ (resíduos padronizados $\geq 1,96$ ou $\leq -1,96$);
- SB = Sub-bosque.

Tabela 5. Proporção de espécies e análise log-linear de tabela de frequência de espécies, avaliando modelos com associações entre as variáveis: categoria de ocupação vertical (Oc - espécies do dossel, do sub-bosque alto e do sub-bosque baixo), tipo de ambiente (Am - borda e interior) e fase de desenvolvimento (Fd - inicial, intermediária e avançada) em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

Modelo: (Oc+Fd+Am+Oc*Am+Oc *Fd+Fd*Am)	Urbano			Suburbano			Rural		
	X ²	GL	p	X ²	GL	p	X ²	GL	p
	4,20	4	0,380	7,09	4	0,131	3,43	4	0,488
	Borda	Interior	Total	Borda	Interior	Total	Borda	Interior	Total
Dossel			25,20			17,54			33,66
Avançada	26,67	32,35	0,44	45,05	51,11	22,92	46,49	35,38	1,48
Intermediária	42,22	40,20	37,15	37,36	32,22	5,11	36,84	40,00	25,39
Inicial	31,11	27,45	62,42	31,87	27,78	71,98	16,67	24,62	73,12
SB Alto			32,56			73,13			54,99
Avançada	18,18	20,93	2,60	32,26	20,00	23,21	26,47	22,22	5,21
Intermediária	66,67	48,84	20,92	54,84	37,14	7,38	41,18	57,78	21,44
Inicial	15,15	30,23	76,48	12,90	42,86	69,40	32,35	20,00	73,35
SB Baixo			42,24			9,33			11,35
Avançada	0,00	0,00	2,93	0,00	0,00	21,02	0,00	0,00	2,34
Intermediária	57,14	0,00	68,92	25,00	40,00	58,81	40,00	60,00	51,78
Inicial	42,86	100,00	28,15	75,00	60,00	20,17	60,00	40,00	45,88

Notas:

- Valores em negrito referem-se à contribuição total ao modelo;
- Asteriscos referem-se a valores significativos $\leq 0,05$ (resíduos padronizados $\geq 1,96$ ou $\leq -1,96$);
- SB = Sub-bosque.

Tabela 6. Dissimilaridade florística das espécies do dossel, do alto e do baixo sub-bosque entre a borda e o interior por fase de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) em fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Valores de F e p* (*Bonferroni corrected value*) fornecidos pela PERMANOVA e do R** (R global) fornecido pela ANOSIM.

Ocupação vertical	Tipo do entorno	Inicial			Intermediária			Avançada		
		F	p*	R**	F	p*	R**	F	p*	R**
Dossel										
	Urbano	3,40	0,04	0,24	4,97	0,00	0,47	3,37	0,03	0,33
	Suburbano	4,70	0,00	0,44	3,85	0,00	0,32	2,11	0,18	0,21
	Rural	2,37	0,02	0,20	4,00	0,00	0,46	2,24	0,11	0,19
SB Alto										
	Urbano	5,52	0,00	0,38	5,74	0,00	0,53	2,46	0,61	0,13
	Suburbano	2,86	0,54	0,20	1,39	1,00	0,05	1,44	1,00	0,07
	Rural	1,47	1,00	0,06	6,00	0,00	0,55	2,31	0,13	0,17
SB Baixo										
	Urbano	0,57	1,00	0,00	4,22	1,00	0,10	-	-	-
	Suburbano	1,17	1,00	0,04	1,39	1,00	-0,02	-	-	-
	Rural	1,62	1,00	0,03	2,73	0,50	0,08	-	-	-

Notas:

- Valores significativos ($\alpha \leq 0,05$) em negrito.
- SB = Sub-bosque.

Tabela 7. Dissimilaridade florística das espécies do dossel, do alto e do baixo sub-bosque entre fases de desenvolvimento (inicial, intermediária e avançada) na borda de fragmentos de floresta tropical Atlântica com entorno urbano, suburbano e rural na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Valores de F e p* (*Bonferroni corrected value*) fornecidos pela PERMANOVA e do R** (R global) fornecido pela ANOSIM.

