

**ANALICE ARAÚJO DE SOUZA**

**EFEITOS DE BORDA, DE PARÂMETRO DA PAISAGEM E DA  
PRESENÇA DE ESPÉCIES EXÓTICAS NA QUANTIDADE DE  
CARBONO ESTOCADA EM FRAGMENTOS DE FLORESTAS  
SECUNDÁRIAS DE MATA ATLÂNTICA EM ALDEIA, REGIÃO  
METROPOLITANA DO RECIFE, PERNAMBUCO**

**RECIFE**

**2011**

**ANALICE ARAÚJO DE SOUZA**

**EFEITOS DE BORDA, DE PARÂMETRO DA PAISAGEM E DA  
PRESENÇA DE ESPÉCIES EXÓTICAS NA QUANTIDADE DE  
CARBONO ESTOCADA EM FRAGMENTOS DE FLORESTAS  
SECUNDÁRIAS DE MATA ATLÂNTICA EM ALDEIA, REGIÃO  
METROPOLITANA DO RECIFE, PERNAMBUCO**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Biologia Vegetal da  
Universidade Federal de Pernambuco  
como parte dos requisitos para obtenção  
do grau de Mestre em Biologia Vegetal.**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cecília Patrícia Alves Costa**

**RECIFE  
2011**

Catálogo na fonte

Teresa Lucena

CRB 1419

**Souza, Analice Araújo de**

**Efeitos de borda, de parâmetro da paisagem e da presença de espécies exóticas na quantidade de carbono estocada em fragmentos de florestas secundárias de mata atlântica em Aldeia, região metropolitana do Recife, Pernambuco./ Analice Araújo de Souza– Recife: O Autor, 2011.**

**80 folhas : il., fig., tab.**

**Orientadora: Cecília Patrícia Alves Costa  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de  
Pernambuco. Centro de Ciências Biológicas, Biologia Vegetal,  
2015.**

**Inclui bibliografia e apêndice**

**1. Estoque de carbono 2. Efeito de borda 3. Espécies exóticas 4.  
Floresta Atlântica. Costa, Cecília Patrícia Alves (orientadora) II.  
Título**

**577.144**

**CDD (22.ed.)**

**UFPE/CCB-2015-156**

ANALICE ARAÚJO DE SOUZA

“EFEITOS DE BORDA, DE PARÂMETRO DA PAISAGEM E  
DA PRESENÇA DE ESPÉCIES EXÓTICAS NA  
QUANTIDADE DE CARBONO ESTOCADA EM  
FRAGMENTOS DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS DE MATA  
ATLÂNTICA EM ALDEIA, REGIÃO METROPOLITANA DO  
RECIFE, PERNAMBUCO”

BANCA EXAMINADORA:

---

Dra. Cecília Patrícia Alves Costa (Orientadora) – UFPE

---

Dra. Carmen Sílvia Zickel – UFRPE

---

Dr. Felipe Pimentel Lopes de Melo – UFPE

Aprovada em: 31/03/2011

Recife – PE  
2011

A painho.

*O tempo que dedicamos a alguma coisa é a medida do nosso amor por ela, e sem amor  
nenhum trabalho prospera.*

(Hugo Kukelhaus)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

A essa família grande e amada na qual estou inserida, em especial ao meu irmão Euler que sempre me incentivou a procurar o conhecimento e às minhas irmãs Elaine e Érica, que sempre que puderam me levaram à campo sem titubear. Agradeço ainda a minha mãe pelas boas risadas que dei enquanto ela reclamava dizendo eu ia à campo de propósito já que não havia qualquer necessidade. Aos meus gatos e cachorro pelo amor gratuito e integral.

Agradeço aos meus sobrinhos lindos e queridos (que somam oito) pelas boas gargalhadas que demos juntos nos momentos de distração, eu sendo sempre a tia preferida, obviamente.

Agradeço a todos os colegas de laboratório, que fazem do nosso dia-a-dia uma convivência harmônica, agradável, quase que repleta de corações. A Joana pelo sincero carinho. A Edgar por todos os favores que eu pedi (e não foram poucos) e ele pacientemente me atendeu, fazendo questão de me explicar minuciosamente o porquê de se fazer um teste estatístico ou o porquê de se organizar uma planilha. A Didi e Tarciso pela adorável companhia e ensinamentos profissionais e de vida. A Dani Dark pelas risadas, a Wane pela eterna disponibilidade em ajudar nas identificações das plantas, a Gabriel pelas perfeitas instalações de programas (ele tem todos) no meu computador. A Felipe que, mesmo sem saber, me serviu de muita inspiração e me ensinou muita coisa durante o período de Mestrado, me levando a refletir sobre o meu papel dentro da sociedade. A Biu e Paulo pela convivência e aprendizado compartilhado.

Aos colegas e professores do Curso de Campo da Caatinga de 2009. Foram, sem dúvida, quatro semanas de intensivo aprendizado, onde cada um contribuiu com o meu início de formação como Mestre. Agradeço em especial a Kelaine, Melissa e Elaine (irmã).

Agradeço fortemente aqueles que me ajudaram na identificação do material botânico: Marcondes, Wane, Oswaldinho (meu identificador de Inga predileto), Bruno Amorim (Mestre em Myrtaceae) e Tarciso. Foi muito importante tê-los como contribuintes neste trabalho.

Aos companheiros de campo, que sem dúvida transformaram as idas à campo bem mais divertidas: Gabi, Thiago, Bodinho, Anne, Maíra, Jéssika, Breno, Renan, Thállyda e o sábio Aranzio. Agradeço em especial a Lu, que me agüentou durante todos os campos, mesmo quando o nível de estresse era alto e não concordávamos em nada (nem no tamanho da parcela), e com quem dividi carrapatos, choros e habilidade na arte do canto. Agradeço, ainda, a Dona Germana pelo melhor baião de dois de todos os tempos.

A todos os proprietários das áreas em que fomos fazer coleta e aos responsáveis pelo CIMNC - em especial ao Tenente-Coronel Albuquerque, Tenente Jaqueline, Sargento Pedrosa e Sargento Batista - por mostrarem-se sempre disponíveis em nos ajudar.

A Marcelo Tabarelli e Betinho pelos valiosos ensinamentos.

A Hildebrando e Manasses, por todo o apoio fornecido junto à Pós.

A minha orientadora Cecília por tudo que ela representa na minha vida, como pessoa e como profissional. Com ela aprendi tanto que só agradecer nem adianta.

A Gianni, minha alma gêmea.

A Fernando, pelo amor e companheirismo, compartilhando comigo a vida.

A Rá, minha luz, pela energia e por todo esse sentimento bonito que construímos.

A Kykinha pela amizade verdadeira.

A Texugo por ser um amigo indescritível, pelo amor, confiança e lealdade.

A Jova, Lindinha, Lindinho e Milllllenna.

As duas Marias: Kita e Berreca, pelos 10 anos de cumplicidade.

A Guilherme (Xuxu) pelo carinho e amor colossal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal que me deu a oportunidade de crescer profissionalmente e ao Cnpq pelo apoio financeiro.

A ONG Idea Wild pela contribuição de um clinômetro para a realização do trabalho de campo, e aos integrantes da ONG Internacional Conservation do Brasil (Elisângela e Guilherme Dutra) que receberam o equipamento e enviaram para Recife, sempre mostrando muita boa vontade.

Finalmente, a todos (e foram muitos) com quem compartilho(ei) felicidade, meu sincero e profundo agradecimento.

## RESUMO

As florestas secundárias têm aumentado sua cobertura vegetal uma vez que as áreas outrora usadas para agricultura ou outro tipo de uso do solo são abandonadas, chegando a constituir mais da metade das florestas tropicais. Algumas delas apresentam elevada abundância de espécies exóticas em sua composição, passando a exibir uma combinação de espécies jamais observada anteriormente, dando origem aos ecossistemas emergentes. Este estudo procurou analisar a os efeitos de borda, a presença de espécies exóticas e parâmetro da paisagem na quantidade de carbono estocada pelas florestas secundárias da região de Aldeia, Pernambuco, avaliando também dois atributos ecológicos (estágio de sucessão e estrato que a espécie ocupa na floresta) das espécies encontradas. Dos indivíduos coletados, 88,5% pertenciam ao estágio sucessional das pioneiras, seguidos das exóticas (3,3%), secundárias (2,7%) e clímax (1,1%). Em todas as distâncias da borda, as nativas estocaram significativamente mais carbono que as exóticas, entretanto, não foi observado efeito de borda atuando sobre as mesmas, tampouco na distribuição dos grupos ecológicos analisados, sendo as pioneiras aquelas que contribuíram com o maior estoque de carbono de 0 a 400 m da borda. A média de carbono estocado pelas áreas foi de  $40,70 \pm 19,71$  tC/ha, não havendo correlação entre o percentual de habitat do entorno e a quantidade de carbono estocada ou pelo tamanho da área e o carbono armazenado por ela. Também não foi observada diferença entre o carbono estocado quando a espécie no núcleo da parcela era exótica ou nativa, que armazenaram em média 32,3 tC/ha e 36,4 tC/ha, respectivamente. Ainda, a presença de espécie exótica no núcleo da parcela não influenciou a quantidade de carbono estocada pelas espécies nativas, que estocaram similar quantidade de carbono independente da presença de espécies exóticas no núcleo das parcelas.

Palavras-chave: efeito de borda, espécies exóticas, paisagem, Floresta Atlântica, estoque de carbono

## **ABSTRACT**

Secondary forests have increased its forest cover since the areas once used for agriculture or another land use are abandoned, constituting more than half of tropical forests. Some of them have high abundance of exotic species in their composition, showing a species combination never seen previously, giving rise to the emerging ecosystems. The present study analyzed the influence of exotic species, edge effects and landscape parameters on the amount of carbon stored by secondary forests of Aldeia, Pernambuco, and also examined some of the ecological attributes of the species found. There was not observed edge effects on the carbon stored by both native and exotic species, nor in the distribution of the ecological groups analyzed, with the pioneer those who contributed with the largest amount of carbon stock from 0 to 400 m from de edge. There was also no correlation between the landscape parameters studied and the amount of carbon stored by the areas, nor was observed influence of the size of the area in the distribution of ecological groups, with the pioneer exhibiting the high values of carbon stored in the three size classes. It was noted that only the carbon stored by the understory trees and the exotic species was greater in the areas larger than 100 ha. The presence of exotic species did not influence the amount of carbon stored by native species, with the natives storing similar amount of carbon in their biomass regardless of the presence of exotic species in the plot's interior.

Key-words: edge-effects, exotic species, landscape, Atlantic Forest, carbon stock.

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>Introdução</b>	11
<b>Fundamentação Teórica</b>	12
<i>Mudança do uso da terra</i>	12
<i>Efeito de borda</i>	13
<i>Configuração da paisagem</i>	14
<i>As mudanças climáticas e os ecossistemas terrestres</i>	15
<i>Florestas secundárias</i>	16
<i>Espécies exóticas e os sistemas florestais</i>	18
<i>Sequestro de carbono e as formações florestais</i>	20
<b>Referências</b>	21
<b>APÊNDICE A - Manuscrito a ser enviado ao periódico Forest Ecology and Management</b>	29
<b>1. Introdução</b>	30
<b>2. Metodologia</b>	33
<i>2.1 Área de estudo</i>	33
<i>2.2 Procedimento</i>	34
<i>2.2.1 Efeito de borda na retenção de carbono</i>	34
<i>2.2.2 Efeito do tamanho da área e cobertura florestal na retenção de carbono</i>	35
<i>2.2.3 Efeito da presença de espécie exótica na retenção de carbono</i>	35
<i>2.2.4 Composição de espécies e seus atributos ecológicos</i>	35
<i>2.2.5 Estimativa de biomassa</i>	36
<i>2.2.6 Análise estatística</i>	37
<b>3. Resultados</b>	37
<i>3.1 Composição florística das áreas e grupo ecológico das espécies</i>	37
<i>3.2. Efeito de borda</i>	38
<i>3.3. Parâmetros da paisagem</i>	40

<i>3.4. Influência da espécie exótica</i>	40
<b>4. Discussão</b>	41
<i>4.1. Composição florística</i>	41
<i>4.2. Efeito de borda</i>	42
<i>4.3. Parâmetros da paisagem</i>	44
<i>4.4. Influência da espécie exótica</i>	45
<b>5. Conclusão</b>	47
<b>6. Agradecimentos</b>	48
<b>7. Referências</b>	48
<b>8. Lista de Tabela</b>	54
<b>9. Lista de Figuras</b>	56
<b>APÊNDICE B - Lista de espécies encontradas nos fragmentos estudados.</b>	65
<b>Conclusões</b>	68
<b>APÊNDICE C – Normas da revista para submissão do artigo</b>	69

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho está constituído de uma fundamentação teórica e um manuscrito que abrange três temáticas: os efeitos de borda, do parâmetro da paisagem e da presença de espécies exóticas na composição de espécies arbóreas e na quantidade de carbono estocada por elas em fragmentos de florestas secundárias de floresta Atlântica situados em Aldeia, região metropolitana de Recife, no estado de Pernambuco. Dentro da primeira temática, é avaliada qual a influência da proximidade da borda na quantidade de carbono armazenada por indivíduos lenhosos ( $DAP > 3$  cm), bem como na composição de espécies e nos atributos ecológicos (estágio de sucessão e estrato que a espécie ocupa na floresta) apresentados por tais espécies. Já a segunda temática avalia se a configuração da paisagem (tamanho da área e porcentagem de floresta remanescente no entorno das áreas) influencia a quantidade de carbono estocada pelas árvores. Em ambas as abordagens, foi avaliado também a composição de espécies através de dois atributos ecológicos a fim de caracterizar melhor as áreas estudadas. A terceira e última abordagem, avalia a distribuição das espécies exóticas nesse ecossistema, sua contribuição para o estoque de carbono, observando ainda se as mesmas influenciam na quantidade de carbono estocada pelas espécies nativas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### *Perda e fragmentação das florestas naturais*

As principais atividades que levam à mudança do uso da terra são a agricultura baseada em monoculturas, a exploração de madeira e a implantação de pastagens para a pecuária (FERRAZ *et al.* 2009, LUGO & HELMER 2004). Dentre estes, a causa primária do desmatamento na América Latina é a pecuária. Na Amazônia, por exemplo, aproximadamente 45% da área desmatada foram convertidas em área de pasto para gado (FEARNSIDE 1996). Em uma escala global, tais fatores contribuíram com 1,4 e 1,6 Pg C/ano ( $\text{Pg} = 10^{15}\text{g} = 1\text{Gt}$ ) para a atmosfera nas décadas de 80 e 90, respectivamente (ROBINSON *et al.* 2009).

A Floresta Atlântica brasileira tem os ciclos econômicos como principal causador de desmatamento - iniciando com a exploração do pau-brasil no século XVI, seguido da expansão da cana-de-açúcar no século XVIII e a conversão de áreas de floresta para pastagem e plantações de café (século XIX e XX) – apresentando atualmente uma taxa de 0,25% de área de floresta perdida por ano (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE 2008, TEXEIRA *et al.* 2009). Durante o período de 2000-2007, 13 milhões de hectares de florestas tropicais foram desmatados anualmente, sendo responsáveis por uma taxa de 1,5 Pg C/ano lançados na atmosfera (16% do total das emissões, CANADELL *et al.* 2008).

Com a conversão das florestas naturais em outras formas de uso do solo, as áreas de florestas tornam-se restritas a manchas isoladas entre si (fragmentos florestais) e circundadas por um novo tipo de habitat (matriz). Áreas que passaram por recente processo de fragmentação têm o efeito de borda como o principal causador de mudanças nas comunidades de plantas (LAURANCE *et al.* 1998), uma vez que nas áreas de borda o microclima é alterado, havendo aumento da incidência de vento, luz e elevação da temperatura (CHEN *et al.* 1999, LAURANCE & CURRAN 2008). O tamanho, formato e isolamento dos fragmentos, bem como a permeabilidade da matriz ao fluxo de organismos entre fragmentos, terão efeitos significativos tanto na abundância e composição de espécies vegetais (SANTOS *et al.* 2008), quanto na estrutura das guildas de plantas (TABARELLI *et al.* 1999).

Santos *et al.* (2008) mostraram que fragmentos pequenos e bordas de florestas apresentam uma composição florística similar a estágios iniciais de sucessão – com alta abundância relativa de espécies pioneiras e de baixa densidade de madeira; e poucas espécies de árvores emergentes e maduras, as quais são as responsáveis pelos maiores valores de biomassa da floresta. Além disso, ecossistemas que sofrem freqüentes perturbações não conseguem alcançar o seu máximo potencial como reservatório de carbono (CAREY *et al.*

2001). Slik (2005) observou que distúrbios seguidos tiveram efeitos significativamente positivos no número de pioneiras para as florestas que eram queimadas uma vez e depois repetidamente.

### *Efeito de borda*

Devido às alterações das condições microclimáticas – como aumento da temperatura, da incidência de vento e luz (CHEN *et al.* 1999; LAURANCE & CURRAN 2008) – o efeito de borda parece atuar como maior causador da mudança da assembléia de plantas da comunidade (LAURANCE *et al.* 1997, LAURANCE *et al.* 1998). Com a criação desses limites artificiais, essas novas condições ambientais favorecem a invasão dos fragmentos por espécies ruderais e há um aumento da abundância de lianas e trepadeiras, alterando sua estrutura e composição, além de torná-los mais propícios a incêndios (LAURANCE *et al.* 1997; LAURANCE *et al.* 1998; TABARELLI *et al.* 1999; TABARELLI *et al.* 2004). Tabarelli *et al.* (2010), por exemplo, observaram que as bordas das florestas apresentaram 80% de árvores sendo pioneiras, caindo para 30% no interior do fragmento.

Por funcionarem como ponto de partida para invasão dos fragmentos por espécies exóticas em ambientes menos perturbados (CADENASSO & PICKETT 2001, HONNAY *et al.* 2002) as bordas podem apresentar um aumento na abundância dessas espécies (McDONALD & URBAN 2006). Além disso, as bordas costumam oferecer condições microclimáticas ideais para espécies pioneiras (geralmente com madeira de baixa densidade) e com altas taxas de crescimento e, portanto, também para as espécies exóticas, que geralmente apresentam tais características (McDONALD & URBAN 2004). Adicionalmente, a alta mortalidade de árvores maduras na borda dos fragmentos (quase três vezes maior do que no interior, LAURANCE 2000), proporciona uma diminuição do potencial de biomassa retido no fragmento, já que são essas árvores as responsáveis pelos maiores valores de biomassa do ecossistema (SANTOS *et al.* 2008). Laurance *et al.* (1997) observaram que a perda de biomassa está significativamente correlacionada com a distância da borda, com parcelas alocadas até 100 m de distância da borda perdendo em média  $3,5 \pm 4,1$  toneladas  $ha^{-1}$  anualmente nos primeiros 10 a 17 anos após fragmentação.

As florestas secundárias, por sua vez, parecem não ser muito afetadas negativamente pelo efeito de borda (BANKS-LEITE *et al.* 2010, PARDINI *et al.* 2005). Devido ao pequeno número de árvores grandes (característico de floresta secundária), o efeito de borda na estrutura da floresta é provavelmente menos intenso nesses remanescentes (PARDINI *et al.* 2005). Além disso, por apresentarem elevada abundância de espécies que demandam grandes

quantidades de luz para seu crescimento, essas florestas podem apresentar um padrão inverso, sendo favorecidas pelas mudanças microclimáticas advindas do efeito de borda (SCHEDLBAUER *et al.* 2007, TEXEIRA *et al.* 2009). As espécies que compõem a borda das florestas secundárias podem acabar apresentando valores de biomassa maiores do que o interior do fragmento dependendo da composição florística dos remanescentes florestais circundantes – pois alguns ecossistemas podem estar tão degradados e com fragmentos tão pequenos que acabam não apresentando mais na sua composição espécies que são mais sensíveis ao efeito de borda (BANKS-LEITE *et al.* 2010) como árvores maduras e emergentes, que seriam beneficiadas no interior dos fragmentos e contribuiriam com elevados valores de biomassa, nesse caso bem maiores do que a borda. Schedlbauer *et al.* (2007) observaram que embora as bordas das florestas secundárias da Costa Rica exibissem maiores densidades de árvores com entre 10-15cm, a biomassa não era afetada pela borda, que não apresentou diferença de 0 a 300 m da borda.

#### *Configuração da paisagem*

A fragmentação de habitat naturais, ainda presente de forma intensa, tem levado à formação de paisagens cada vez mais incapazes de manter a biodiversidade dos ecossistemas, visto que tem diminuído o tamanho dos fragmentos e aumentado o grau de isolamento entre os mesmos (MURCIA *et al.* 1995, RIBEIRO *et al.* 2009), levando em última instância à extinção de espécies outrora bem adaptadas à paisagem original (STRATFORD & STOUFFER 1999). Manu *et al.* (2007), por exemplo, encontraram que em uma floresta hiperfragmentada da África, o número de espécies de ave foi influenciado negativamente pelo grau de isolamento da área.

Ainda, áreas que apresentam remanescentes florestais no entorno (geralmente de floresta madura), apresentam maiores chances de recuperar sua vegetação, exibindo rápida recolonização (HELMER 2000, TURNER & CORLETT 1996). Letcher & Chazdon (2009) observaram que o percentual de cobertura vegetal do entorno das áreas de floresta secundária por eles analisadas não influenciaram na biomassa acumulada. A razão para tal é que nenhuma das áreas era totalmente isolada, com quase nenhum remanescente florestal no entorno, mas sim o contrário, o que deve ter facilitado o processo de rápida recuperação de biomassa observado no trabalho.

Estudos recentes têm apontado que para os remanescentes de Floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco, os pequenos fragmentos de floresta apresentam uma composição de espécies predominantemente de pioneiras (SANTOS *et al.* 2008, TABARELLI *et al.*

2010), com seus atributos ecológicos de reprodução cada vez mais simplificados (LOPES *et al.* 2009, TABARELLI *et al.* 2010) levando a crer que a fragmentação tem causado um processo de sucessão retrógrada nessas áreas, onde em vez de avançarem no processo de sucessão para atingirem o clímax, elas voltam a estágios iniciais de sucessão (TABARELLI *et al.* 2008). Essa nova configuração tem implicado na redução da quantidade de biomassa estocada pelas áreas (SANTOS *et al.* 2008) e, conseqüentemente, altera o carbono retido pela vegetação (DANTAS 2009). Dantas (2009) observou que os fragmentos estocaram menor quantidade de carbono do que a floresta madura contínua, podendo ser explicado pelo fato de que o carbono correlacionava-se positivamente com o percentual de espécies tolerantes à sombra, que se apresenta em menor densidade nos fragmentos estudados. Além disso, os maiores valores de biomassa dentro do ecossistema são estocados pelas espécies de árvores maduras e/ou emergentes que são afetadas negativamente pelo efeito de borda (LAURANCE *et al.* 2006).

#### *As mudanças climáticas e os ecossistemas terrestres*

Uma das maiores ameaças originadas pelo desequilíbrio ambiental na atualidade é a mudança climática, dadas a sua amplitude, intensidade e efeitos danosos (CHANG 2002). Com o aumento dos níveis atmosféricos de CO<sub>2</sub> - atribuído principalmente à queima de combustíveis fósseis, desmatamento e fabricação de cimento – tem-se a elevação da temperatura global e crescentes distúrbios ambientais (CANADELL *et al.* 2008, LAL & SINGH 2000, MALHI *et al.* 1999, NOWAK 1993, SKOG & NICHOLSON 2000).

Durante o período de 1750 a 1998, houve quase uma duplicação da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera - resultado das atividades econômicas e industriais. Um dos principais GEE é o CO<sub>2</sub>, cujas emissões no Brasil cresceram rapidamente nos últimos 40 anos (ROCHA 2003). A presente concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, de 387,2 ppm (FRIEDLINGSTEIN *et al.* 2010), é a mais elevada dos últimos 650.000 anos e, provavelmente, dos últimos 20 milhões de anos (CANADELL *et al.* 2008, LE QUERÉ *et al.* 2009). É possível, ainda, que essa concentração tenha atingido 389,2 ppm em 2010 (FRIEDLINGSTEIN *et al.* 2010).

A fim de tratar dos possíveis problemas relacionados às mudanças climáticas em decorrência do aumento de CO<sub>2</sub>, foi estabelecida em 1992 a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), que tem por meta sugerir ações para que os países industrializados, principais emissores de GEE, estabilizem suas emissões (BALBINOT 2004). A Convenção do Clima entrou em vigor em 21 de março de 1994 e desde então, as

Partes (países) têm se reunido anualmente para discutir o assunto e tentar encontrar soluções para os problemas nos encontros denominados Conferência das Partes (TSUKAMOTO-FILHO 2003). Durante a penúltima Conferência das Partes (COP 15) - reafirmada na última conferência em Cancún, no México - ficou acordado que é tolerado a temperatura aumentar no máximo 2 graus Celsius em relação ao período pré-industrial (tendo já aumentado 0,8°C), entretanto (IPAM 2009), acredita-se que as emissões tenham aumentado mais de 3% em 2010 (FRIEDLINGSTEIN *et al.* 2010), evidenciando a necessidade da criação de planos eficazes para a mitigação do efeito desse gás na atmosfera.

Mesmo com uma queda de 1,3% (com maiores contribuições da Europa, Japão e América do Norte) nas emissões de CO<sub>2</sub> no ano de 2009, a queima de combustível fóssil e produção de cimento emitiram 30,8 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera – a segunda maior de toda a história (FRIEDLINGSTEIN *et al.* 2010), perdendo apenas para a emissão do ano 2008 (31,9 bilhões de toneladas, LE QUERÉ *et al.* 2009). Do total de 8,8 PgC/ano emitidos por ações antrópicas do período de 2000 a 2009, cerca de 47% permaneceram na atmosfera; o restante foi absorvido pelas florestas (27%) e oceanos (26%) (CANADELL *et al.* 2007, LE QUERÉ *et al.* 2009).

Segundo pesquisas desenvolvidas pelo IPCC (Intergovernmental Pannel on Climate Change), o acúmulo dos GEE traz conseqüências danosas ao meio ambiente e ao homem. O aumento do nível dos oceanos advindo do descongelamento de geleiras, a desregulação climática, a perda e a migração de biodiversidade, o encurtamento do ciclo das culturas, a antecipação dos períodos de semeadura e colheita agrícola e o aumento dos riscos de salinização dos solos e das incidências de pragas e ervas daninhas estão entre as principais conseqüências esperadas.

As florestas são responsáveis pelo armazenamento de aproximadamente 45% do carbono terrestre, estocando grandes quantidades de carbono na biomassa viva da vegetação e na matéria orgânica do solo (BONAN 2008, HEIMANN & REICHSTEIN 2008, MALHI *et al.* 1999). Além disso, as florestas removem anualmente cerca de três bilhões de toneladas de carbono, oriundos de emissões antropogênicas (CANADELL & RAUPACH 2008), atuando como o maior agente de mitigação do efeito estufa (SANTOS *et al.* 2004).

### *Florestas Secundárias*

Cerca de 60% dos ecossistemas encontram-se degradados ou usados de forma insustentável (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005, SANDERSON *et al.* 2002). A taxa com que o homem está alterando as paisagens naturais é gigantescamente maior

do que a da dinâmica de perturbação natural dos ecossistemas (TABARELLI & GASCON 2005). O bioma Mata Atlântica, por exemplo, é o segundo bioma mais impactado do mundo apresentando atualmente uma cobertura de apenas cerca de 12% da sua área original (RIBEIRO *et al.* 2009, SOS MATA ATLÂNTICA & INPE 2009), grande parte distribuída em fragmentos pequenos e isolados composto por florestas secundárias em estágios iniciais e intermediários de sucessão (METZGER *et al.* 2009, RIBEIRO *et al.* 2009, WRIGHT 2005).

Devido ao abandono das áreas uma vez utilizadas para agricultura ou pastagem (HECHT & SAATCHI 2007), as florestas secundárias têm aumentado sua cobertura em vários países tropicais (FAO 2007), compreendendo quase metade (45%) dos 11 milhões de km<sup>2</sup> de floresta tropical que ainda restam (ITTO 2002). Globalmente (incluindo ambientes tropicais e temperados), as florestas secundárias são responsáveis por 60% da cobertura florestal mundial (FAO 2005), chegando a apresentar cobertura vegetal superior a florestas primárias em alguns países, como a Costa Rica (WRIGHT & MULLER-RANDAU 2006).

As florestas secundárias, assim como as primárias, são importantes provedoras de serviços ecossistêmicos – tais como controle da erosão do solo, ciclagem de nutrientes, regulação hídrica e regulação climática – além de atuarem como refúgio para a biodiversidade de plantas e animais (CHAZDON 2003, LAMB *et al.* 1997), prevenindo extinções massivas nos trópicos (WRIGHT & MULLER-RANDAU 2006).

Durante o processo de sucessão dessas florestas, o histórico de uso da área pode influenciar na composição de espécies iniciais (ARAGÓN & MORALES 2003, LETCHER & CHAZDON 2009). As atividades humanas ligadas à mudança de uso da terra muitas vezes estão associadas à introdução de numerosas espécies exóticas (seja ela ornamental ou cultivar) e após o abandono da área estas espécies podem ser comuns localmente e passarem a fazer do processo de sucessão da área (ARAGÓN & MORALES 2003, REICHARD & HAMILTON 1997), alterando a composição de espécies original (LUGO *et al.* 2004). É provável, ainda, que essas florestas jamais voltem a exibir a composição de espécies similar àquela das florestas maduras do entorno (AIDE *et al.* 2000, LUGO *et al.* 2004), apresentando divergentes comunidades de árvores (CHINEA & HELMER 2003).

Vários trabalhos têm mostrado que algumas florestas secundárias nas quais espécies exóticas foram introduzidas (inadvertidamente ou não) apresentam atualmente uma combinação de espécies que jamais coexistiram naturalmente – dando origem a ecossistemas emergentes ou novos ecossistemas (HOBBS *et al.* 2006, KIRBY & POTVIN 2007, LUGO & HELMER 2004, MARTÍNEZ *et al.* 2010, MASCARO *et al.* 2008, SEASTEDT *et al.*, 2008, WILSEY *et al.* 2009). Martínez *et al.* (2010) encontraram que nas florestas de Porto Rico

dominadas pela exótica *Spathodea campanulata* 22% das espécies eram exóticas, aumentando para 41% por área quando avaliando apenas aquelas de diâmetro  $\geq 10$  cm. Segundo Hobbs *et al.* (2006), esses ecossistemas são resultados da inconsequente ação humana, muito embora não dependa da sua contínua intervenção para a sua manutenção.

A principal razão dessas florestas serem consideradas novas é o aumento do valor de importância (calculado pela soma da densidade relativa e área basal relativa dividido por 2) e persistência dessas espécies exóticas (LUGO & HELMER 2004), além delas contribuírem com elevada abundância relativa (HOBBS *et al.* 2006). Um exemplo dessa nova composição e abundância de espécies pode ser encontrado em sistemas de agroflorestas tropicais, onde há uma combinação diversa de espécies perenes nativas e exóticas (ver SANTOS *et al.* 2004 e KIRBY & POTVIN 2007), usadas para prover bens e serviços à população local (EWEL *et al.* 1991 *apud* HOBBS *et al.* 2006).

#### *Espécies exóticas e os sistemas florestais*

Com a crescente intervenção humana nos ecossistemas terrestres, tem-se observado biomas cada vez mais devastados e menos parecidos com a sua estrutura original (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005). Uma das conseqüências dessas modificações estruturais é a introdução inadvertida de espécies exóticas (SAKAI *et al.* 2001). A criação de áreas para agricultura bem como de áreas de pasto para gado – duas das principais atividades humanas ocorrentes no Brasil (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE 2008, LAURANCE *et al.* 1996) – frequentemente estão associadas à introdução de espécies exóticas (ARAGÓN & MORALES 2003), que podem se tornar invasoras dependendo da permeabilidade do ecossistema (REJMÁNEK *et al.* 2005). Além disso, as bordas de florestas propiciam uma maior interação entre o homem e a floresta, sendo consideradas ponto de partida para a invasão dessas espécies (CADENASSO & PICKETT 2001, HONNAY *et al.* 2002).

À medida que as espécies exóticas tomam espaço em determinados ecossistemas, elas vêm aumentando sua importância em algumas regiões (LUGO 2004, LUGO & HELMER 2004, MARTÍNEZ *et al.* 2010, MASCARO *et al.* 2008, MEINERS *et al.* 2002, WILSEY *et al.* 2009). Alguns estudos relatam que as espécies exóticas influenciam negativamente na diversidade de espécies original das comunidades naturais observadas, ocupando o espaço de espécies nativas de forma que não apenas preenchem nichos vagos, mas, sobretudo, impedem o estabelecimento das mesmas (CHRISTIAN & WILSON 1999, MEINERS *et al.* 2002, RICHARDSON *et al.* 1989, RUDGERS & ORR 2009). Entretanto, embora sejam

consideradas ótimas competidoras e apresentem crescimento rápido (KUEFFER *et al.* 2010), as espécies exóticas tendem a perder sua importância à medida que as florestas avançam no processo de sucessão (LUGO & HELMER 2004, MEINERS *et al.* 2002, REJMÁNEK *et al.* 2005). Meiners *et al.* (2002) observaram, por exemplo, que a cobertura vegetal de espécies exóticas declinou significativamente após 20 anos de abandono da área uma vez utilizada para agricultura. Enquanto que Lugo & Helmer (2004) notaram que houve uma diminuição do valor de importância das espécies exóticas à medida que o número total de espécies aumentava e que a sucessão da área avançava.

A maioria dos estudos voltados para o conhecimento do comportamento de espécies exóticas dentro de um determinado ecossistema avalia se elas são competidoras (MARLER *et al.* 1999), quais suas contribuições em termos de abundância relativa (MARTÍNEZ *et al.* 2010, BROWN *et al.* 2006) ou sua influência no recrutamento de plântulas ou no estabelecimento de árvores nativas (KUEFFER *et al.* 2010, MASCARO *et al.* 2008). Poucos trabalhos, contudo, sabem informar qual a contribuição ou qual a influência destas espécies na biomassa estocada pela vegetação em que se fazem presente (ASNER *et al.* 2009, DAEHLER 2003, KIRBY & POTVIN 2007, WILSEY *et al.* 2009). Asner *et al.* (2009) notaram que em áreas de floresta dominadas pelas espécies exóticas *Psidium cattleianum* e *Ficus rubiginosa* no Panamá, a biomassa acima do solo estocada pelas árvores com diâmetro  $\geq 5$  cm era equivalente a 225, 192,1 e 172,3 toneladas por hectare em três tipos diferentes de substrato, resultados significativamente menores do que aqueles apresentados pelas áreas em que dominavam espécies nativas nos mesmos tipos de substratos. Wilsey *et al.* (2009), entretanto, observou que para uma comunidade de gramíneas na região do Texas, a biomassa acumulada pela área onde havia uma mistura de espécies exóticas foi significativamente maior do que aquela onde havia uma mistura de espécies nativas; enquanto que Kirby & Potvin (2007) observaram que a exótica *Mangifera indica* estocou perto de 30% do total do carbono estocado por hectare em agroflorestas do Panamá. Além disso, em um estudo recente, Leishman *et al.* (2010) observaram que embora as espécies exóticas possam exibir maiores taxas de crescimento em ambientes desfavoráveis (devido ao recurso limitado), elas apresentam estratégias de captura de carbono similares a espécies nativas co-ocorrentes. Tais resultados sugerem que o comportamento da espécie exótica depende bastante das condições dos ecossistemas em que estão inseridas, sendo necessários mais estudos a fim de propiciar um melhor entendimento sobre estas espécies.

### *Seqüestro de carbono e as formações florestais*

À medida que as florestas secundárias vão se expandindo nos países tropicais (FAO 2007) e a concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico proveniente da mudança de uso da terra nos países tropicais vem aumentando (HOUGHTON 2009 *apud* LE QUERÉ *et al.* 2009), tornou-se de extrema importância entender o papel desses ecossistemas na retenção de carbono (FEARNSIDE & GUIMARÃES 1996, HELMER 2000, SILVER 2000). Fearnside & Guimarães (1996) encontraram para áreas de floresta secundária da Amazônia com idade entre 10 e 20 anos uma média de  $75,4 \pm 23,3$  tC ha<sup>-1</sup>.

Os estoques de carbono das florestas variam enormemente dependendo da latitude, do clima, dos ecossistemas, da composição de espécies e do regime do solo (BROWN 1998). De acordo com um relatório desenvolvido pela Embrapa (BRITTEZ *et al.* 2006) acerca das formações florestas da Floresta Atlântica do sul do Brasil, a Floresta Estacional Semidecidual apresenta uma média de 108,6 tC/ha retido em sua biomassa acima do solo, ao passo que na Floresta Ombrófila Densa foi possível observar uma média de 152,9 tC/ha, variando de 73 a 338 tC/ha entre as amostras. A Floresta Ombrófila Mista madura obteve uma média de 97 tC/ha, representando um estoque de florestas que já estão fortemente exploradas, enquanto que as áreas de vegetação secundária apresentaram uma média de 26 tC/ha para áreas em estágios iniciais de sucessão, seguido de 82,7 tC/ha e 119 tC/ha para os estágios médio e avançado de sucessão, respectivamente (BRITTEZ *et al.* 2006).

Hughes *et al.* (1999) encontraram para florestas secundárias em estágios iniciais de sucessão (<15 anos) no México uma variação de 2,5 a 50 tC/ha a partir da biomassa total acima do solo (incluindo árvores, lianas, jovens, plântulas e serrapilheira). Para os estágios intermediários (16 – 20 anos) e avançados (25 – 50 anos) de sucessão, por sua vez, os autores observaram uma variação de 44 a 146,5 tC/ha e 108,5 a 151 tC/ha, respectivamente. As florestas secundárias com menos de 10 anos derivadas de áreas de pasto em uma região Amazônica apresentaram uma média de 32,14 tC/ha, aumentando para 75,4 tC/ha quando em idade de 10 -20 anos, resultado similar àquele observado em áreas derivadas de agricultura itinerante também na Amazônia (47 tC/ha e 122, 45 tC/ha, respectivamente) (FEARNSIDE & GUIMARÃES 1996).

Pouco se sabe sobre o papel das florestas secundárias que apresentam espécies exóticas na sua composição florística na retenção de carbono, entretanto, em um trabalho desenvolvido por Kirby & Potvin (2007), a *Mangifera indica* (mangueira) era responsável por 29,2% do carbono estocado por hectare, além de serem muito comuns, representando 20,7% dos indivíduos inventariados nas áreas de Agrofloresta da província do Panamá. Já Santos et

al. (2004), encontraram em sete propriedades com Sistemas Agroflorestais (SAFs) nas várzeas do rio Juba (PA) uma média de 149,22 tC/ha, entretanto, pouco foi contribuição das exóticas da área. Além disso, Lugo & Helmer (2004) observaram que, quando presentes, as espécies exóticas das novas florestas secundárias de Porto Rico contribuíram com considerável fração de área basal, duplicando de 10,7% em 1980 para 20,6% em 1990. Nas florestas onde ainda havia cafezal ativo a contribuição da área basal das exóticas foi ainda maior, com 35,4% em 1990 (LUGO & HELMER 2004).

### Referências Bibliográficas

- AIDE, T.M., ZIMMERMAN, J.K., HERRERA, L., ROSARIO, M., SERRANO M.. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management** 77: 77–86, 1995.
- AIDE, T.M., ZIMMERMAN, J.K., PASCARELLA, J.B., RIVERA, L., MARCANO-VEGA, H. Forest regeneration in a chronosequences of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. **Restoration Ecology** 8: 328–338, 2000.
- ARAGÓN, R., MORALES, J.M. Species composition and invasion in NW Argentinian secondary forests: effects of land use history, environment and landscape. **Journal of Vegetation Science** 14: 195-204, 2003.
- ASNER, G.P., HUGHES, R.F., VARGA, T.A., KNAPP, D.E., KENNEDY-BOWDOIN, T. Environmental and biotic controls over aboveground biomass throughout a tropical rainforest. **Ecosystems** 12: 261–278, 2009.
- BALBINOT, R. Implantação de florestas geradoras de créditos de carbono: estudo de viabilidade no sul do estado do Paraná, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. , 79p, 2004.
- BANKS-LEITE, C., EWERS, R.M., METZGER, J.P. Edge effects as the principal cause of area effects on birds in fragmented secondary forest. **Oikos** 119: 918–926, 2010.
- BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. **Science** 320: 1444-1449, 2008.
- BRITEZ, R.M., BORGIO, M., TIEPOLO, G., FERRETTI, A., CALMON, M., HIGA, R. Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil. **Embrapa Florestas**, 2006.