Ocupação vertical	Tipo do entorno	Inicial x Intermediária			Inicial x Avançada			Intermediária x Avançada		
		F	p*	R	F	p*	R	F	p*	R
Dossel										
	Urbano	3,40	0,00	0,19	5,52	0,00	0,45	7,69	0,00	0,39
	Suburbano	3,92	0,00	0,04	7,46	0,00	0,10	6,69	0,00	0,04
	Rural	4,00	0,00	0,06	3,94	0,00	0,13	4,62	0,00	0,16
SB Alto										
	Urbano	4,17	0,00	0,26	4,96	0,00	0,11	5,45	0,00	0,19
	Suburbano	4,41	0,00	0,09	5,78	0,00	0,06	4,40	0,00	0,27
	Rural	4,36	0,00	0,17	4,23	0,00	0,13	3,61	0,00	0,22
SB Baixo										
	Urbano	0,77	0,51	0,01	-	-	-	-	-	-
	Suburbano	0,89	0,46	0,22	-	-	-	-	-	-
	Rural	2,21	0,09	0,08	-	-	-	-	-	-

Notas:

- Valores significativos ($\alpha \leq 0,05$) em negrito;
- SB = Sub-bosque.

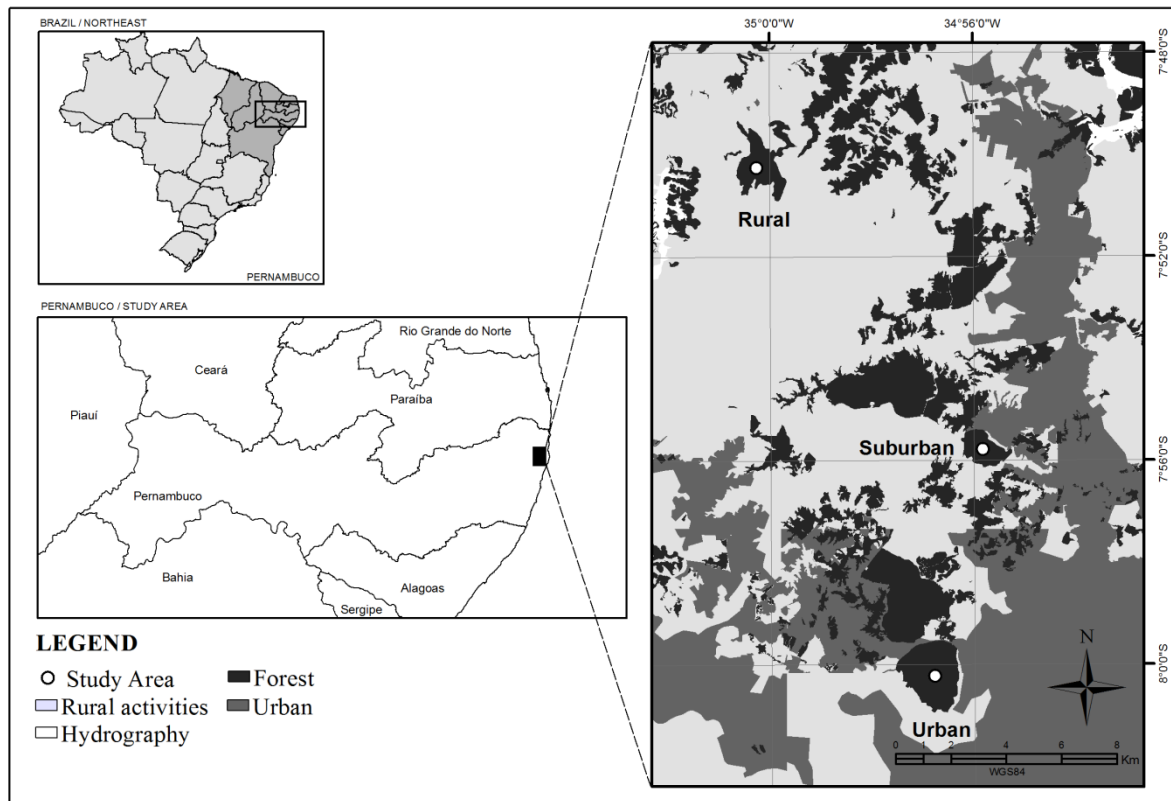


Figura 1. Localização da área de estudo com indicação dos fragmentos florestais avaliados e seus tipos de entorno (urbano, suburbano e rural) na Região Metropolitana do Recife, Brasil.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades humanas transformam o uso da terra para diversos fins, resultando na fragmentação e destruição de habitats naturais em todo o globo. Os ecossistemas remanescentes são expostos a uma série de alterações, sendo parte destas influenciada pelo tipo de uso do solo adjacente ou até mesmo predominante na paisagem. Diante das altas projeções de aumento da população urbana e da crescente preocupação dos efeitos deletérios das áreas urbanas sobre a conservação da biodiversidade, este trabalho analisou a influência da urbanização no efeito de borda sobre a vegetação lenhosa de remanescentes protegidos de floresta tropical Atlântica em uma região metropolitana.

Com os resultados observados nesta tese foi possível apresentar um importante panorama de alterações que até o momento era inexistente para a floresta Tropical Atlântica, já que estudos em gradientes urbano-rurais são praticamente inexistentes para este tipo de floresta. Observou-se que o tipo de entorno (urbano, suburbano e rural) do remanescente influencia o efeito de borda de maneira diferenciada. De maneira geral, uma maior quantidade de área urbana no entorno dos remanescentes induz um efeito de borda mais intenso sobre a vegetação nas três perspectivas analisadas: diversidade de espécies, respostas funcionais das plantas e regeneração.