- BROWN, J.R., SCANLAN, J.C., MCIVOR, J.G. Competition by herbs as a limiting factor in shrub invasion in grassland: a test with different growth forms. **Journal of Vegetation Science** 9: 829-836, 1998.
- CANADELL, J. G. AND RAUPACH, M. R. Managing forests for climate change mitigation. **Science** 320: 1456-1457, 2008.
- CANADELL, P.; CIAIS, P.; CONWAY, T.; FIELD, C. B.; LÉ QUÉRÉ, C.; HOUGHTON, R. A.; MARLAND, G.; RAUACH, M. R. Carbon Budget 2007. **Global Carbon Project**, 2008.
- CADENASSO, M.L., PICKETT, S.T.A. Effect of edge structure on the flux of species into forest interiors. **Conservation Biology** 15: 91-97, 2001.
- CAREY, E. V.; SALA, A.; KEAN, R. AND R. M. CALLAWAY. Are old-forests underestimated as carbon sinks? **Global Change Biology** 7:339–344, 2001.
- CHAZDON, R.L. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. **Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics** 6: 51–71, 2003.
- CHEN, J. C., SAUNDERS, S. C., CROW, T. R., NAIMAN, R. J., BROSOFSKE, K. D., MROZ, G. D., BROOKSHIRE, B., LAND FRANKLIN J. F. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology. **Bioscience** 49:288–297, 1999.
- CHINEA, J.D., HELMER, E.H. Diversity and composition of tropical secondary forests recovering from large-scale clearing: results from 1990 inventory in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management** 180: 227–240, 2003.
- CHRISTIAN, J.M. WILSON, S.D. Long-term ecosystem impacts of an introduced grass in the northern Great Plains. **Ecology** 80:2397–2407, 1999.
- DAEHLER, C.C. Performance comparisons of co-occurring native and alien invasive plants: Implications for conservation and restoration. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 34: 183-211, 2003.
- DANTAS, M. Sequestro de carbono em áreas de regeneração natural de diferentes idades no Centro de Endemismo Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. , 68p, 2009.
- FAO (Food and Agriculture Organization). State of the world's forests. **FAO**, Rome, 2007.
- FEARNSIDE, P.M., Amazon deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management** 80: 21–34, 1996.

- FEARNSIDE, P.M., GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, 80: 35-46, 1996.
- FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A.; THEOBALD, D. M. Using indicators of deforestation and land-use dynamics to support conservation strategies: A case study of central Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management** 257: 1586–1595, 2009.
- FRIEDLINGSTEIN, P., HOUGHTON, R.A., MARLAND, G., HACKLER, J., BODEN, T.A., CONWAY, T.J., CANADELL, J.G., RAUPACH, M.R., CIAIS, P., LE QUÉRÉ, C. Update on CO<sub>2</sub> emissions. **Nature Geoscience**, 2010. DOI 10.1038/ngeo\_1022, Online 21 November 2010.  
<http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo1022.html>
- HECHT, S.B., SAATCHI, S.S. Globalization and forest resurgence: Changes in forest cover in El Salvador. **Bioscience** 57: 663–672, 2007.
- HEIMANN, M., REICHSTEIN, M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. **Nature** 451: 289-292, 2008.
- HELMER, E.H. The landscape ecology of secondary forest in montane Costa Rica. **Ecosystems** 3: 98–114, 2000.
- HILL, J.L., CURRAN, P.J. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. **Journal of Biogeography** 30: 1391–1403, 2003.
- HOBBS, R. J.; ARICO, S.; ARONSON, J.; BARON, J. S.; BRIDGEWATER, P.; CRAMER, V. A.; EPSTEIN, P. R.; EWEL, J. J.; KLINK, C. A.; LUGO, A. E.; NORTON, D.; OJIMA, D.; RICHARDSON, D. M.; SANDERSON, E. W.; VALLADARES, F.; VILA, M.; ZAMORA, R. AND ZOBEL, M. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. **Global Ecology and Biogeography** 15:1–7, 2006.
- HONNAY, O., VERHEYEN, K., HERMY, M. Permeability of ancient forest edges for weedy plant species invasion. **Forest Ecology and Management** 161:109–122, 2002.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. McCarthy, J. J. et al. (Eds) Cambridge University Press, Cambridge: United Kingdom and New York. 2001.

- ITTO. ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests. ITTO Policy Development Series No.13, 2002
- KIRBY, K.R., POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology Management** 246: 208–221, 2007.
- KUEFFE, C., SCHUMACHER, E., DIETZ, H., FLEISCHMANN, K., EDWARDS, P.J. Managing successional trajectories in alien-dominated, novel ecosystems by facilitating seedling regeneration: A case study. **Biological Conservation** 143: 1792–1802, 2010.
- LAL, M., SINGH, R. Carbon sequestration potential of Indian forests. **Environmental Monitoring and Assessment** 60: 315–327, 2000.
- LAMB, D., PAROTTA, J., KEENAN, R., TUCKER, N. Rejoining habitat fragments: restoring degraded rainforest lands. In: Laurance, W.F., Bierregaard, R.O. (Eds.), *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, pp. 366–385, 1997.
- LAURANCE, W.F., LAURANCE, S.G., FERREIRA, L.V., RANKIN-DE-MERONA, J.M., GASCON, C., LOVEJOY, T.E. Biomass collapse in Amazonian Forest fragments. **Science** 278: 1117±1118, 1997.
- LAURANCE, W. F., FERREIRA, L. V., RANKIN-DE-MERONA, J. M., LAURANCE, S. G. Rainforest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. **Ecology** 79: 2032±2040, 1998.
- LAURANCE, W.F., DELAMONICA, P., LAURANCE, S.G., VASCONCELOS, H.L., LOVEJOY, T.E. Rainforest fragmentation kills big trees. **Nature** 404: 836, 2000.
- LAURANCE, W.F., NASCIMENTO, H.E.M., LAURANCE, S.G., ANDRADE, A.C., FEARNSIDE, P.M., RIBEIRO, J.E.L., CAPRETZ, R.L. Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. **Ecology** 87:469–482, 2006.
- LAURANCE, W.F., CURRAN, T.J. Impacts of wind disturbance on fragmented tropical forests: A review and synthesis. **Austral Ecology** 33: 399–408, 2008.
- LEISHMAN, M.R., THOMSON, V.P., COOKE, J. Native and exotic invasive plants have fundamentally similar carbon capture strategies. **Journal of Ecology** 98: 28–42, 2010.
- LE QUÉRÉ C., RAUPACH M. R., CANADELL J. G., MARLAND G. et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. 2009. *Nature geosciences*, doi: 10.1038/ngeo689. <http://www.nature.com/ngeo/journal/v2/n12/full/ngeo689.html>

- LETCHER, S.G., CHAZDON, R.L. Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. **Biotropica** 41: 608–617, 2009.
- LOPES, A.V., GIRAO, L.C., SANTOS, B.A., PERES, C.A., TABARELLI, M. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic Forest fragments. **Biological Conservation** 142: 1154–1165, 2009.
- LUGO, A.E. The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico. **Frontiers in Ecology and Environment** 2: 265–273, 2004.
- LUGO, A.E., HELMER, E. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. **Forest Ecology Management** 190: 145–161, 2004.
- MALHI, Y., BALDOCCHI, D. D.AND JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. **Plant, Cell and Environment** 22: 715-740, 1999.
- MANU, S., PEACH, W., CRESSWELL, W. The effects of edge, fragment size and degree of isolation on avian species richness in highly fragmented forest in West Africa. **Ibis** 149: 287–297, 2007.
- MARLER, M.J., ZABINSKI, C.A., CALLAWAY, R.M. Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on a native bunchgrass. **Ecology** 80:1180–1186, 1999.
- MARTÍNEZ, O.J.A. Invasion by native tree species prevents biotic homogenization in novel forests of Puerto Rico. **Plant Ecology** 211:49–64, 2010.
- MASCARO, J., BECKLUND, K.K., HUGHES, R.F., CHNITZER, S.A.S. Limited native plant regeneration in novel, exotic-dominated forests on Hawai'i. **Forest Ecology and Management** 256:593–606, 2008.
- McDONALD, R. I.; URBAN, D. L. Forest edges and tree growth rates in the North Carolina Piedmont. **Ecology** 85: 2258–2265, 2004.
- McDONALD, R. I.; URBAN, D. L. Edge effects on species composition and exotic species abundance in the North Carolina Piedmont. **Biological Invasions**, 8: 1049–1060, 2006.
- MEINERS, S.J., PICKETT, S.T.A., CADENASSO, M.L. Exotic plant invasions over 40 years of old field successions: community patterns and associations. **Ecography** 25:215–223, 2002.
- METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; DIXO, M.; BERNACCI, L.C.; RIBEIRO, M.C.; TEIXEIRA, A.M.G. AND PARDINI, R. Time-lag in biological responses to

- landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation** 142: 1166–1177, 2009.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis**. World Resources Institute, Washington, DC, 2005.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution** 10: 58–62, 1995.
- NOWAK, D. J. Atmospheric Carbon Reduction by Urban Trees. **Journal of Environmental Management** 37: 207–217, 1993.
- OLIVEIRA, M.A., GRILLO, A.S., TABARELLI, M. Forest edge in the Brazilian Atlantic Forest: drastic changes in tree species assemblages. **Oryx** 38: 389–394, 2004.
- OLSCHEWSKI, R. AND BENÍTEZ, P.C. Secondary forests as temporary carbon sinks? The economic impact of accounting methods on reforestation projects in the tropics. **Ecological Economics** 55: 380–394, 2005.
- PARDINI, R., SOUZA, S.M., BRAGA-NETTO, R., METZGER, J.P. The role of forest structure, fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in a tropical forest landscape. **Biological Conservation** 124: 253–266, 2005.
- RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P., MARTENSEN, A.C., PONZONI, F., HIROTA, M.M. Brazilian Atlantic forest: how much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation** 142: 1141–1153, 2009.
- RICHARDSON, D.M., MACDONALD, I.A.W., FORSYTH, G.G. Reductions in plant species richness understoreys of alien trees and shrubs in the Fynbos biome. **South African Forestry Journal** 149:1–8. 1989.
- ROBINSON, D.T.; BROWN, D.G.; CURRIE, W.S. Modelling carbon storage in highly fragmented and human-dominated landscapes: Linking land-cover patterns and ecosystem models. **Ecological Modelling** 220: 1325–1338, 2009.
- RUDGERS, J.A., ORR, S. Non-native grass alters growth of native tree species via leaf and soil microbes. **Journal of Ecology** 97: 247–255, 2009.
- SAKAI, A.K., ALLENDORF, F.W., HOLT, J.S., LODGE, D.M., MOLOFSKY, J., WITH, K.A., BAUHMANN, S., CABIN, R.J., COHEN, J.E., ELLSTRAND, N.C., MCCAULEY, D.E., O'NEIL, P., PARKER, I.N., THOMPSON, J.N., WELLER, S.G. The population biology of invasive species. **Annual Review of Ecology and Systematics** 32: 305–332, 2001.

- SANDERSON, E.W.; JAITEH, M.; LEVY, M.A.; REDFROD, K.H.; WANNEBO, A.V., WOOLMER, G. The human footprint and the last of the wild. **Bioscience** 52: 891–904, 2002.
- SANTOS, B. A.; PERES, C. A.; OLIVEIRA, M. A.; GRILLO, A.; ALVES-COSTA, C. P., TABARELLI, M. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic forest fragments of northeastern Brazil. **Biological Conservation** 141: 249–260, 2008.
- SANTOS, S. R. M., MIRANDA, I. S. AND TOURINHO, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazonica** 34: 1 – 8, 2004.
- SCHEDLBAUER, J. L.; FINEGAN, B. AND KAVANAGH, K.L. Rain Forest Structure at Forest-Pasture Edges in Northeastern Costa Rica. **Biotropica** 39: 578–584, 2007.
- SEASTEDT, T.R., HOBBS, R.J., SUDING, K.N. Management of novel ecosystems: are novel approaches required? **Frontiers in Ecology and the Environment**, in press, 2008.
- SILVA, J.M.C., TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. **Nature** 404: 72–74, 2000.
- SILVER, W.L., OSTERTAG, R., LUGO, A.E. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology** 8: 394–407, 2000.
- Skog, K. E. and Nicholson, G. A. 2000. Carbon sequestration in wood and paper products. **USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-59**: 79–88.
- SLIK, J.W.F. Assessing tropical lowland forest disturbance using plant morphological and ecological attributes. **Forest Ecology and Management** 205: 241–250, 2005.
- SOS MATA ATLÂNTICA & INPE. São Paulo: SOS Mata Atlântica e Instituto de pesquisas espaciais, 2009.
- STRATFORD, J.A., STOUFFER, P.C. Local extinctions of terrestrial insectivorous birds in a fragmented landscape near Manaus, Brazil. **Conservation Biology** 13: 1416–1423, 1999.
- TABARELLI, M., MANTOVANI, W. AND PERES, C.A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological Conservation** 91: 119–12, 1999.
- TABARELLI, M., SIQUEIRA-FILHO, J.A., SANTOS, A.M.M. Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco. Em: Porto, K.C.; Almeida-Cortez, J.S.;

- Tabarelli, M. (Org.). *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco*. 1ª edição, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. Pgs. 279-302, 2006.
- TABARELLI, M., LOPES, A.V., PERES, C.A. Edge-effects drive Tropical Forest fragments towards an early-successional system. **Biotropica** 40: 657–661, 2008.
- TABARELLI, M., AGUIAR, A.V., RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P., PERES, C.A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation** 143: 2328–2340, 2010.
- TEIXEIRA, A. M. et al. 2009. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation. **Forest Ecology and Management** 257: 1219–1230.
- THOMAZINI, M.J.; THOMAZINI, A.P.B.W. A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas. Rio Branco: Embrapa Acre, 21p, 2000.
- TOTTEN, M. Getting it right - emerging markets for storing carbon in forests. Washington, DC: Forest Trends/World Resources Institute, 2000.
- TSUKAMOTO-FILHO, A.A. Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. Minas Gerais. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 111p, 2003.
- TURNER, I.M., CORLETT, R.T. The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rainforest. **Trends in Ecology and Evolution** 11:330–333, 1996.
- WILSEY, B.J., TEASCHNER, T.B., DANESHGAR, P.P., ISBELL, F.I., POLLEY, H.W. Biodiversity maintenance mechanisms differ between native and novel exotic-dominated communities. **Ecology Letters** 12:432–442, 2009.
- WRIGHT, S.J. Tropical forests in a changing environment. **Trends in Ecology and Evolution** 20: 553–560, 2005.
- WRIGHT, S.J., MULLER-LANDAU, H.C. The future of tropical forest species. **Biotropica** 38: 287–301, 2006.

**APÊNCICE A - Manuscrito a ser enviado a Forest Ecology and Management**

Efeitos de borda, de parâmetros da paisagem e da presença de espécies exóticas na quantidade de carbono estocada em fragmentos de florestas secundárias de Mata Atlântica em Aldeia, região metropolitana do Recife, Pernambuco

Analice A. Souza<sup>1</sup>; Lucianna M. R. Ferreira<sup>1</sup>; Marcondes A. Oliveira<sup>2</sup>; Cecília P. Alves-Costa<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

<sup>2</sup>Doutor em Biologia Vegetal pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

<sup>3</sup> Professor Adjunto do Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

\* Autor correspondente. Endereço: Av. Prof. Moraes Rêgo s/n – Cid. Universitária 50670-901 Recife, PE, Brasil. Tel.: +55 (81)2126 8352.

Endereços de e-mail: analiceasouza@yahoo.com.br (A. A. Souza), luciannamrf@gmail.com (L.M.R. Ferreira), marcondesoliveira@yahoo.com.br (M.A. Oliveira), cepacosta@yahoo.com.br (C. P. Alves-Costa).

(manuscrito a ser enviado para o periódico Forest Ecology and Management em junho/11)

**Abstract**

The secondary forests covering have been increasing, once areas used for agriculture or another land use are abandoned, and currently constitutes more than half of the area covered for tropical forests. Some of these secondary forests have high abundance of exotic species in their composition, showing a species combination never seen previously, being denominated emerging ecosystems. The present study analyzed the influence of exotic species, edge effects and landscape parameters on the amount of carbon stored by trees in secondary forests of Aldeia, Recife metropolitan area, Pernambuco, examining also two ecological attributes (stage of succession and the stratum that the species occupies in the forest) of the species composition found in the sites. Of the total individuals collected, 88.5% belonged to the pioneer stage, followed by exotic (3.3%), secondary (2.7%) and climax (1.1%). At all

distances from the edge, the native species stocked significantly more carbon than the exotics ( $F = 64,6731$ ; g.l. = 1;  $MS = 14,1$ ;  $p << 0,001$ ), however, was not observed edge effect acting on them ( $F = 0,79$ ; g.l.= 5;  $MS = 0,17$ ;  $p = 0,89$ ), nor on the distribution of the ecological groups analyzed ( $F = 0,89$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,12$ ;  $p = 0,48$ ), with pioneers being those who contributed to the higher carbon stock from 0 to 400 m from the edge ( $F = 126,2742$ ;  $p << 0,01$ ). The average of the carbon stored by the sites was  $40.7 \pm 19.71$  tC/ha, showing no correlation between the percentage of the surrounding site or the fragment size and the amount of carbon stored in the site. There was also no difference between the stored carbon when the species in the core of the plot was native or exotic, which stores an average 32.3 and 36.4 tC/ha, respectively ( $F = 0,92$ ;  $p = 0,34$ ). Still, the presence of exotic species in the core of the plot did not influenced carbon stored by the native species, which stocked similar amount of carbon regardless of the presence of alien species in the nucleus of the plot ( $F=2,08$ ,  $p=,15$ ).

Key-words: edge-effects, exotic species, landscape, tropical Forest, carbon stock.

## 1. Introdução

A presente concentração de  $CO_2$  na atmosfera é a maior dos últimos 650.000 anos e as emissões antrópicas desse gás estão crescendo cerca de quatro vezes mais do que na década anterior (Canadell et al. 2008, Le Queré et al. 2009) – devido,principalmente, à queima de combustível fóssil, fabricação de cimento e o desmatamento, que juntos têm afetado consideravelmente a temperatura global (Canadell et al. 2008, Lal and Singh 2000, Malhi et al. 1999, Nowak 1993, Skog and Nicholson 2000). Os ecossistemas terrestres proporcionam um longo ciclo de estocagem de carbono e atuam como os principais agentes de mitigação do efeito estufa (Santos et al. 2004), capturando anualmente cerca de 27% do carbono lançado na atmosfera pelas atividades antrópicas (Canadell et al. 2007, Le Queré et al. 2009). Com a atual expansão das florestas secundárias no globo (FAO 2007), tornou-se de extrema relevância entender o papel destas florestas como potenciais mitigadores do efeito estufa (Fearnside and Guimarães 1996, Helmer 2000, Silver 2000).

Após intensa e frequente pressão antrópica, grande parte do bioma Mata Atlântica - atualmente com apenas 12% da sua cobertura original (Ribeiro et al. 2009, SOS Mata Atlântica and Inpe 2009) - encontra-se distribuído em fragmentos pequenos e isolados, vários deles em estágios iniciais ou intermediários de regeneração (Metzger 2000; Metzger et al. 2009). A expansão da agricultura – que ocupa atualmente 50% das terras habitáveis do planeta (Clay 2004) – é apontada como a principal causa da perda de biodiversidade da Floresta Atlântica brasileira (Fundação SOS Mata Atlântica and Inpe 2008), enquanto que na

Floresta Amazônia quase metade do desmatamento é devida a criação de pastagens para o gado (Laurance et al. 1996). Uma vez abandonadas, estas áreas dão lugar às florestas secundárias, que vêm crescendo vertiginosamente nas últimas décadas (FAO 2007), chegando atualmente a corresponder a 45% da área coberta por florestas tropicais (ITTO 2002). A cobertura vegetal do entorno influencia no processo de regeneração das florestas secundárias, onde áreas abandonadas circundadas por paisagens sem ou com poucas áreas florestadas exibem uma regeneração mais lenta (Aide et al. 1995, Hughes et al. 1999).

O histórico de uso da área em regeneração pode influenciar o processo de sucessão vegetal (Aragón and Morales 2003, Holz et al. 2009, Letcher and Chazdon 2009). Muitas atividades antrópicas frequentemente estão associadas à introdução de numerosas espécies exóticas (Aragón and Morales 2003). Com o abandono das áreas, tais espécies podem passar a fazer parte do processo de sucessão da área (Aragón and Morales 2003, Reichard and Hamilton 1997), contribuindo com elevados valores de abundância relativa (Hobbs et al. 2006; Lugo and Helmer 2004; Martínez et al. 2010) e persistindo no ecossistema; sendo desta forma consideradas ecossistemas emergentes ou novas florestas (Hobbs et al. 2006, Lugo and Helmer 2004, Lugo 2009). Ainda, algumas florestas em processo de regeneração natural talvez não voltem a exibir uma composição de espécies similar à original ou a das florestas maduras do entorno (Aide et al. 2000; Chinea and Helmer 2003; Lugo et al. 2009); embora as espécies exóticas possam representar apenas um pequeno percentual do total de espécies (Letcher and Chazdon 2009). Poucos estudos relatam o papel das espécies exóticas na retenção de carbono nos ecossistemas emergentes, bem como sua influência na retenção pelas espécies nativas (Asner et al. 2009, Daehler 2003, Kirby and Potvin 2007, Wilsey et al. 2009). Entender o papel das florestas tropicais secundárias com novas combinações de espécies na retenção de carbono é fundamental para desenvolver estratégias de manejo que mantenham e maximizem o papel destes ecossistemas na regulação climática.

A perda de habitats naturais devido à extração de madeira, plantio de monoculturas e desenvolvimento da agropecuária (Ferraz et al. 2009), resultou em uma contínua fragmentação de habitats naturais que intensificam o efeito de borda, alterando a distribuição e abundância de espécies e levando à extinção local e regional de parte delas (Millenium Ecosystem Assessment 2005, Schedlbauer et al. 2007, Thomazini and Thomazini 2000). As bordas dos fragmentos geralmente apresentam uma composição de espécies diferente do interior (Murcia et al. 1995, Laurance et al. 1997, Oliveira et al. 2004), com maior densidade de espécies de diâmetro pequeno (Schedlbauer et al. 2007), maior proliferação de espécies pioneiras (Laurance et al. 2006, Santos et al. 2008, Tabarelli et al. 2008) e menores valores de

biomassa na vegetação (Laurance et al. 1997, Santos et al. 2008). Além disso, as bordas tendem a ser mais homogêneas, com espécies exibindo atributos reprodutivos cada vez mais simplificados (Lopes et al. 2009, Tabarelli et al. 2010). Em um trabalho recente, Santos et al. (2008) observaram que pequenos remanescentes florestais apresentam elevada abundância de espécies pioneiras e têm uma composição de espécies mais similar à de florestas secundárias em estágio inicial de sucessão do que a de florestas maduras contínuas. Deste modo, os remanescentes florestais degeneram e perdem a capacidade de reter a composição de espécies original e os serviços ecossistêmicos outrora oferecidos. Como consequência tem-se a diminuição ou colapso de serviços ambientais prestados pelo ecossistema, como por exemplo, a manutenção dos solos, regulação hídrica e climática (Millenium Ecosystem Assessment 2005).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência do efeito de borda, das espécies exóticas e de parâmetros da paisagem na capacidade de retenção de carbono pela vegetação arbórea em áreas de florestas secundárias dentro do bioma Mata Atlântica. Para tal, as seguintes hipóteses foram testadas: a quantidade de carbono estocada por hectare é afetada pela 1) distância da borda, 2) porcentagem de cobertura florestal no entorno da área, 3) tamanho do fragmento, 4) composição de espécies e 5) origem da espécie (nativa ou exótica). Além disso, testamos se a quantidade de carbono estocada por hectare pelas espécies nativas é influenciada pela proximidade de adultos de espécie exótica (*Jaca*, *Artocarpus heterophyllus*). Em virtude dos poucos estudos com florestas secundárias, nossas hipóteses foram formuladas baseadas nas respostas observadas em florestas maduras. Assim esperamos que as plantas lenhosas ( $DAP > 3$  cm) nas bordas dos fragmentos florestais devem contribuir com menores quantidades de carbono devido à abundância de espécies pioneiras (de rápido crescimento e baixa densidade de madeira) e ausência ou pequeno número de espécies de árvores maduras e emergentes. Tais espécies respondem pela maior quantidade de carbono estocado nas florestas tropicais (Laurance et al. 2006), mas devem estar em maior densidade no interior dos fragmentos. Para verificar isso, a distribuição das espécies em função de sua classificação quanto aos estágios sucessionais e estratos vegetacionais que ocupam foi avaliada em função da distância da borda. Se as espécies exóticas foram introduzidas pela população local a partir da borda, elas apresentarão uma maior contribuição quando na borda das áreas. Áreas maiores e com maior percentual de cobertura vegetal no entorno deve apresentar maior quantidade de carbono estocado, pois devem ter uma maior proporção de espécies de árvores clímax e/ou emergentes, responsáveis por reter a maior biomassa dentre as espécies arbóreas. Além disso, quanto maior a porcentagem de área

coberta por florestas, maior a conectividade, mais rápida a regeneração natural e a probabilidade de uma maior diversidade de espécies colonizadoras, de modo que deve haver uma menor probabilidade das espécies exóticas se estabelecerem. Entretanto, se as espécies exóticas tiverem participado do processo de regeneração da área, esses parâmetros não influenciarão na quantidade de carbono estocada pelas mesmas.

## **2. Metodologia**

### *2.1. Área de estudo*

O estudo foi desenvolvido em fragmentos de floresta Atlântica secundária da região de Aldeia, a qual está situada dentro dos limites de oito municípios da região metropolitana de Recife: Abreu e Lima, Araçoiaba, Camaragibe, Igarassú, Paudalho, Paulista e São Lourenço da Mata. Foram selecionadas 16 áreas (Fig. 1), todas inseridas dentro da vegetação classificada como Floresta Ombrófila Aberta (IBGE 1991). A região apresenta um clima tropical quente e úmido, com precipitação anual de 1.968 mm e temperatura média de 26° C (Santos 2008).

No século XVI, o município de Camaragibe servia ao cultivo de cana-de-açúcar, onde se instalou o Engenho Camaragibe. Foi quando começou a exploração das terras de vários municípios de Pernambuco que também tiveram o ciclo da cana como sua principal atividade econômica (Oliveira 2003) – bem como a exploração do pau-brasil (Souza 2010). Já no final do século XIX começou o ciclo industrial na região, que acabou por estimular os operários a fixarem residência na área (Souza 2010). A extensão de floresta da região de Aldeia abrange atualmente cerca de 200 fragmentos de floresta secundária com até 60 anos de regeneração (Dantas and Leão 2008), inseridos em uma matriz bastante heterogênea, composta por cana-de-açúcar, áreas de pastagem, e principalmente assentamentos urbanos como sítios, chácaras e condomínios horizontais (Pereira 2005, Santos 2008). A exploração da cana-de-açúcar aliada a essa expansão urbana levou à perda de grande parte das áreas de Mata Atlântica da região (Souza 2010), que atualmente é responsável por 37% da cobertura vegetal (aproximadamente 21.290,39 ha, Dantas and Leão 2008). Araçoiaba, por exemplo, apresenta 80% da vegetação composta de cana-de-açúcar, mas apesar disso compreende dois dos principais remanescentes florestais (Souza 2010).

A região de Aldeia apresenta um grande número de mananciais e bacias hidrográficas importantes, sendo responsável por grande parte (60%) do abastecimento de água da região metropolitana do Recife (Souza 2010). Adicionalmente, a área abrange o maior remanescente

de Mata Atlântica do nordeste, o que é bastante relevante visto que restam apenas 5% da Mata Atlântica ao norte do rio São Francisco (Dantas and Leão 2008). A região de Aldeia foi reconhecida pelo governo do estado como área prioritária para a conservação da Mata Atlântica no Nordeste, sendo que recentemente boa parte da mesma foi transformada em uma unidade de conservação estadual (APA Aldeia-Beberibe, decreto nº34.692, de 17 de Março de 2010). Apesar disto, a região vem sofrendo intensas modificações ambientais nos últimos 20 anos, devido, principalmente, ao exacerbado crescimento urbano e especulação imobiliária, que têm levado ao desmatamento, além de serem comuns a extração ilegal de madeira e caça, bem como queimadas (Souza 2010).

Parte dos fragmentos de floresta secundária de Aldeia foram anteriormente áreas agrícolas destinadas principalmente a monoculturas de cana-de-açúcar e pequenos assentamentos humanos com agricultura de subsistência. Esse cenário levou à atual configuração da paisagem, onde algumas espécies exóticas fazem parte da composição de espécies da região, como a *Artocarpus heterophyllus* (jaqueira), *Mangifera indica* (mangueira), *Elaeis guianensis* (dendezeiro) e *Eucalyptus* sp. (eucalipto).

## 2.2. Procedimento

### 2.2.1. Efeito da borda na retenção de carbono

Para analisar a influência do gradiente borda-núcleo sobre o carbono retido pelas áreas, foram delimitados dois transectos perpendiculares à borda para cada área uma das 16 áreas estudadas. Em cada transecto foi delimitada uma parcela de 5 x 50 m nos pontos: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 m. Os pontos 0 e 50 m foram comuns a todas as áreas estudadas, mas nem todas as áreas foram suficientemente grandes para abranger as demais distâncias. Dentro de cada parcela, todas as espécies lenhosas com  $DAP \geq 3$  cm foram medidas em relação ao DAP (Diâmetro à Altura do Peito = 1,3 m) e altura (com auxílio de um clinômetro), sendo coletada uma excisata de cada nova espécie registrada. O critério de tamanho de DAP foi escolhido baseado na estrutura das florestas secundárias, que por estarem em regeneração apresentam grande quantidade de indivíduos de diâmetros pequenos, sendo de grande importância incluí-los nas análises já que os mesmos representam considerável fração da comunidade (Letcher and Chazdon 2009). Cada indivíduo amostrado foi identificado até o menor nível taxonômico possível, através da comparação com excisatas do acervo de espécies para a Mata Atlântica disponíveis no Herbário UFP, localizado na UFPE e da consulta a

especialistas, sendo também classificados como espécie nativa ou exótica (quando o bioma da distribuição natural da espécie não era o de Mata Atlântica).

#### 2.2.2. Efeito do tamanho da área e da cobertura florestal na retenção de carbono

Tanto o tamanho da área quanto o percentual de cobertura vegetal do entorno em um raio de 1 km foram calculados através do programa ArcGis 9.2, utilizando uma imagem LANDSAT 2000 da região estudada. O raio de 1 km foi gerado a partir do ponto da coordenada geográfica referência para o fragmento (ponto este usado na localização das áreas estudadas na figura 1), e foi a partir dele que também se calculou o percentual de cobertura vegetal do entorno.

#### 2.2.3. Efeito da presença de espécie exótica na retenção de carbono

Para analisar a influência da espécie exótica na quantidade de carbono estocada, foi escolhida a exótica mais abundante na região (comunicação pessoal), a jaca (*Artocarpus heterophyllus*) como espécie comparativa à nativa. Foram selecionados 21 pontos em nove das áreas estudadas (aquelas em que a espécie era mais abundante), e em cada ponto foram amostradas duas parcelas de 20 x 20 m (delineamento pareado), sendo que em uma delas a árvore nucleadora (do centro da parcela) era uma espécie exótica (*Artocarpus heterophyllus*, jaqueira) e na outra era uma espécie nativa qualquer (tratamento controle) de diâmetro similar a da espécie exótica nucleadora da outra parcela. No tratamento controle, a parcela era posicionada de forma que não houvesse nenhuma espécie exótica adulta dentro do quadrante de 10 x 10 m centrado na espécie nativa nucleadora. Dentro de cada parcela todos os indivíduos com DAP  $\geq$  3 cm tiveram o DAP e altura medidos e foram identificados até o menor nível taxonômico possível, havendo a coleta de exsicatas sempre que os indivíduos não foram identificados de imediato. As exsicatas foram comparadas com o acervo de espécies para a Mata Atlântica disponíveis no Herbário UFP, localizado na UFPE.

#### 2.2.4. Composição de espécies e seus atributos ecológicos

A partir do banco de dados com os atributos ecológicos para as espécies da Mata Atlântica disponíveis no Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), juntamente com dados disponíveis na literatura (Alves-Costa et al. 2008, Backes and Irgang 2004, Lorenzi et al. 2003, Lorenzi 2000, Lorenzi 1998), foi possível agrupar as espécies coletadas e identificadas em seus respectivos grupos ecológicos. Para o estágio de sucessão, as espécies foram classificadas em pioneiras, secundárias e clímax; já

para o estrato que a espécie ocupa na floresta, elas foram classificadas em sub-bosque, dossel e emergente. Dessa forma, espera-se que as espécies de árvores emergentes e/ou clímax sejam aquelas que mais contribuam com o carbono estocado das áreas - visto que são as responsáveis pelos maiores valores de biomassa da floresta (Laurance et al. 2006) – e que essa contribuição sejam maior no interior dos fragmentos, onde estas espécies ocorrem em maior densidade. A borda, por sua vez, deve apresentar as pioneiras como maiores contribuintes, visto que elas são mais bem adaptadas às condições microclimáticas encontradas na mesma.

### 2.2.5. Estimativa de biomassa

As estimativas de biomassa vegetal de um ecossistema podem ser obtidas por métodos diretos (destrutivos) ou indiretos (não destrutivos). Este último, por não causar impactos ambientais na área estudada e ser mais rápido, torna possível amostrar uma área maior e uma maior quantidade de indivíduos. Pelos métodos indiretos, as estimativas são feitas a partir de variáveis mais facilmente obtidas no campo, como DAP (diâmetro à altura do peito, 1,30 m) e altura das árvores (Higuchi et al. 1998). No presente projeto, portanto, foi utilizado o método indireto para calcular a biomassa estocada nos indivíduos amostrados nas parcelas delimitadas nas áreas de estudo. A densidade da madeira das espécies coletadas (necessária para a aplicação de algumas equações alométricas) foi retirada do trabalho de Chave et al. (2006), sendo utilizado o valor de densidade para o gênero quando o da espécie estava indisponível e, em último caso, o valor para a família. Os valores de DAP, altura e densidade da madeira foram inseridos na equação alométrica desenvolvida por Chave et al. (2005) e aplicada para as árvores com  $DAP \geq 10\text{cm}$ , onde

$$B = \rho * \exp(\alpha + \ln(\rho * DBH^2 * H))$$

sendo que B = biomassa,  $\rho$  = densidade da madeira ( $\text{g/cm}^3$ ),  $\alpha = -2.977$ , DBH = DAP em cm, H = altura em m. Para as árvores com DAP de 3 a 9,9 cm foi utilizada a equação de Nelson et al. (1999), onde:

$$B = c + \alpha \ln(DBH) + \beta \ln(H) + x \ln(SD),$$

sendo que  $c = -1,8985$ ,  $\alpha = 2,1569$ ,  $x = 0,7218$  e SD = densidade da madeira. Para as palmeiras foram usados apenas DAP e altura na equação desenvolvida por Saldarriaga et al. (1988) *apud* Vieira et al. (2008):

$$B = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(1/(DBH)^2) + \beta_2 \ln(\text{Height})),$$

sendo que  $\alpha = -6.3789$ ,  $\beta_1 = -0.877$  e  $\beta_2 = 2.151$ . Cada equação foi utilizada de acordo com os critérios de valor de DAP necessários para A biomassa total de cada área foi igual à soma da biomassa calculada para todos os indivíduos com  $DAP > 3$  cm de cada área,

sendo que a quantidade de carbono estocada foi estimada como sendo igual a 50% da biomassa calculada (Fearnside and Laurance 2004). Para tornar possível a comparação com outros estudos, a quantidade de carbono foi extrapolada para uma unidade de área de um hectare, através de uma regra de três simples.

#### 2.2.6. Análise estatística

Para saber se a distância da borda e a origem da espécie (nativa ou exótica) afeta a quantidade de carbono estocada pelas áreas, foi feita uma ANOVA 2 fatores (distância da borda e origem da espécie), tendo a quantidade de carbono estocado por unidade de área (tC/ha) como variável resposta (dependente). Para investigar o efeito da paisagem - isto é, se o percentual de cobertura vegetal no entorno e o tamanho da área estavam correlacionados com a quantidade de carbono estocada por hectare - foi feito o teste de Correlação de Pearson, sendo que quando necessário foram realizadas transformações logarítmicas ( $\log y + 1$ , Zar 1996) a fim de atender os requisitos para testes paramétricos.

Para analisar se a distância da borda afeta a quantidade de carbono estocada por plantas com diferentes atributos ecológicos (estágio sucessional e estrato vegetacional), foi feita uma ANOVA 2 fatores (Zar 1996) para cada uma das duas combinações de 2 fatores: 1) estrato vegetacional e distância da borda; 2) estágio de sucessão e distância da borda. Em todos os casos a quantidade de carbono estocado por unidade de área (tC/ha) foi a variável dependente. Para avaliar se há diferenças na quantidade de carbono estocada por hectare em função da presença ou não de adulto de espécie exótica (jaqueira) no núcleo da parcela, foi feita uma ANOVA 2 fatores (Zar 1996), sendo que os fatores analisados foram a origem das espécies (exótica ou nativa) no entorno da espécie nucleadora e a origem da espécie nucleadora.

### 3. Resultados

#### 3.1 Composição florística das áreas e grupo ecológico das espécies

No presente trabalho, foram registrados 5.836 indivíduos, distribuídos em 130 espécies pertencentes e 36 famílias (Apêndice A), sendo que 1,25% não foram identificados a nível de gênero e, portanto, foram excluídos das análises. Do total de espécies coletadas, 11,5% eram exóticas (15 espécies, Apêndice A), contribuindo com 198 indivíduos (3,43% do total de indivíduos). As espécies exóticas mais encontradas nos fragmentos analisados foram,

em ordem decrescente de abundância: *Artocarpus heterophyllus* (jaqueira, n=140 indivíduos), *Elaeis guianensis* (dendê, n=19), *Mangifera indica* (mangueira, n=12) e *Eucalyptus* sp. (eucalipto, n=9). Dentre as espécies exóticas, estas foram as únicas capazes de serem encontradas a diferentes distâncias da borda. As demais ocorreram apenas nas bordas dos fragmentos e apresentaram uma frequência absoluta variando entre 1 e 4 indivíduos.

Para 18% das espécies não foi possível encontrar informações sobre seu estágio de sucessão, sendo, portanto, excluídas deste tipo de análise. Dentre as espécies nativas classificadas (n = 115), 68% pertenciam ao estágio de sucessão das pioneiras, seguida das secundárias e clímax (ambas com 7% cada). As espécies pioneiras predominaram independentemente da distância da borda (Fig. 2), apresentando uma média superior a 80% dos indivíduos mesmo a 400 metros da borda (Fig. 3); já as espécies exóticas apresentaram-se em maior número a 0 m da borda (com pouco mais de 11%), caindo para a metade nas distâncias a mais de 100 m da borda (Fig. 2). Não foram observadas alterações marcantes quanto à distribuição das secundárias e clímax ao longo das distâncias estudadas (Fig. 2).