A avaliação da diversidade de espécies no gradiente urbano-rural evidenciou os efeitos deletérios da urbanização do entorno, já que foi observado maior empobrecimento em riqueza e diversidade de espécies nas bordas dos remanescentes com entorno mais urbanizado, assim como a maior divergência florística entre a borda e o interior. Sabe-se que a manutenção de uma alta riqueza e diversidade de espécies aumenta a probabilidade de que processos ecológicos importantes para sustentabilidade dos ecossistemas sejam garantidos. Com a redução destes parâmetros estas áreas tornam-se mais vulneráveis.

Por meio da avaliação das respostas funcionais foi possível identificar quais grupos funcionais mais sofrem com a urbanização do entorno do remanescente: espécies com sementes grandes, que alcançam maiores alturas, são dispersas por animais e possuem tolerância à sombra. Estes grupos de espécies são comuns em áreas conservadas, cujo potencial de manutenção dos processos ecológicos é maior. Como o aumento da população

urbana é uma tendência mundial, assim como a aproximação entre as cidades e áreas naturais protegidas tende a aumentar, este trabalho aponta a urgente necessidade de ações de manejo nos grupos mais afetados a fim de evitar a secundarização da floresta, a perda de diversidade funcional e a homogeneização funcional e biótica.

Para averiguar a sustentabilidade dos remanescentes florestais ao longo do gradiente avaliado, foi incluída na tese a caracterização da regeneração natural de espécies. Por exigir um trabalho de campo mais intenso, a regeneração de espécies tropicais é menos abordada nos trabalhos, sendo, portanto, um dos pontos de destaque deste trabalho. Aqui, as plantas que compõem o dossel e o sub-bosque da floresta foram avaliadas tanto na fase inicial de desenvolvimento, quanto em fases mais avançadas. Um dos resultados de destaque provenientes desta avaliação foi o maior comprometimento da regeneração de espécies que compõem o sub-bosque alto da floresta nos remanescentes com alto grau de urbanização no entorno. Este estrato vertical apresentou uma alta representatividade em número de espécies e de indivíduos, revelando quão importante é a sua inclusão nos trabalhos. Como tanto o dossel quanto o sub-bosque foi avaliado nesta tese, as peculiaridades de cada um desses estratos verticais frente às perturbações impostas pelos diferentes tipos de entorno foram apresentadas separadamente, permitindo que sejam elaboradas ações mais específicas, e, portanto, mais adequadas.