Apenas 4,5% dos indivíduos não puderam ser classificados quanto ao estágio sucessional, sendo as exóticas excluídas desta classificação. Dentre os classificados (5.763), 88,5% pertenciam ao estágio de sucessão correspondente às pioneiras, seguido das exóticas (3,3%), secundárias (2,7%) e clímax (1,1%). Este padrão se manteve a diferentes distâncias da borda, com as pioneiras e exóticas somando de 91,16% dos indivíduos a 0 m a 88,7% a 400 m (Fig. 3). Já quanto ao estrato vegetacional que os indivíduos ocupam na floresta, foi possível observar que a categoria dossel abrangeu mais de 60% dos indivíduos classificados em todas as distâncias (exceto em 50 m, onde somou 55%). Ao contrário do esperado, as emergentes não apresentaram um aumento no número de indivíduos à medida que se distanciavam da borda, variando muito pouco ao longo das distâncias (entre 12 e 19%). Os indivíduos de sub-bosque ficando entre 8 e 15% e os indeterminados contribuindo com menos de 10% dos indivíduos em todas as distâncias observadas (Fig. 4).

### 3.2. Efeito de borda

Das 130 espécies identificadas, apenas 23 apresentaram-se dominantes quanto à quantidade de carbono estocada (considerou-se espécie dominante aquela que foi responsável pela maior contribuição de estoque de carbono em porcentagem à determinada distância da borda em cada área estudada). Dentre as 23, 19 eram nativas e 4 exóticas. Considerando o universo das nativas, menos de 1/3 das mesmas foram capazes de serem dominantes a pelo

menos duas distâncias da borda, com sua grande maioria (quase 70%) sendo dominante em apenas uma distância (geralmente a 0 ou 50 m, Tab. 1), o que pode ser claramente explicado pelo fato de terem sido amostradas mais parcelas a estas distâncias do que nas demais, dando chance a mais espécies de serem também dominantes. Dentre as exóticas, por sua vez, apenas a *Elaeis guianensis* (dendezeiro) foi dominante em apenas uma distância, com as demais aparecendo em pelo menos duas (Tab. 1). O eucalipto (*Eucalyptus* sp.) foi aquele que deteve maior percentual de carbono estocado dentre todas as espécies (exóticas e nativas) com de 70% do carbono estocado a 50 m e quase 75% a 400 m (Tab. 1), indicando que quando presente este serviço é prestado quase que exclusivamente por esta espécie. Das quatro vezes em que aparece como espécie dominante, a jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) estoca mais de 50% do carbono em três distâncias diferentes; enquanto que a mangueira (*Mangifera indica*) deteve quase 60% do carbono a 400 m da borda. Tais resultados elucidam a importância destas espécies como importantes agentes de mitigação do efeito estufa, estocando grandes quantidades de carbono em sua biomassa viva. É interessante observar, ainda, que mesmo após 100 m da borda, em pelo menos uma das áreas, havia uma espécie exótica como dominante, indicando que na região a contribuição destas espécies independe da distância da borda. Dentre as espécies nativas, a *Albizia pedicellaris* (popularmente conhecida como jaguarana), a *Eschweilera ovata* (imbiriba) e a *Tapirira guianensis* (cupiúba), foram aquelas que mais apareceram como espécies dominantes a várias distâncias da borda, com a primeira sendo responsável por mais de 50% do carbono estocado às distâncias 0 e 300 m (Tab. 1).

Quanto à origem da espécie, foi observado que as nativas retiveram maiores quantidades de carbono do que as espécies exóticas ( $F = 64,6731$ ; g.l. = 1;  $MS = 14,1$ ;  $p << 0,001$ , Fig. 5). No entanto, as quantidades de carbono estocadas por ambas não variaram em função da distância da borda ( $F = 0,79$ ; g.l.= 5;  $MS = 0,17$ ;  $p = 0,89$  e interação:  $F=1,69$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,37$ ;  $p=0,14$ ; Fig. 5). As nativas também apresentaram densidades significativamente maiores do que as exóticas ( $F = 197,50$ ; g.l. = 1;  $MS = 67,6487$ ;  $p << 0,001$  Fig. 6), independente da distância da borda ( $F=0,57$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,28$ ;  $p=0,72$  Fig. 6). Ainda, a distância da borda também não teve nenhuma influência na densidade de árvores exóticas (árvores/ha), com as mesmas mantendo-se praticamente a uma densidade constante ao longo das diferentes distâncias da borda (Fig. 7).

Não foi observado efeito de borda na quantidade de carbono estocada por plantas dos diferentes estágios sucessionais ( $F = 0,89$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,12$ ;  $p = 0,48$ ; Fig. 7). As pioneiras

foram as responsáveis pelos maiores estoques de carbono ( $F = 126,2742$ ;  $p \ll 0,001$ ) em todas as distâncias, estocando quase 4 vezes mais carbono que as clímax de 0 a 400 m da borda (Fig. 7). Analisando o estrato que a espécie ocupa na vegetação, a quantidade de carbono retido em cada estrato não variou em função da distância da borda ( $F = 1,45$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,16$ ;  $p = 0,2$  e interação:  $F = 0,84$ ; g.l. = 10;  $MS = 0,09$ ;  $p = 0,59$ , Fig. 8). Foi possível observar, entretanto, que a quantidade de carbono estocada pelas árvores de dossel foi significativamente maior que as de sub-bosque a todas as distâncias (teste de Tukey:  $p < 0,02$ ) e na borda (0 m) foi também maior que as quantidades estocadas pelas emergentes (teste de Tukey:  $p = 0,00188$  Fig. 8). As árvores emergentes apresentaram valores de estoque de carbono intermediários entre dossel e sub-bosque, sendo similares a estas duas na maioria das distâncias, ao contrário do que se esperava.

### 3.3. Parâmetros da paisagem

A média de carbono estocado foi de  $40,70 \pm 19,71$  tC/ha (ver Tab. 2). Extrapolando para a área de cobertura florestal de Aldeia (21.290,39 ha), esse estoque é estimado em 893.495,9 tC. Não foi encontrada nenhuma correlação entre o percentual de cobertura vegetal (habitat remanescente) em um buffer de 1 km ao redor da coordenada de cada área amostrada e a quantidade de carbono estocada ( $r = -0,13$ ;  $p = 0,61$ ), tampouco entre o tamanho da área e o carbono armazenado por ela ( $r = 0,1324$ ;  $p = 0,625$ ) indicando que nesta paisagem os parâmetros escolhidos não estão atuando na quantidade de carbono estocada pela área, mas sim outros fatores.

### 3.4. Influência da espécie exótica

Não foi observada diferença entre a quantidade de carbono estocada pelas parcelas onde a árvore nucleadora era exótica ou nativa ( $F=0,24$ ; g.l. = 1;  $MS = 0,61$ ;  $p=0,62$ ), com aquelas onde a nucleadora era nativa estocando em média  $32,3$  tC/ha  $\pm 25,55$ , enquanto que onde a nucleadora era exótica estocou uma média de  $36,4$  tC/ha  $\pm 25,67$ . Ainda, analisando apenas as nativas em ambos os tratamentos, foi possível observar que a quantidade de carbono estocada pelas mesmas não foi afetada pela nucleadora, isto é, as espécies nativas permaneceram estocando as mesmas quantidades de carbono na sua biomassa acima do solo na presença ou ausência de espécies exóticas ( $F = 0,92$ ; g.l. = 1;  $MS = 0,48$ ;  $p = 0,34$ ; Fig. 9). As espécies exóticas tenderam a exibir uma maior quantidade de carbono estocada quando a nucleadora era também exótica, entretanto o valor não foi significativo ( $F=2,08$ ; g.l. = 1;  $MS = 10,99$ ;  $p=0,15$ ; Fig. 9).

## 4. Discussão

Não foi observado nenhum efeito de borda na quantidade de carbono estocada tanto pelas nativas quanto pelas exóticas, tampouco na distribuição dos grupos ecológicos analisados, com as pioneiras sendo aquelas que estocaram os maiores valores de carbono em todas as distâncias da borda analisadas. Não houve, ainda, qualquer correlação entre o parâmetro da paisagem estudado e a quantidade de carbono estocada pelas áreas. Ainda, a presença de espécie exótica não influenciou a quantidade de carbono estocada pelas espécies nativas, com estas últimas armazenando similar quantidade de carbono em sua biomassa independente da presença de espécies exóticas no núcleo das parcelas.

### 4.1. Composição florística

Das espécies analisadas no trabalho, 11,5% (o equivalente a 15 espécies) eram exóticas, sendo que apenas quatro foram capazes de serem observadas a diferentes distâncias da borda, com as demais se concentrando no ponto 0 m. Esse valor está abaixo dos valores encontrados para os ecossistemas considerados emergentes de Porto Rico, onde as exóticas contribuem com pouco mais de 40% das espécies de árvores coletadas (Martínez et al. 2010) e abaixo também daqueles observados no Hawaii, em que as espécies exóticas chegam a constituir mais de 60% do dossel das florestas secundárias (Mascaro et al. 2008). Os resultados encontrados, entretanto, foram similares àqueles observados por Aragón e Morales (2003) em uma floresta secundária da Argentina, em que das espécies coletadas, o equivalente a 16 espécies eram exóticas, correspondendo a 16,5% do total de espécies coletadas (incluindo trepadeira e arbusto). Já Letcher and Chazdon (2009) observaram, para a região de Sarapiquí no Nordeste da Costa Rica (com manchas de floresta secundária e madura), uma pequena abundância de espécies exóticas (15 indivíduos), distribuídas em sete espécies. Estes estudos juntamente com os dados do presente trabalho levam a crer que a composição de espécies de uma floresta secundária que se regenerou a partir de uma área de agricultura pode apresentar tanto um padrão de ecossistema emergente quanto um padrão onde as espécies exóticas existem, mas não interferem na estrutura da floresta, isto é, contribuem com pouquíssimos indivíduos e, portanto, não afetam a comunidade de nativas. Este segundo padrão é bastante comum em grande parte dos ecossistemas que sofreram qualquer modificação antrópica, entretanto, isso não quer dizer que estes ecossistemas são emergentes, visto que para ser considerado como tal, as espécies exóticas devem exibir uma elevada abundância relativa, além de persistirem no ecossistema e mostrarem um aumento do seu valor importância ao longo do tempo. Além disso, a presença de 11 das 15 espécies exóticas

observadas restritas às bordas dos fragmentos pode ser explicada pelo fato de que a população local (até mesmo os próprios residentes em caso da matriz ser residencial) tem um maior contato com a floresta pela borda, introduzindo espécies que tenham algum valor - seja para consumo ou ornamentação (como *Syzygium cumini* e *Delonix regia*, respectivamente) - a partir dela. Isto pode também ser confirmado pelo declínio no número dessas espécies à medida que se afastam da borda, onde a 50 m o número de espécies caiu para quase metade ( $n = 6$ ), chegando a apenas três espécies de 100 a 400 m da borda.

A elevada abundância de espécies pioneiras encontradas nas áreas estudadas corrobora com o trabalho desenvolvido por Santos et al. (2008), onde uma média de 85,6% ( $\pm 13,8$ ) das espécies coletadas nas áreas de floresta secundária na Floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco eram pioneiras. Holz et al. (2009) observaram que florestas secundárias da Floresta Atlântica Upper Parana (Argentina) com idade inferior a 6 anos após abandono apresentavam quase 45% das suas espécies pertencentes ao grupo ecológico das pioneiras, caindo para menos de 5% quando atingiam idade superior a 20 anos. Liebsch et al. (2008) também encontraram resultados similares, com as espécies pertencentes ao grupo ecológico das pioneiras chegando a uma média de 68,2% das espécies em florestas secundárias com idades entre 5 – 20 anos, declinando para 32,6% em florestas secundárias com idade superior a 20 anos da Floresta Atlântica do sul do Brasil (abrangendo os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina). O fato das espécies pioneiras permanecerem contribuindo com elevado percentual na comunidade indica que as áreas estudadas se comportam como florestas em estágios iniciais de sucessão. Além disso, por ainda apresentarem intervenção antrópica – com corte seletivo de árvores e queimadas ocasionais – esse padrão pode demorar a ser revertido visto que estes fatores interferem no processo de sucessão da floresta, tornando-o mais lento (Slik 2005) e conseqüentemente limitam a quantidade de carbono estocada (Fox et al. 2010).

#### 4.2. Efeito de borda

O fato das espécies exóticas ocorrerem de 0 a 400m da borda dentro das áreas estudadas, aliado à ausência do efeito de borda sobre as mesmas, que se apresentaram como espécies dominantes (aquelas que mais estocam carbono) em várias das distâncias analisadas, parece estar relacionado com a presença destas espécies já no início do processo de sucessão nestas áreas, sendo alguns indivíduos ainda remanescentes das atividades de uso da terra anteriores. Este é o caso do eucalipto que, tendo seu plantio incentivado pelos assentamentos do INCRA para a extração de celulose e presente em poucos fragmentos da região, integrou-

se à composição de espécies da área, contribuindo com altos valores de biomassa estocados na vegetação viva - muito embora não deixe descendentes férteis. As novas florestas de Porto Rico também tiveram seu processo de sucessão ligado a espécies exóticas que foram introduzidas na época em que a região era dominada pela agricultura, tanto para fins comerciais como ornamentais (Lugo 2004, Martínez et al. 2010). Lugo and Helmer (2004) observaram que, dependendo do tipo florestal em que estão inseridas, as espécies exóticas podem contribuir com elevados valores de densidade e área basal (30,8 e 35,4%, respectivamente). Apesar de contribuírem com poucos indivíduos (3,43% do total), as espécies exóticas de Aldeia estocaram grandes quantidades de carbono na sua biomassa, entretanto, é arriscado afirmar se as áreas estudadas são de fato emergentes, visto que elas apresentam baixo valor de abundância relativa de espécies exóticas, muito embora elas persistam no ecossistema. Entretanto, diferentemente do encontrado por Letcher and Chazdon (2009), mesmo em pequeno número de indivíduos, as espécies exóticas contribuíram com elevados valores de biomassa, indicando que estas espécies desempenham papel importante na regulação climática e que dentro da região de Aldeia são potenciais mitigadoras do efeito estufa.

O efeito de borda é reportado em diversos estudos como causador de drástica modificação na composição de espécies, estrutura (Tabarelli et al. 1999, Laurance et al. 2006, Murcia et al. 1995, Laurance et al. 1997, Fearnside et al. 1997, Santos et al. 2008, Lopes et al. 2009) e biomassa da vegetação (Laurance et al. 1997, Santos et al. 2008). No presente trabalho, entretanto, não foi possível detectar um efeito de borda no acúmulo de carbono pela borda e interior dos fragmentos. Resultado similar foi observado no trabalho de Schedlbauer et al. (2007) onde, embora as bordas dos fragmentos de floresta secundária entre 20-30 anos de idade na região de Sarapiquí (Costa Rica) apresentassem maiores densidades de árvores com DAP entre 10-15 cm, os valores de biomassa não mudaram a diferentes distâncias da borda (entre 0 e 300 metros). Entretanto, vale ressaltar que os fragmentos usados no trabalho de Schedlbauer et al. (2007) eram considerados fragmentos onde a borda apresentava uma vegetação densa devido à resposta positiva à disponibilidade de luz (Forero and Finegan 2002), no presente trabalho, entretanto, isto não foi avaliado. A ausência do efeito de borda no estoque de carbono por hectare observada neste estudo parece estar mais associada à composição de espécies. As pioneiras predominaram em todas as distâncias (tanto em termos de proporção de espécies quanto de indivíduos), mas as espécies clímax e/ou emergentes, responsáveis por um maior estoque de carbono nas florestas maduras, foram bastante raras e pouco diversificadas. Dantas (2009) observou que as espécies de árvores emergentes foram

responsáveis por 53,2% do carbono estocado no interior de fragmento de floresta madura, caindo para menos da metade quando em manchas de floresta secundária imersas em floresta madura. Nas florestas secundárias de Aldeia, cerca de 90% do carbono estocado no estrato emergente era composto pelas espécies pioneiras: *Eschweileira ovata* (imbiriba), *Schefflera morototoni* (sambaqui), *Simarouba amara* (praíba), *Hymenaea courbaril* (jatobá), *Sclerolobium densiflorum* e *Stryphnodendron pulcherrimum* (favinha); isto pode explicar o fato de não ter havido diferença entre as quantidades de carbono estocadas pelas espécies de árvores emergentes a diferentes distâncias da borda, visto que a distribuição das espécies pioneiras mostrou-se não ser afetada pelo efeito de borda. Foi observado, contudo, que as árvores de dossel foram responsáveis pelo maior estoque de carbono a 0 m da borda, superando os valores das emergentes e de sub-bosque, o que já era esperado visto que são as pioneiras de dossel as mais abundantes na borda. Essa elevada abundância de espécies pioneiras, responsáveis pelas maiores contribuições de carbono estocado, aliada a quase ausência de espécies clímax na comunidade de árvores, ressalta resultados encontrados para a Floresta Atlântica nordestina, onde o empobrecimento da flora e áreas dominadas por espécies características de borda de fragmentos faz-se presente. Além disso, assim como observado em Costa Rica por Schedlbauer et al. (2007), remanescentes de floresta madura são muito raros ou mesmo ausentes em Aldeia, de modo que a ausência do efeito de borda pode refletir uma limitação na disponibilidade de espécies de estágios mais avançados de sucessão vegetal. Além disso, as áreas também são bastante defaunadas, tanto em termos de densidade quanto de espécies, o que pode significar dificuldades no processo de dispersão de sementes, principalmente daquelas com grandes propágulos que geralmente são associados a espécies de estágio sucessional mais avançado.

#### 4.3. Parâmetros da paisagem

A Floresta Atlântica nordestina vem apresentando configurações preocupantes como resultado da fragmentação e perda de habitat das últimas décadas (Dantas 2009, Lopes et al. 2009, Oliveira et al. 2004, Tabarelli et al. 2008, Santos et al. 2008). Os pequenos fragmentos e as bordas de florestas maduras estão cada vez mais parecidos com florestas secundárias em início de sucessão (Santos et al. 2008); contudo, no estudo desenvolvido por Dantas (2009), o carbono estocado pelas árvores (DAP > 10 cm) apresentou-se positivamente correlacionados com o percentual de espécies tolerantes à sombra, indicando que estas áreas perdem seu potencial máximo de armazenamento de carbono à medida que apresentam uma composição

de espécies abundantemente de pioneiras. Além disso, Dantas et al. (2011) observou que o interior da floresta contínua apresentava três vezes mais carbono estocado do que a borda e os pequenos fragmentos florestais estudados – já que estes últimos exibiam uma menor abundância de espécies de árvores grandes. Fragmentos florestais que apresentam ao redor uma vizinhança de grandes fragmentos de floresta madura contínua exibem uma maior riqueza de espécies (Lees and Peres 2008) e tem a sua possibilidade de chegada de espécies clímax aumentada durante o processo de recolonização desses fragmentos (Laurance et al. 2006). No presente trabalho, entretanto, não houve correlação entre o percentual de habitat ao redor da área e o carbono estocado, nem entre o tamanho da área e o carbono armazenado por ela. Em Aldeia, como foi dito anteriormente, a presença de fragmentos de floresta madura são raros, o que limita a contribuição de espécies de estágios mais avançados de sucessão. Por serem justamente as espécies de árvores maduras e emergentes as responsáveis pelos maiores valores de biomassa das florestas, estando, contudo, presentes em número pequeno e não em todas as áreas estudadas, estas espécies não puderam contribuir com grandes valores de estoque de carbono, ficando para as pioneiras este papel. Portanto, a ausência de propágulos de árvores maduras faz com que a quantidade de carbono armazenada pelas áreas não tenha diferença – visto que a composição de espécies é praticamente de árvores de estágios de sucessão inicial – e seja independente da cobertura vegetal do entorno ou até mesmo do tamanho da área, já que os propágulos que chegam são em grande maioria de espécies de estágios iniciais de sucessão que contribuem com uma quantidade de carbono limitada quando comparadas com as de estágio tardio. Dantas et al. (2011) observaram que as espécies de dossel e sub-bosque dos pequenos fragmentos não conseguiam compensar a ausência de espécies emergentes no que se referia à estocagem de carbono. O mesmo parece acontecer nos fragmentos estudados em Aldeia, onde a ausência de elevada abundância de árvores emergentes não consegue ser suprida pelas espécies pioneiras observadas na área. Ao contrário de Letcher and Chazdon (2009), que observaram que o percentual de cobertura vegetal num *buffer* de 1 km não exerceu influência no acúmulo de biomassa e na riqueza de espécies pelas florestas secundárias da região de Sarapiquí (Costa Rica) devido à grande extensão da cobertura vegetal que circundava todas as áreas estudadas, que ainda exibia uma paisagem de fragmentos de floresta madura e secundária.