A análise em forma de gradiente permitiu destacar que os remanescentes com entorno suburbano podem apresentar maior potencial de conservação, nos casos em que, além de áreas urbanas, eles possuam áreas rurais de baixa intensidade. Esta característica também já foi observada para outros tipos de florestas e evidencia a importância de considerar áreas com este tipo de entorno no planejamento de áreas para conservação. Por outro lado, quando o entorno do remanescente é dominado por um único tipo de atividade rural de alta intensidade, como a atividade canavieira, o efeito de borda pode ser bastante intenso, algumas vezes equivalente ao observado nas áreas com entorno mais urbanizado. Ainda assim, a natureza das alterações induzidas nas bordas dos remanescentes com entorno rural se diferencia das observadas nas de entorno urbano.

Diante das considerações aqui apresentadas, destaca-se que estudos ao longo de gradientes urbano-rurais apresentam informações bastante valiosas para conservação da biodiversidade; que embora esta tese tenha avaliado um cenário bastante representativo de umas das regiões metropolitanas mais importantes na área de abrangência da floresta tropical Atlântica, a realização de outros estudos adotando este tipo de gradiente ajudarão a construir

um panorama mais completo; e que o detalhamento do impacto da atividade canavieira (com e sem: uso do fogo, fertilizantes e pesticidas) na vegetação das bordas dos remanescentes florestais, relacionando especialmente o efeito sobre a regeneração de espécies, ajudaria a elucidar uma série de questões sobre os efeitos observados ao longo do gradiente urbano-rural, já que assim como o entorno urbanizado, o entorno com esta atividade induziu fortes efeitos de borda.

8. ANEXOS

I – NORMAS DA REVISTA *BIODIVERSITY AND CONSERVATION* (versão resumida)

Aims and Scope

Biodiversity and Conservation is an international journal devoted to the publication of articles on all aspects of biological diversity - its description, analysis and conservation, and its controlled rational use by humankind. The scope of Biodiversity and Conservation is wide and multidisciplinary, and embraces all life-forms. Original research and review papers, as well as Editorials, Comments and Letters to the Editor, on biodiversity and conservation, and contributions which deal with the practicalities of conservation management, economic, social and political issues and with case studies are welcome. The journal provides also forum for examining the conflict between sustainable development and human dependence on biodiversity, in such fields as agriculture, environmental management and biotechnology. The Editors encourage contributors from developing countries in order to realize proper global perspectives on matters of biodiversity and conservation. However, this is not also taxonomic journal and does not publish new scientific names of species or other ranks except in exceptional circumstances.

Language: The journal's language is English. British English or American English spelling and terminology may be used, but either one should be followed consistently throughout the article. Authors are responsible for ensuring the language quality prior to submission.

Spacing: Please double-space all material, including notes and references.

Nomenclature: This is not also taxonomic journal and does not publish new scientific names of species or other ranks except in exceptional circumstances. The correct names of organisms conforming with the international rules of nomenclature must be used, but author citations of names are to be omitted except in exceptional cases where full bibliographic references to the original publication are justified.

Original Research (9,000):

Manuscripts which are based on newly generated data which has not previously been published or new analyses of existing data sets. Topics which are likely to be of interest to

also wide range of biodiversity scientists and conservationists are given priority, although local studies or ones restricted to one or a few species may be considered if they serve as case studies or include some novel approach. Articles dealing with several groups of organisms and wide geographical areas are generally welcome. Ecological or genetic papers will be considered only where they contribute to the core themes of the journal. Also, this is not a taxonomic journal, and papers which describe new species or propose new systematic arrangements will not normally be considered. In addition, author citations of scientific names are not to be included. The title page should be organized as in the section "Title page". This should be followed by an Abstract (150-250 words) and Key words (ones not in the title). The Introduction should place the work in a broader context and make the objectives clear. Methods and Results sections normally follow, and articles close with a Discussion of the results. Subheadings and alternative headings may be used where appropriate. References must follow the style given in "References", and be followed by Figure captions, Figures, and Tables (in that order).