#### *4.4. Influência da espécie exótica*

Muito tem se discutido a respeito da presença das espécies exóticas nos ecossistemas em que foram inseridas (Lugo and Helmer 2004, Lugo 2004, Martínez et al. 2010). Sabe-se,

por exemplo, que as florestas secundárias de Porto Rico apresentam uma combinação de espécies outrora jamais observada, com espécies exóticas exibindo elevados valores de importância dentro da comunidade e persistindo por décadas dentro do ecossistema (Lugo and Helmer 2004). Pouco se sabe, entretanto, do papel destas espécies no âmbito de reter carbono em sua biomassa viva (Asner et al. 2009, Kirby and Potvin 2007, Wilsey et al. 2009). O presente estudo observou que as espécies nativas não têm sua retenção de carbono afetada quando a o indivíduo no centro da parcela é uma espécie exótica, apresentando as mesmas quantidades estocadas em ambas as situações. Em um trabalho de revisão feito por Daehler (2003), ele observou que dos três estudos encontrados, em apenas um a espécie exótica de gramínea apresentava valores de biomassa superiores àqueles da nativa ecologicamente equivalente, nos outros dois a biomassa estocada por ambas não eram diferentes (Pavlik 1983, Horn and Prach 1994, Smith and Knapp 2001 *apud* Daehler 2003). Já Wilsey et al. (2009) observaram que as parcelas onde havia uma mistura de gramíneas exóticas, a quantidade de carbono era significativamente maior do que aquelas em que havia uma mistura de nativas. Entretanto, Asner et al. 2009 notaram que as áreas de floresta dominadas por espécies exóticas acumularam significativamente menos biomassa do que aquela em que dominavam as espécies nativas. Dependendo das condições em que estão inseridas, as espécies exóticas atuam de maneira diferente, podendo ser prejudicial, neutra ou até beneficiando o ecossistema. O fato do presente trabalho não ter observado influência negativa destas espécies na quantidade de carbono acumulada pelas nativas, entretanto, não exclui a possibilidade das mesmas estarem afetando o recrutamento das nativas. Além disso, a abundância de espécies pioneiras denotando uma configuração de paisagem de áreas em estágios iniciais de sucessão pode estar mascarando o real efeito destas espécies no carbono acumulado, já que a presença de espécies nativas maduras e/ou emergentes apresentam-se em tão pouca quantidade que não é capaz de influenciar o carbono acumulado pelas áreas estudadas. Adicionalmente, apesar das espécies exóticas estarem frequentemente associadas à maior capacidade fotossintética (Gulias et al. 2003; Leishman et al. 2007), trabalhos recentes têm mostrado que as espécies exóticas e as nativas não apresentam diferenças quanto à eficiência do uso do nitrogênio (Leishman et al. 2007) e, quando co-ocorrem, apresentam estratégias similares de captura de carbono (Leishman et al. 2010). Por ter feito parte do processo de sucessão das áreas estudadas e já co-ocorrer com as espécies nativas da região há bastante tempo, a espécie analisada pode se comportar como o observado por Leishman et al. (2010) e não influenciar negativamente no carbono armazenado pelas nativas, apresentando, de fato, estratégias similares de captura de carbono.

## 5. Conclusão

A região de Aldeia apresentou uma composição de espécies abundantemente de estágios iniciais de sucessão, com as pioneiras constituindo 88,5% dos indivíduos e sendo responsáveis pelos maiores estoques de carbono em sua biomassa. Ao contrário do que se esperava, a densidade de árvores maduras clímax e/ou emergentes não aumentou à medida que as parcelas amostradas se distanciavam da borda, tampouco houve um declínio na densidade de pioneiras, evidenciando uma distribuição dos grupos ecológicos que não variava em função da distância da borda. Também não foi observado efeito de borda na distribuição e na quantidade de carbono estocado pelas espécies exóticas, que contribuíram com valores relevantes de carbono armazenado, chegando a somar mais de 70% do carbono estocado a 400 m da borda em uma das áreas estudadas. O fato da região de Aldeia apresentar poucos fragmentos de floresta madura pôde ser refletido na ausência de correlação entre o carbono estocado e o percentual de habitat remanescente ao redor da área e entre o tamanho da área e o carbono armazenado, o que acaba limitando a contribuição de espécies de estágios mais avançados de sucessão durante o processo de recolonização. Ainda, as espécies exóticas não interferiram no carbono estocado pelas nativas, que exibiram os mesmos valores de estoque de carbono quando a espécie no núcleo da parcela era exótica ou nativa. Tal resultado indica que as exóticas devem ter participado do processo de sucessão da área e, portanto, já fazem parte da composição de espécies da região há décadas; tais circunstâncias podem ter implicado em estratégias similares de captura de carbono entre as co-ocorrentes. Fica evidente que as florestas secundárias de Aldeia prestam relevante papel na manutenção de biodiversidade do ecossistema e regulação hídrica e climática, tendo neste contexto as espécies exóticas como forte aliadas. Essas novas configurações em que espécies não nativas se fazem presente, portanto, podem sim continuar prestando serviços ambientais importantes (principalmente no que diz respeito à regulação climática visto que a presente concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é a maior dos últimos 650.000 anos) e merecem devida atenção visto que elas vêm se tornando cada vez mais frequente globalmente à medida que florestas secundárias se regeneram.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos ao Cnpq pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento do trabalho junto ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco. A ONG Idea Wild que nos forneceu equipamento essencial para a execução do estudo e àqueles que contribuíram na identificação do material vegetal coletado.

## 7. Referências

- Alves-Costa, C.P., Lôbo, D., Leão, T., Brancalion, P.H.S., Nave, A.G., Gandolfi, S., Santos, A.M. ; Rodrigues, R.R., Tabarelli, M. 2008. Implementando Reflorestamentos com Alta Diversidade na Zona da Mata Nordestina. Guia Prático. 1. ed. Recife: J. Luiz Vasconcelos, v. 1. 218 p.
- Aide, T.M., Zimmerman, J.K., Herrera, L., Rosario, M., Serrano M. 1995. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 77: 77–86.
- Aide, T.M., Zimmerman, J.K., Pascarella, J.B., Rivera, L., Marcano-Vega, H. 2000. Forest regeneration in a chronosequences of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. *Restoration Ecology* 8: 328–338
- Aragón, R., Morales, J.M. 2003. Species composition and invasion in NW Argentinian secondary forests: effects of land use history, environment and landscape. *Journal of Vegetation Science* 14: 195-204.
- Asner, G.P., Hughes, R.F., Varga, T.A., Knapp, D.E., Kennedy-Bowdoin, T. 2009. Environmental and biotic controls over aboveground biomass throughout a tropical rainforest. *Ecosystems* 12: 261–278.
- Angiosperm Phylogeny Group II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnaean Society* 141 (4): 399-436.
- Backes, P., Irgang, B. 2004. Mata Atlântica: as árvores e a paisagem. 1ª ed. Editora Paisagem do Sul, Instituto Souza Cruz.
- Canadell, J. G., Raupach, M. R. 2008. Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* 320: 1456-1457.
- Canadell, P.; Ciais, P.; Conway, T.; Field, C. B.; Lé Quéré, C.; Houghton, R. A.; Marland, G.; Raupach, M. R. 2008. Carbon Budget 2007. Global Carbon Project.

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chabers, J.Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakur, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87–99.
- China, J.D., Helmer, E.H. 2003. Diversity and composition of tropical secondary forests recovering from large-scale clearing: results from 1990 inventory in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 180: 227–240.
- Daehler, C.C. 2003. Performance comparisons of co-occurring native and alien invasive plants: Implications for conservation and restoration. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 183-211.
- Dantas, M. 2009. Sequestro de carbono em áreas de regeneração natural de diferentes idades no Centro de Endemismo Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 68p.
- Dantas, M., Alves-Costa, C. P., Tabarelli, M. 2011. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. *Tropical Conservation Science* 4(3): 340-349.
- Dantas, M., Leão, T.C.C. 2008. Importância da região de Aldeia e evolução da cobertura florestal. Palestra apresentada na Oficina “Gestão ambiental participativa para a Mata Atlântica: identificando problemas e construindo soluções. Lançamento da Plataforma Ambiental para a região de Aldeia”.
- FAO (Food and Agriculture Organization) 2007. State of the world’s forests. FAO, Rome.
- Ferraz, S. F. B.; Vettorazzi, C. A.; Theobald, D. M. 2009. Using indicators of deforestation and land-use dynamics to support conservation strategies: A case study of central Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 257: 1586–1595.
- Fox, J.C., Yosi, C.K., Nimiago, P., Oavika, F., Pokana, J.N., Lavong, K., Keenan, R.J. 2010. Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical Forest in Papua New Guinea. *Biotropica*, 42: 410-419.
- Gulias, J., Flexas, J., Mus, M., Cifre, J., Lefi, E., Medrano, H. 2003. Relationship between maximum leaf photosynthesis, nitrogen content and specific leaf area in Balearic endemic and non-endemic Mediterranean species. *Annals of Botany (London)*, 92: 215–222.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L. & Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica* 28: 153-165.

- Hill, J.L., Curran, P.J. 2003. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. *Journal of Biogeography* 30: 1391–1403.
- Hobbs, R. J.; Arico, S.; Aronson, J.; Baron, J. S.; Bridgewater, P.; Cramer, V. A.; Epstein, P. R.; Ewel, J. J.; Klink, C. A.; Lugo, A. E.; Norton, D.; Ojima, D.; Richardson, D. M.; Sanderson, E. W.; Valladares, F.; Vila, M.; Zamora, R. and Zobel, M. 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography* 15:1–7.
- Holz, S., Placci, G., Quintana, R.D. 2009. Effects of history of use on secondary forest regeneration in the Upper Parana Atlantic Forest (Misiones, Argentina). *Forest Ecology and Management* 258: 1629–1642.
- Hughes, F.J., Kauffman, B., Jaramillo, V.J. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a Humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80: 1892–1907.
- IBGE, 1991. Classificação da vegetação Brasileira, adaptada a um sistema universal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- ITTO, 2002. ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests. ITTO Policy Development Series No.13.
- Kirby, K.R., Potvin, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology Management* 246: 208–221.
- Laurance, W.F., Laurance, S.G., Ferreira, L.V., Rankin-de-Merona, J.M., Gascon, C., Lovejoy, T.E. 1997. Biomass collapse in Amazonian Forest fragments. *Science* 278: 1117±1118.
- Laurance, W. F., Ferreira, L. V., Rankin-de-Merona, J. M., Laurance, S. G., 1998. Rainforest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology* 79: 2032±2040.
- Laurance, W.F., Delamonica, P., Laurance, S.G., Vasconcelos, H.L., Lovejoy, T.E. 2000. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature* 404: 836.
- 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* 87:469–482.
- Laurance, W.F., Curran, T.J., 2008. Impacts of wind disturbance on fragmented tropical forests: A review and synthesis. *Austral Ecology* 33: 399–408.
- Lees, A.C., C.A. Peres. 2008. Conservation value of remnant riparian forest corridors of varying quality for Amazonian birds and mammals. *Conservation Biology* 22: 439–449.

- Leishman, M.R., Haslehurst, T., Ares, A., Baruch, Z. 2007. Leaf trait relationships of native and invasive plants: community and global scale comparisons. *New Phytologist*, 176: 635–643.
- Leishman, M.R., Thomson, V.P., Cooke, J. 2010. Native and exotic invasive plants have fundamentally similar carbon capture strategies. *Journal of Ecology* 98: 28–42.
- Le Quéré C, Raupach MR, Canadell JG, Marland G et al. 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature geosciences*, doi: 10.1038/ngeo689. <http://www.nature.com/ngeo/journal/v2/n12/full/ngeo689.html>
- Letcher, S.G., Chazdon, R.L. 2009. Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. *Biotropica* 41: 608–617.
- Liebsch, D., Marques, M.C.M., Goldenberg, R. 2008. How long does the Atlantic rain forest take to recover after disturbance? Changes in species composition and ecological futures during secondary succession. *Biological Conservation* 141: 1717–1725.
- Lopes, A.V., Girao, L.C., Santos, B.A., Peres, C.A., Tabarelli, M., 2009. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic Forest fragments. *Biological Conservation* 142: 1154–1165.
- Lorenzi, H. 1998. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. v. 2 Nova Odessa: Plantarum.
- Lorenzi, H. 2000. *Árvores brasileiras*. v. 1. 3<sup>a</sup> ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum.
- Lorenzi, H., Souza, H. M., Torres, M. A. V., Bacher, L. B. 2003. *Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas*. São Paulo: Nova Odessa, Instituto Plantarum.
- Lugo, A.E. 2009. The emerging Era of novel tropical Forests. *Biotropica* 41:589–591.
- Lugo, A.E. 2004. The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico. *Frontiers in Ecology and Environment* 2: 265–273.
- Lugo, A.E., Helmer, E., 2004. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology Management* 190: 145–161.
- Martínez, O.J.A. 2010. Invasion by native tree species prevents biotic homogenization in novel forests of Puerto Rico. *Plant Ecology* 211:49–64.
- Metzger, J.P. 2000. Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. *Ecological Applications* 10:1147–1161.
- Metzger, J.P., Martensen, A.C., Dixo, M., Bernacci, L.C., Ribeiro, M.C., Teixeira, A.M.G. and Pardini, R. 2009. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. *Biological Conservation* 142: 1166–1177.

- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Oliveira, F.M. 2003. *Cidadania e cultura política no poder local*. Dissertação (Mestrado em Ciência Política) – Universidade Federal de Pernambuco, 222p.
- Oliveira, M.A., Grillo, A.S., Tabarelli, M. 2004. Forest edge in the Brazilian Atlantic Forest: drastic changes in tree species assemblages. *Oryx* 38: 389–394.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F., Hirota, M.M, 2009. Brazilian Atlantic forest: how much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142: 1141–1153.
- Santos, B. A.; Peres, C. A.; Oliveira, M. A.; Grillo, A.; Alves-Costa, C. P. and Tabarelli, M. 2008. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic forest fragments of northeastern Brazil. *Biological Conservation* 141: 249-260.
- Santos C. B. M. 2008. *Percepção ambiental e avaliação do conhecimento sobre princípios ecológicos de uma comunidade em Aldeia, Camaragibe, PE*. Monografia de conclusão do curso de Ciências Biológicas, bacharelado, UFPE, Recife, PE.
- Santos, S. R. M., Miranda, I. S. & Tourinho, M. M. 2004. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. *Acta Amazonica* 34 (1): 1 – 8.
- Schedlbauer, J. L.; Finegan, B. and Kavanagh, K.L. 2007. Rain Forest Structure at Forest-Pasture Edges in Northeastern Costa Rica. *Biotropica* 39 (5): 578–584.
- Silva, J.M.C., Tabarelli, M. 2000. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. *Nature* 404: 72–74.
- Souza, C.L.D.A.C. 2010. *O zoneamento como instrumento para o planejamento e gestão ambiental integrados. Uma Análise da Região de Aldeia / PE*. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, 98p.
- SOS Mata Atlântica and INPE. 2009. São Paulo: SOS Mata Atlântica e Instituto de pesquisas espaciais.
- Tabarelli, M., Aguiar, A.V., 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.
- Tabarelli, M., Lopes, A.V., Peres, C.A., 2008. Edge-effects drive Tropical Forest fragments towards an early-successional system. *Biotropica* 40: 657–661.
- Thomazini, M.J.; Thomazini, A.P.B.W. 2000. *A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas*. Rio Branco: Embrapa Acre, 21p.

- Vieira, S. A., Alves, L. F., Aidar, M., Araújo, L. S., Baker, T., Batista, J. L. F., Campos, M. C., Camargo, P. B., Chave, J., Delitti, W. B. C., Higuchi, N., Honorio, E., Joly, C. A., Keller, M., Martinelli, L. A., Mattos, E. A., Metzker, T., Phillips, O., Santos, F. A. M., Shimabukuro, M. T., Silveira, M. and Trumbore, S. E. 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropical* 8 (2): 21-29.
- Wilsey, B.J., Teaschner, T.B., Daneshgar, P.P., Isbell, F.I., Polley, H.W. 2009. Biodiversity maintenance mechanisms differ between native and novel exotic-dominated communities. *Ecology Letters* 12:432–442.
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis*. London: Prentice-Hall.

## LISTA DE TABELA

Tabela 1. Quantidade de carbono (%) estocada pela espécie dominante (aquela que mais estocou carbono) a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100m a 400m = 5). \* Espécie exótica

Espécies dominantes	Distância da borda (m)					
	0	50	100	200	300	400
<i>Albizia pedicellaris</i>	11,43%	24,38 %			52,57 %	
<i>Albizia pedicellaris</i>	31,63%	27,53 %				
<i>Alseis floribunda</i>		42,36 %				
<i>Apeiba tibourbou</i>	17,26%					
<i>Artocarpus heterophyllus</i> *	55,83%			58,34 %		53,72 %
<i>Artocarpus heterophyllus</i> *	37,08%			25,4 %		
<i>Aspidosperma discolor</i>		42,84 %				
<i>Bowdichia virgilioides</i>						23,27 %
<i>Brosimum guiaense</i>			18,75 %		27,87 %	
<i>Byrsonima sericea</i>			34,88 %	18,19 %		
<i>Campomanesia dichotoma</i>	45,59%					
<i>Cupania racemosa</i>	18,17%					
<i>Elaeis guianensis</i> *			25,53 %			
<i>Eschweilera ovata</i>	17,3%	18,82 %	39,71 %		31,74 %	
<i>Eschweilera ovata</i>		22,98 %			25,6 %	
<i>Eschweilera ovata</i>		34,09 %		41,21 %		
<i>Eucalyptus</i> sp. *	33,68%	70,69 %			32,83 %	74,32 %
<i>Guapira opposita</i>		26,21%				
<i>Hymenaea courbaril</i>	21,53%					
<i>Inga edulis</i>			30,74 %			
<i>Machaerium hirtum</i>	14,9%					
<i>Mangifera indica</i> *		38,81%				58,31 %
<i>Miconia prasina</i>		22,3%				
<i>Myrcia spectabilis</i>		42,91%				
<i>Samanea tubulosa</i>	17,51%	36,68%				
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	31,85%					
<i>Tapirira guianensis</i>	28,09%	33,3%		35,31 %		
<i>Tapirira guianensis</i>	16,09%	29,97%				38,57 %
<i>Tapirira guianensis</i>	52,77%	47,63%				

Tabela 2. Informações de paisagem das 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE.

Nome da Área	Coordenadas geográficas	Matriz	Área do Fragmento (ha)	% Habitat remanescente	Carbono (tC/ha)
Bel	S 07°55'36,97" W 35°00'15,55"	Chácara	36,03	43,404	69,41656
Can	S 07°54'05,7" W 034°59'46,2"	Chácara/ Descampado	227,16	55,067	36,69594
Cec	S 07°57'49,6" W 034°59'13,3"	Chácara	10,14	41,994	26,16558
Cer	S 07°59'19,17" W 035°00'03,65"	Chácara/ Plantação	6,6	39,940	64,60444
Cim_A	S 07°49'23,4" W 035°06'12,2"	Estrada	209,02	84,341	28,35241
Cim_B	S 07°50'28,02" W 035°06'38,54"	Estrada	267,03	72,817	27,26458
Cim_C	S 07°50'56,16" W 035° 05'37,25"	Estrada	658,51	94,814	33,26072
Cim_D	S 07°51'12,4" W 035° 05'39,6"	Estrada	2.855,14	95,378	32,06192
FM	S 07°59'04,4" W 035°00'03,1"	Rio/ Descampado	7,33	40,056	27,25912
GM	S 07°53'15,53" W 035°01'24,00"	Plantação/ Descampado	54,23	45,370	24,26925
IO	S 07°58'19" W 034°58'46"	Chácara	34,45	41,904	43,58705
MC	S 07°56'32,73" W 035°01'53,40"	Descampado/ Plantação	34,15	6,277	61,57085
MG	S 07°57'33,23" W 034°57'47,84"	Estrada	6,75	61,200	16,90439
SE	S 07°54'29,3" W 035°02'51,6"	Estrada	870,84	93,901	87,46919
Tc	S 07°57'20,66" W 034° 59'03,58"	Chácara	7,27	51,660	41,46688
Val	S 07°59'28,32" W 034°59'43,53"	Chácara	7,82	45,957	30,98547

## LISTA DE FIGURAS

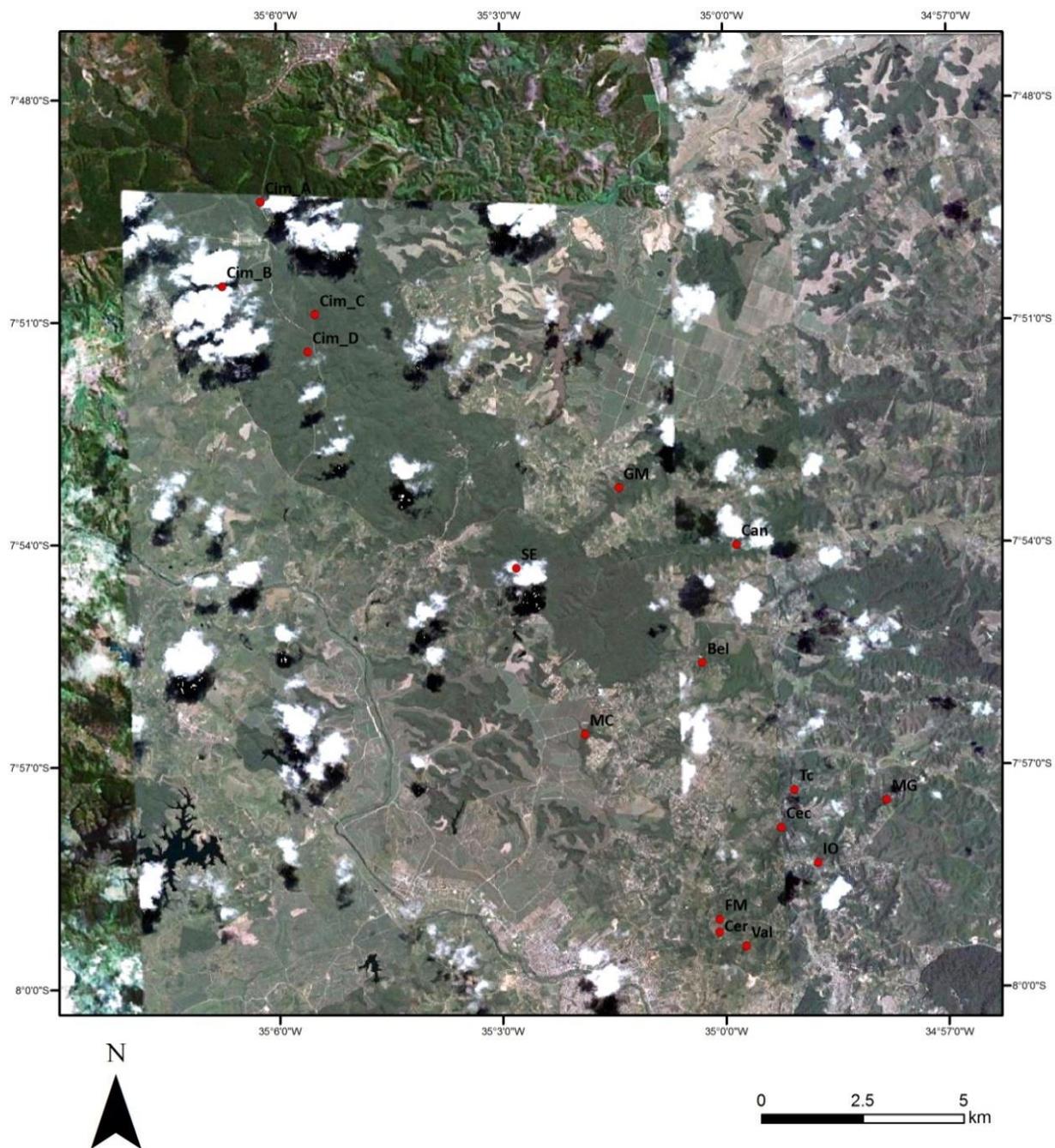


Figura 1. Mapa da área de estudo com a localização das 16 áreas de Floresta Atlântica secundária estudadas em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE.

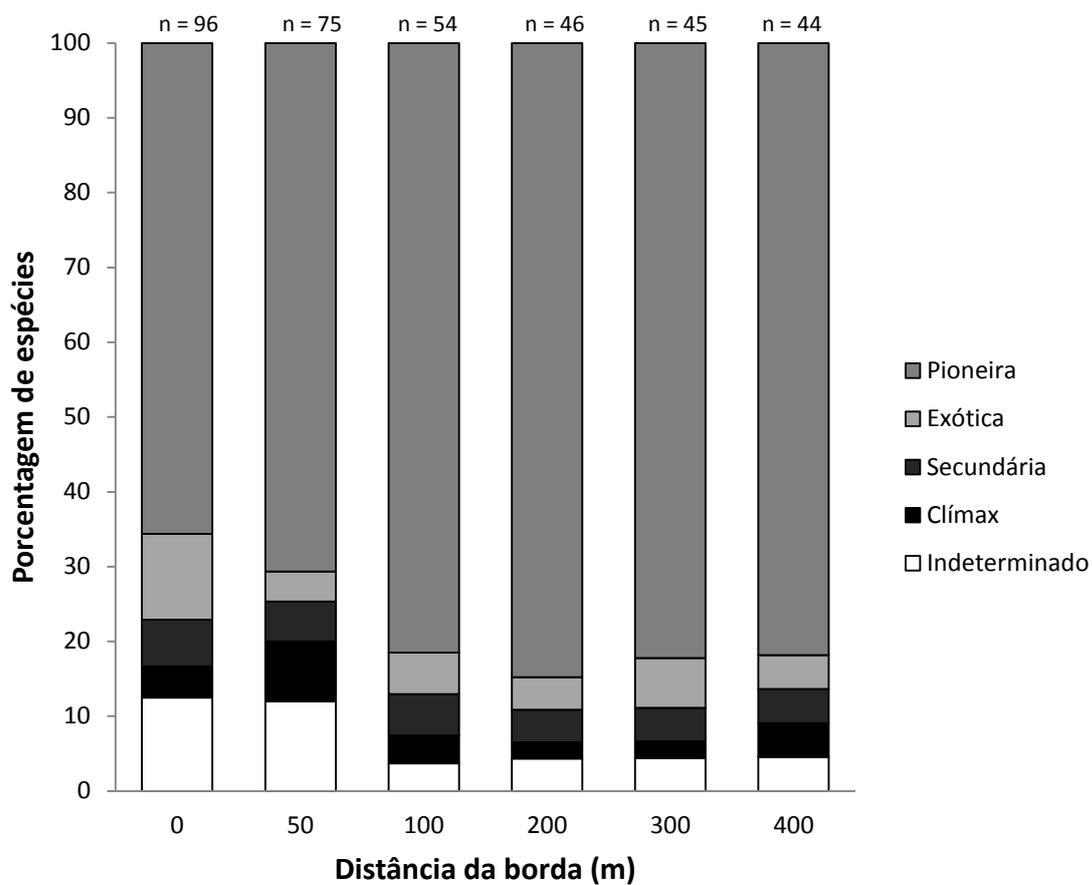


Figura 2. Porcentagem de espécies de diferentes estágios de sucessão a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100m a 400m = 5). Os números acima das barras indicam o número de espécies amostradas.

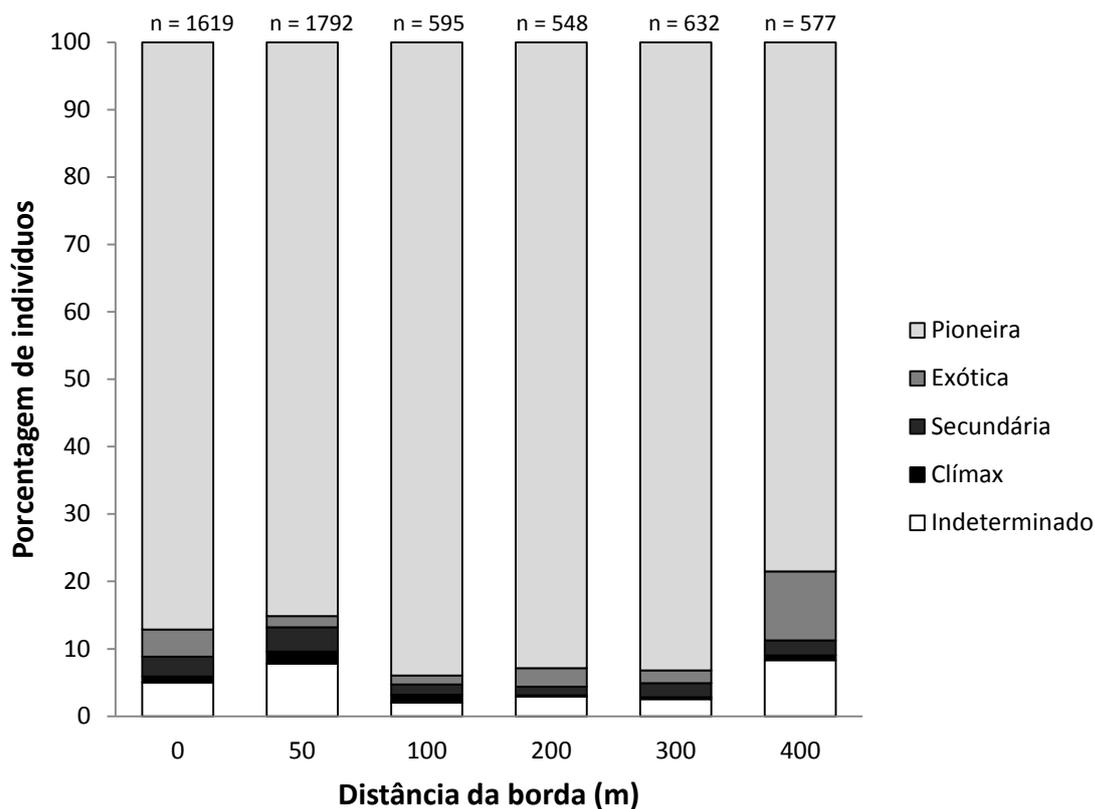


Figura 3. Distribuição (em porcentagem) dos indivíduos de diferentes estágios de sucessão das espécies nativas e distribuição das espécies exóticas a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100m a 400m = 5). Os números acima das barras indicam o número de plantas amostradas.

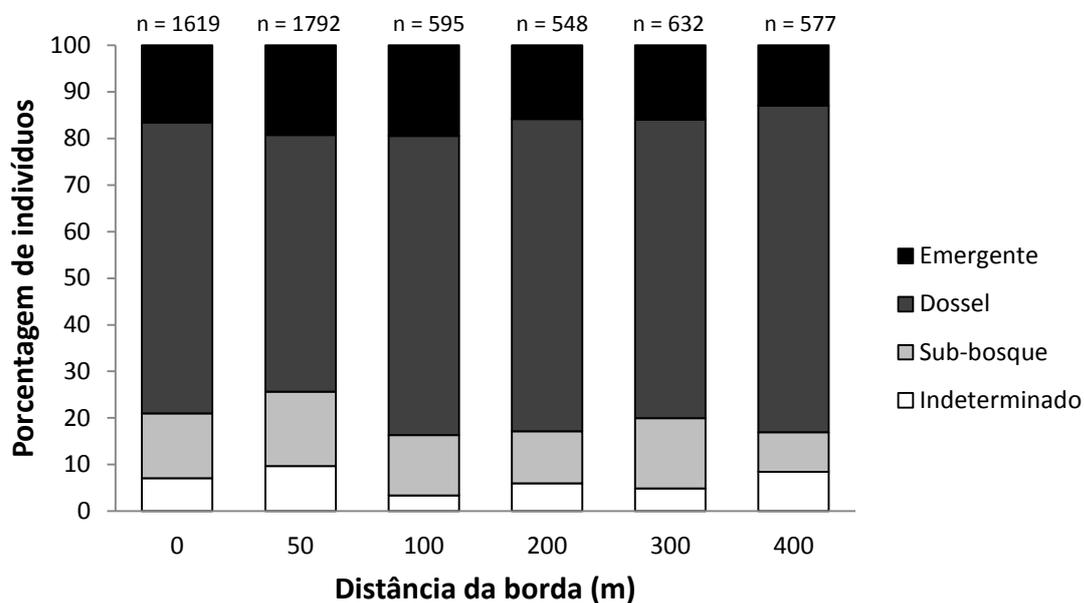


Figura 4. Porcentagem de indivíduos de diferentes estratos florestais a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100m a 400m = 5). Os números acima das barras indicam o número de plantas amostradas.

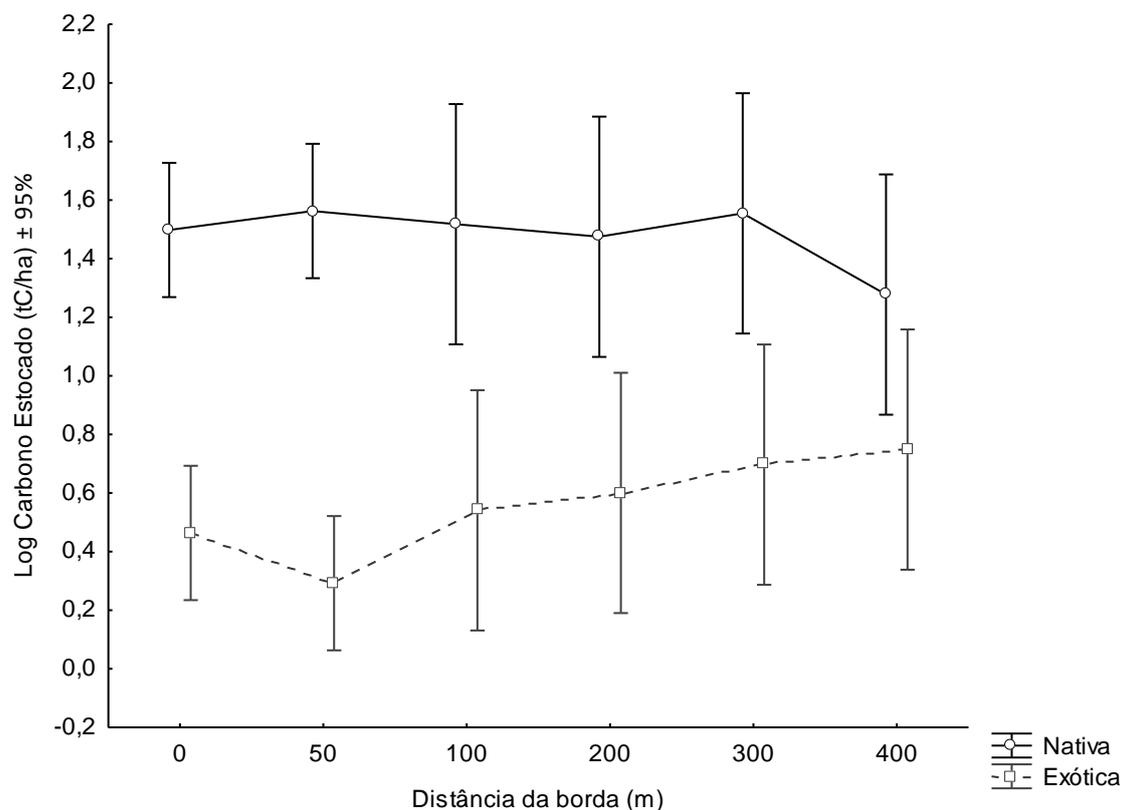


Figura 5. Média da quantidade de carbono estocado por espécies nativas e exóticas a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100 m a 400 m = 5). ANOVA fatorial significativa apenas para a origem da espécie (Interação:  $F=1,69$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,37$ ;  $p=0,14$ ; Distância da borda:  $F = 0,79$ ; g.l.= 5;  $MS = 0,17$ ;  $p = 0,89$ ; Origem:  $F = 64,6731$ ; g.l. = 1;  $MS = 14,1$ ;  $p \ll 0,001$ ).

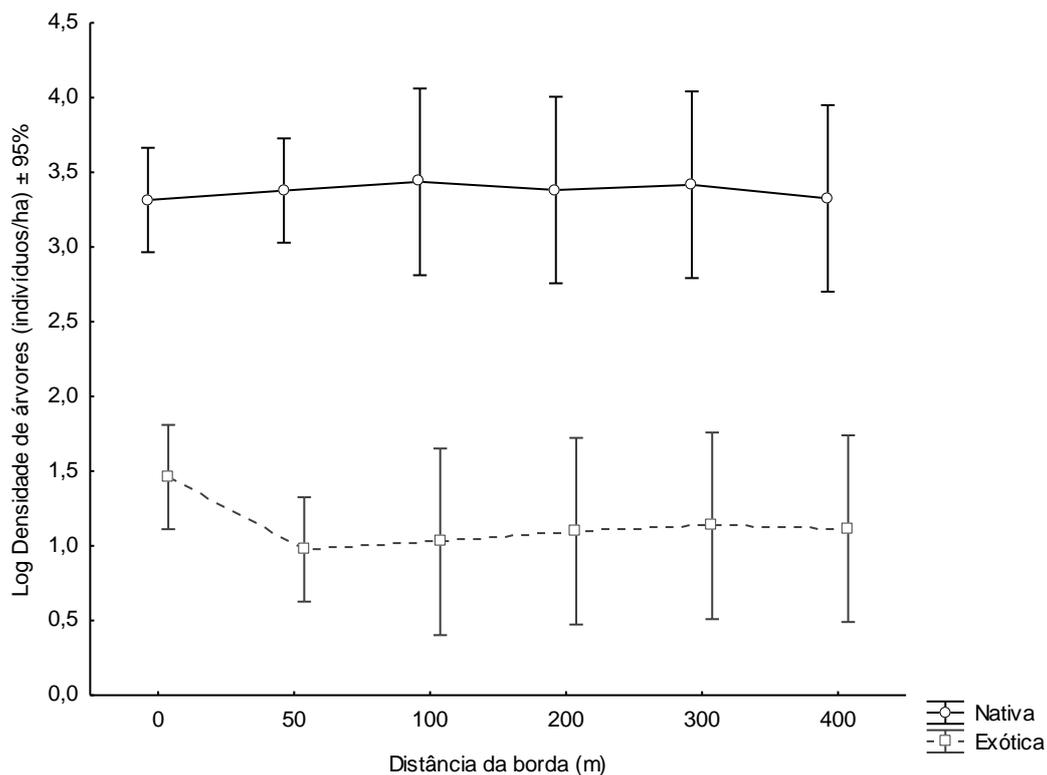


Figura 6. Média da densidade de indivíduos de espécies nativas e exóticas a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica Secundária. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100 m a 400 m = 5). ANOVA fatorial significativa apenas para a origem da espécie (Interação:  $F=,57618$ ,  $p=,71809$ ; Distância da borda:  $F = 0,3101$ ;  $p = 0,905724$ ; Origem:  $F = 197,5000$ ;  $p = 0,000000$ ).