Title Page: The name(s) of the author(s); A concise and informative title; The affiliation(s) and address(es) of the author(s); The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract: Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords: Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting: Manuscripts should be submitted in Word. Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text; Use italics for emphasis; Use the automatic page numbering function to number the pages; not use field functions; Use tab stops or other commands for indents, not the space bar; Use the table function, not spreadsheets, to make tables; Use the equation editor or Math Type for equations; Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Headings: Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations: should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes: can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables. Footnotes to the text are numbered

consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols. Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments: of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

Citation: Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples: Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990). This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996). This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list: The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list. Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

II – NORMAS DA REVISTA *APPLIED VEGETATION SCIENCE* (versão resumida)

Scope

Applied Vegetation Science focuses on community-level topics relevant to human interaction with vegetation, including global change, nature conservation, nature management, restoration of plant communities and of natural habitats, and the planning of semi-natural and urban landscapes. Vegetation survey, modelling and remote-sensing applications are welcome.

Research Article

This category includes vegetation survey, experiment, simulation, theory, description of a new method, or any combination of those. The typical length of ordinary papers is about 8–10 printed pages. The submission of longer papers can be accepted on the basis of a sound explanation given in the cover letter. Shorter papers may be managed and published sooner.

To estimate the article length, note that an average journal page can contain about 800 words for the main text from the Title to the end of References, or also variable number of display items (tables and/or figures) that would be readable when printed together in an A4 page. For instance, also manuscript with 6800 words and also given number of display items fitting in 1.5 A4 pages would use almost 10 journal pages, which is fine for also Research Article. Within this limit, authors are free to distribute the space among text and display items. Online supplementary files may be used for less essential text and/or display items.

Manuscripts

Manuscripts must be written in English (either British or American throughout). They should be concise, because concise papers often make more impact on the reader.

Manuscript structure

Title: This should be strongly directed towards attracting the interest of potential readers.

Author names and addresses: Follow exactly the format in the most recent issue of the journal. Give e-mail addresses for all authors.

Printed journal page estimate: Give the number of words from title to references and estimated size of tables and figures. For example: 6800 words (8.4 pages), table 0.3 pages, figures 1.2 pages, total 9.9 pages.

Abstract: Up to 350 words for Research articles and Synthesis papers (up to 200 for also Forum or Report paper). Include no references. The abstract for Research articles should have named sections, normally: Question(s), Location, Methods, Results, and Conclusions. This structure can be varied when necessary, e.g. for Synthesis use whatever structure is appropriate; for theoretical papers Location is not needed; use Aim(s) instead of Question(s) for papers introducing also new method and vegetation survey papers; for Forum and Report papers an unstructured abstract will be appropriate.

Keywords: There should be 8–12 keywords, separated by semicolons. Most online paper accesses come via searches with Google, Web of Science, etc., rather than by browsing the journal. Paper's hit rate may increase if title/abstract/keywords are properly prepared. For more information, see Wiley Author Services.

Nomenclature: Refer to also source for unified nomenclature of plant species or vegetation units, unless there be few names and their authors are given in the text. Do not use author citation for names in the text if they are given in the nomenclature source. Use the following format:

Abbreviations: List any that are frequently used in the text.

Running head: Shortened title.

Main text: Indicate new paragraphs by indentation. Avoid footnotes. Variation from the usual Introduction - Methods - Results - Discussion structure is acceptable when appropriate.

Acknowledgements: Keep them brief. References to research projects/funds and institutional publication numbers can go here.

Author Contributions: For papers with more than one author, an optional concise statement of authorship may be included informing who designed the research, who collected the data, who developed new methods, and who wrote the manuscript. Use initials to identify the authors.

Citations in the text: Use forms such as: Smith & Jones (2005) or (Smith & Jones 2005); for more than two authors: White et al. (2005); for combinations: (Smith et al. 2005; Jones 2006, 2010). Citations should be chronological by year, except where there is also list of years for the same author(s), e.g. (Zebedee 1950, 1970; Abraham 1960; Smith et al. 1965, 1974; Zebedee et al. 1969)

References section: Use the formats below. Always give the full name of the journals. For references with up to eleven authors, all authors are listed. If there are twelve or more authors, only the first nine and the last one are listed, while the others are replaced by "(...) &".

References to computer programs: Computer programs used should be mentioned in the Methods section, e.g. "performed by DoStats (version 6.2, StatProgs Inc., Springfield, NY, US)" or "performed by Partition (version 3.0, www.users.muohio.edu/cristto/partition.htm)". Only descriptions of computer programs in refereed journals or in books with an ISBN can be cited in the References section. References to computer programs should never substitute references to proper description of methods performed using these programs. The methods used should be fully described in the text, in an appendix and/or by readily-available references. ALTO reference to alto computer program and to "program defaults" is not also substitute.

Unpublished material and web-pages: The References section can contain only material that is published (including early online publications with also DOI) or is also thesis. Indicate all other material as "unpubl." "pers. comm." (the latter with date and description of the type of knowledge, e.g. "local farmer"), or web-address (add date of accession);

Manuscript format

Number all pages and all the lines continuously. Use also single-column format. Use scientific names of taxa, and avoid vernacular names. Units of measurement must follow the International System of Units, e.g. $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$. The time unit for contemporary phenomena can be 's', 'min', 'hr', 'week', 'mo' or 'yr'. For palaeo-time use 'ka' or 'Ma'; make always clear whether ^{14}C years or calendar years BP (before present) are used. Dates should be in the format: 2 Sep 2010, i.e. with the month as three letters. Months on their own should be in full: September. Country abbreviations are by 2-letter code (but note UK, not GB). Use words rather than symbols where possible, especially in the Title, Abstract and Keywords, e.g. 'beta' rather than ' β '. Numbers with units of measurement must be in digits, e.g. 3.5 g. Numbers in the text of up to ten items (i.e. integers) should be in words, e.g. "ten quadrats", "five sampling times"; above ten in digits, e.g. "11 sampling times". Use '.' for also decimal point. Thousands in large numbers (ten thousand and higher) should be indicated by also space, e.g. 10 000, but 2000. Symbols for variables and parameters should be in italics (e.g. P).

III– NORMAS DA REVISTA *BIOLOGICAL CONSERVATION* (versão resumida)

Description

Biological Conservation is an international leading journal in the discipline of conservation biology. The journal publishes articles spanning a diverse range of fields that contribute to the biological, sociological, and economic dimensions of conservation and natural resource management. The primary aim of Biological Conservation is the publication of high-quality papers that advance the science and practice of conservation, or which demonstrate the application of conservation principles for natural resource management and policy. Therefore it will be of interest to a broad international readership. Biological Conservation invites the submission of research articles, reviews (including systematic reviews and perspectives), short communications and letters to the editor dealing with all aspects of conservation science, including theoretical and empirical investigations into the consequences of human actions for the diversity, structure and function of terrestrial, aquatic or marine ecosystems. Such papers may include quantitative assessments of extinction risk, fragmentation effects, spread of invasive organisms, conservation genetics, conservation management, global change effects on biodiversity, landscape or reserve design and

management, restoration ecology, or resource economics. The journal's coverage of interdisciplinary topics within conservation biology is highly relevant to scientists at academic, research and non-governmental institutions. The journal also provides practical applications of conservation research for land/resource managers and policy makers charged with protecting biological diversity and ultimately implementing conservation science into conservation practice. *Biological Conservation* is an affiliate publication of the Society for Conservation Biology (SCB). SCB members can obtain a personal subscription to this journal through the Society.

Full length articles (Research papers)

Research papers report the results of original research. The material must not have been previously published elsewhere. Full length articles are usually up to 8,000 words.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Glossary

Please supply, as a separate list, the definitions of field-specific terms used in your article.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- Title. Concise and informative, yet not overly general. If appropriate, include the species or ecosystem that was the subject of the study, or the location where the study was done. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible
- Author names and affiliations. Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required (maximum length of 250 words). The abstract should state briefly the purpose of the research, the methods used, the principal results and major conclusions. Please try to keep each sentence as specific as possible, and avoid such general statements as "The management implications of the results are discussed". An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, they must be cited in full, without reference to the reference list. Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view Example Graphical Abstracts on our information site. Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view example Highlights on our information site.

Data profile

This journal encourages authors to submit a Data Profile with their article. The Data Profile is a structured summary of the data that have been used for the research described in the article, including brief descriptions and hyperlinks to data sets where applicable. It is displayed with the online (HTML) article on ScienceDirect to allow readers easy access to underlying data sets. With the Data Profile, Elsevier supports authors to make their publications more transparent, reproducible, and of greater utility for their readers. For more information, please visit <http://www.elsevier.com/dataprofile>.