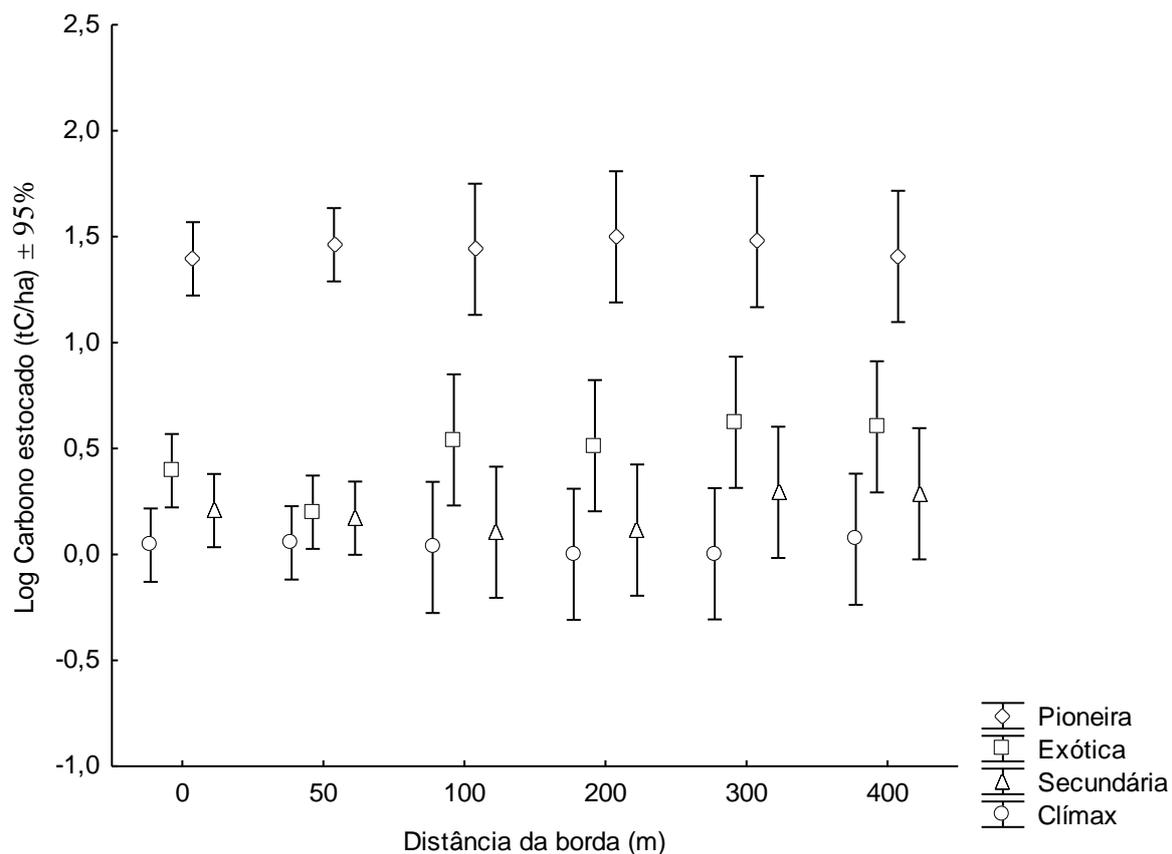


Figura 7. Média da quantidade de carbono estocada pelos grupos ecológico encontrados em 16 fragmentos de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas às distâncias 0 m e 50 m = 16; 100 m a 400 m = 5). ANOVA fatorial significativa apenas para o grupo ecológico a qual a espécie pertence (Interação:  $F=,61807$ ,  $p =,85790$ ; distância da borda:  $F = 0,89$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,12$ ;  $p = 0,48$ ; grupo ecológico:  $F = 126,2742$ ;  $p = 0,000000$ ).

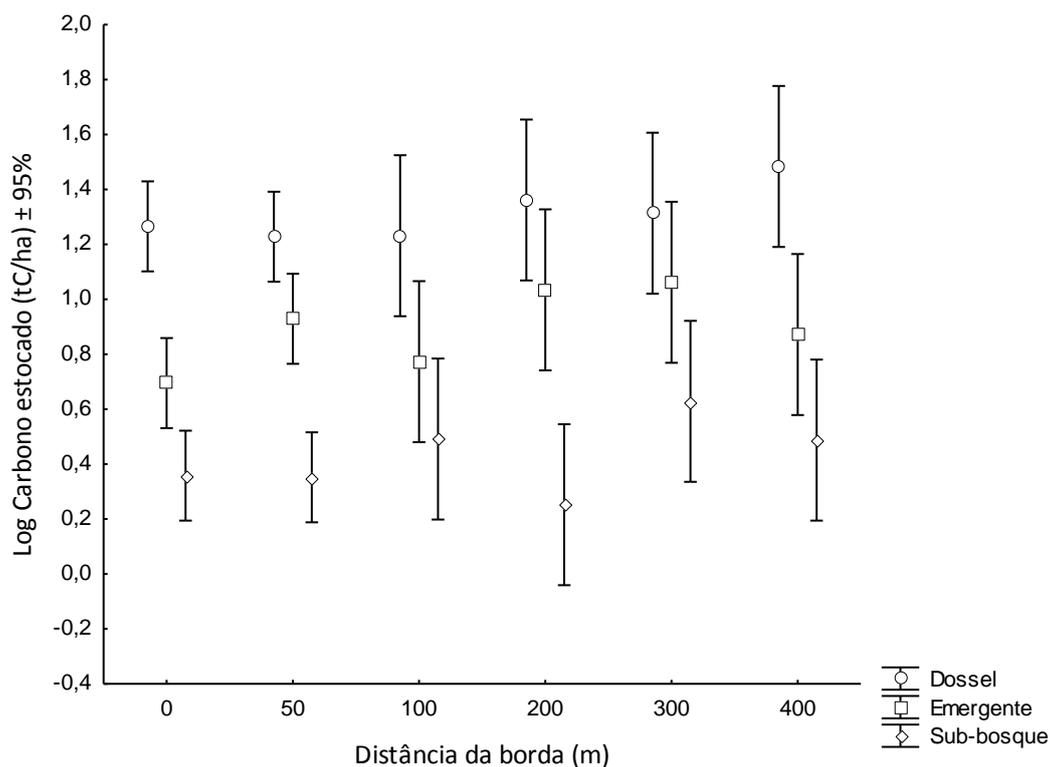


Figura 8. Quantidade de carbono estocado de acordo com o estrato florestal que a espécie ocupa a diferentes distâncias da borda em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de áreas nas distâncias 0 m e 50 m = 16; 100m a 400m = 5). ANOVA fatorial significativo apenas para o estrato que a espécie ocupa na floresta (Interação:  $F=,39718$ ,  $p=,94607$ ; estrato:  $F = 59,7436$ ,  $p = 0,000000$ ; distância da borda:  $F = 0,89$ ; g.l. = 5;  $MS = 0,12$ ;  $p = 0,48$ ).

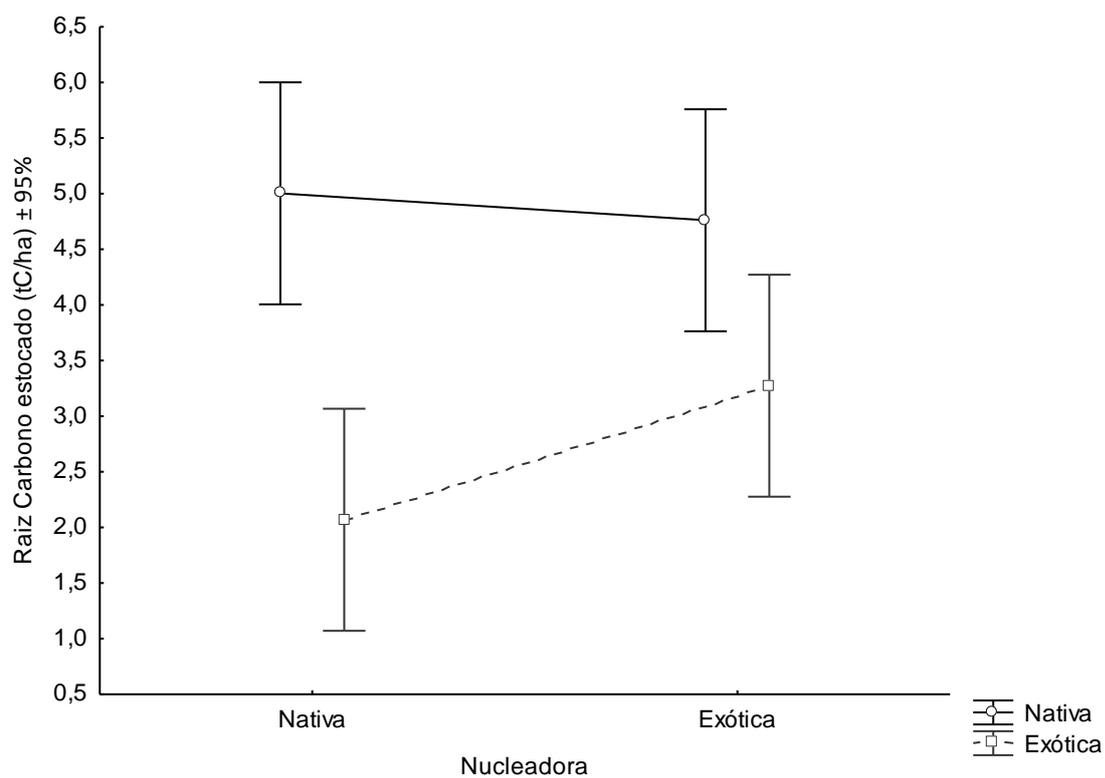


Figura 9. Média da quantidade de carbono estocado por espécies exóticas e nativas de acordo com a espécie nucleadora em fragmentos de Floresta Atlântica Secundária em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Número de pares = 21). ANOVA fatorial significativa apenas para a origem da espécie (Interação:  $F=2,08$ ; g.l. = 1;  $MS = 10,99$ ;  $p=0,15$ ; Nucleadora:  $F = 0,92$ ; g.l. = 1;  $MS = 4,86$ ;  $p = 0,34$ ).

## APÊNDICE B - Lista de espécies encontradas nos fragmentos estudados.

Tabela 1. Lista de espécies encontradas em 16 áreas de Floresta Atlântica secundária e seus respectivos dados de atributos ecológicos em Aldeia, região metropolitana de Recife, PE. (Quantidade de carbono em toneladas = soma das quantidades de carbono estocadas pela espécie em diferentes áreas).

Espécie	Família	Origem	Estágio sucessional	Estrato	Carbono estocado (tC)
<i>Acrocomia intumescens</i>	Arecaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,464052791
<i>Albizia pedicellaris</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	5,542348834
<i>Allophylus edulis Radlk</i>	Sapindaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	1,102371764
<i>Alseis floribunda</i>	Rubiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,714303514
<i>Amaioua guianensis</i>	Rubiaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,00072654
<i>Amphirrhox longifolia</i>	Violaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,002270792
<i>Amphirrhox</i> sp.	Violaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,044176289
<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,00912998
<i>Anaxagorea dolichocarpa</i>	Annonaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,080190514
<i>Anaxagorea</i> sp.	Annonaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,142278988
<i>Andira fraxinifolia</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,292132252
<i>Andira paniculata</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,463912259
<i>Apeiba tibourbon</i>	Malvaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,211283273
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Moraceae	Exótica	Exótica	Dossel	7,649616291
<i>Aspidosperma discolor</i>	Apocynaceae	Nativa	Secundária	Emergente	1,800568627
<i>Bowdichia virgilioides</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,718399245
<i>Bractis ferruginea</i>	Arecaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,263143261
<i>Brosimum guiaense</i>	Moraceae	Nativa	Pioneira	Dossel	5,108622552
<i>Brosimum rubescens</i>	Moraceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,000978367
<i>Brosimum</i> sp.	Moraceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,000944392
<i>Byrsonima sericea</i>	Malpighiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	2,034074355
<i>Byrsonima</i> sp.	Malpighiaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,036137563
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Fabaceae	Exótica	Exótica	Sub-bosque	0,003354881
<i>Calyptanthus dardanoi</i>	Myrtaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,11171951
<i>Campomanesia dichotoma</i>	Myrtaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	2,260089264
<i>Casearia arborea</i>	Salicaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,007949451
<i>Casearia javitensis</i>	Salicaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,248398488
<i>Casearia sylvestris</i>	Salicaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,020703938
<i>Cecropia pachystachya</i>	Urticaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,574163068
<i>Citrus</i> sp.	Rubiaceae	Exótica	Exótica	Sub-bosque	0,0022528
<i>Coccoloba alnifolia</i>	Polygonaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,336779404
<i>Cordia</i> sp.	Boraginaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,000589488
<i>Cordia superba</i>	Boraginaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,011632225
<i>Cupania oblongifolia</i>	Sapindaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,127021655
<i>Cupania paniculata</i>	Sapindaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,00130341
<i>Cupania racemosa</i>	Sapindaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	3,431959015
<i>Cupania revoluta</i>	Sapindaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,331757267
<i>Cupania</i> sp.	Sapindaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,18792931
<i>Delonix regia</i>	Fabaceae	Exótica	Exótica	Dossel	0,467120822
<i>Diploon cuspidatum</i>	Sapotaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,001410216

<i>Elaeis guianensis</i>	Arecaceae	Exótica	Exótica	Sub-bosque	1,696778614
<i>Eriotheca crenulicalyx</i>	Malvaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	0,003769804
<i>Erythroxylum mucronatum</i>	Erythroxylaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,027476995
<i>Erythroxylum citrifolium</i>	Erythroxylaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,043886785
<i>Eschweilera ovata</i>	Lecythidaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	10,61485826
<i>Eucalyptus sp.</i>	Myrtaceae	Exótica	Exótica	Emergente	14,42769682
<i>Eugenia cf umbelliflora</i>	Myrtaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,009945131
<i>Eugenia florida</i>	Myrtaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,066736647
<i>Ficus sp 2</i>	Moraceae	Nativa	Indeterminado	Dossel	0,000642147
<i>Ficus sp.</i>	Moraceae	Nativa	Indeterminado	Dossel	0,050165717
<i>Garcinia gardineriana</i>	Clusiaceae	Nativa	Clímax	Dossel	0,028423224
<i>Garcinia sp.</i>	Clusiaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,052201575
<i>Genipa americana</i>	Rubiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,071687906
<i>Guapira lasca</i>	Nyctaginaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,009332689
<i>Guapira opposita</i>	Nyctaginaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	1,063404345
<i>Guapira venosa</i>	Nyctaginaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,006079242
<i>Guatteria pogonopus</i>	Annonaceae	Nativa	Clímax	Dossel	0,089095412
<i>Gustavia augusta</i>	Lecythidaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,006534904
<i>Helicostylis tomentosa</i>	Moraceae	Nativa	Clímax	Dossel	0,000636608
<i>Himatanthus phagedaenicus</i>	Apocynaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,820186972
<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	1,010842823
<i>Hymenolobium janeirense</i>	Fabaceae	Nativa	Secundária	Dossel	0,124590752
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,378282987
<i>Inga marginata</i>	Fabaceae	Nativa	Secundária	Dossel	2,275625056
<i>Inga sp.</i>	Fabaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,008357896
<i>Inga sp. 2</i>	Fabaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,236373289
<i>Inga thibaudiana</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,790660037
<i>Inga vera</i>	Fabaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,160874871
<i>Lecythis pisonis</i>	Lecythidaceae	Nativa	Clímax	Emergente	0,122626262
<i>Luehea ochrophylla</i>	Malvaceae	Nativa	Secundária	Indeterminado	0,017457281
<i>Machaerium hirtum</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,389842342
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	Exótica	Exótica	Dossel	2,21455384
<i>Manilkara zapota</i>	Sapotaceae	Exótica	Exótica	Dossel	0,002518202
<i>Miconia albicans</i>	Melastomataceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,004765563
<i>Miconia minutiflora</i>	Melastomataceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,362370974
<i>Miconia prasina</i>	Melastomataceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,01674035
<i>Miconia sp.</i>	Melastomataceae	Nativa	Pioneira	Indeterminado	0,025994827
<i>Myrcia guianensis</i>	Myrtaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,041887753
<i>Myrcia sp.</i>	Myrtaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,459875901
<i>Myrcia spectabilis</i>	Myrtaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	2,674560995
<i>Myrcia splendens</i>	Myrtaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,083957159
<i>Myrcia sylvatica</i>	Myrtaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,061881848
<i>Myrsine guianensis</i>	Myrsinaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,000800486
<i>Ocotea bracteosa</i>	Lauraceae	Nativa	Secundária	Dossel	0,003829918
<i>Ocotea glomerata</i>	Lauraceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,766077675
<i>Ocotea sp.</i>	Lauraceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,006468988
<i>Ocotea sp2</i>	Lauraceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,174884675
<i>Ormosia bahiensis</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,006141478

<i>Ouratea castaneifolia</i>	Ochnaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,08358248
<i>Parkia pendula</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,22048976
<i>Paypayrola blanchetiana</i>	Violaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,05730841
<i>Pera glabrata</i>	Euphorbiaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,069041736
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	Exótica	Exótica	Sub-bosque	0,043320997
<i>Pisonia</i> sp.	Nyctaginaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,001111964
<i>Plumeria rubra</i>	Apocynaceae	Exótica	Exótica	Dossel	0,012409446
<i>Pogonophora schomburgkiana</i>	Euphorbiaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	1,631954627
<i>Pouteria gardneri</i>	Sapotaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,002129689
<i>Pouteria glomerata</i>	Sapotaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,051563194
<i>Pouteria</i> sp.	Sapotaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,000809029
<i>Pradosia lactescens</i>	Sapotaceae	Nativa	Clímax	Emergente	0,000410718
<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,221740831
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Exótica	Pioneira	Dossel	0,002124631
<i>Psychotria cartaginensis</i>	Rubiaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,02956011
<i>Rudgea jacobinensis</i>	Rubiaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,001117052
<i>Samanea tubulosa</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,616591282
<i>Sapium aubletianum</i>	Euphorbiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,157420063
<i>Sapium glandulatum</i>	Euphorbiaceae	Nativa	Pioneira	Indeterminado	0,001853052
<i>Schefflera morototoni</i>	Araliaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	2,731675145
<i>Schefflera</i> sp.	Araliaceae	Exótica	Exótica	Indeterminado	0,364318403
<i>Sclerolobium densiflorum</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	0,171512668
<i>Senefeldera multiflora</i>	Euphorbiaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,020689673
<i>Senna georgica</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Indeterminado	0,024989643
<i>Simarouba amara</i>	Simaroubaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	1,257295136
<i>Sloanea guianensis</i>	Elaeocarpaceae	Nativa	Clímax	Emergente	0,025343038
<i>Sorocea hilarii</i>	Moraceae	Nativa	Clímax	Sub-bosque	0,081641765
<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,022794704
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Fabaceae	Nativa	Pioneira	Emergente	0,48014891
<i>Symphonia globulifera</i>	Clusiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,003321348
<i>Syzygium jambolanum</i>	Myrtaceae	Exótica	Exótica	Indeterminado	0,000445922
<i>Syzygium cumini</i>	Myrtaceae	Exótica	Exótica	Dossel	0,736304311
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Bignoniaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,868067345
<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	10,68942465
<i>Thevetia peruviana</i>	Apocynaceae	Exótica	Exótica	Sub-bosque	0,01066827
<i>Thyrsodium spruceanum</i>	Anacardiaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,538325363
<i>Trichilia quadrijuva</i>	Meliaceae	Nativa	Secundária	Dossel	0,075544795
<i>Virola gardneri</i>	Myristicaceae	Nativa	Secundária	Emergente	0,007604058
<i>Vismia guinensis</i>	Clusiaceae	Nativa	Pioneira	Sub-bosque	0,307880629
<i>Xylopia frutescens</i>	Annonaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	1,674718796
<i>Xylopia</i> sp.	Annonaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,004288461
<i>Xylopia</i> sp. 2	Annonaceae	Nativa	Indeterminado	Indeterminado	0,000393444
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Rutaceae	Nativa	Pioneira	Dossel	0,022369483

## Conclusões

1. O presente trabalho observou que a composição de espécies das áreas estudadas era formada abundantemente de espécies pioneiras (88,5% dos indivíduos), com pouquíssima abundância de espécies clímax. As espécies exóticas somaram apenas pouco mais de 3% dos indivíduos e apresentaram-se em maior número de espécie na borda, entretanto, os indivíduos não se distribuíam em função da distância da borda, mantendo-se quase que constantes de 0 a 400 m, o que indica que estas espécies fizeram parte do processo de sucessão da área. Também não houve influência da borda na distribuição dos demais grupos ecológicos analisados.
2. Não houve influência do efeito de borda na quantidade de carbono estocada tanto pelas exóticas quanto pelas nativas, refutando a nossa hipótese. As pioneiras foram as responsáveis pelos maiores valores de estoque de carbono em todas as distâncias analisadas, armazenando cerca de 4 vezes mais carbono do que as clímax, ao contrário do que se esperava. Ainda, as emergentes tiveram seus valores de retenção de carbono intermediários entre as de dossel e de sub-bosque, não se destacando em nenhuma das distâncias analisadas. As exóticas tiveram um papel importante na regulação climática do ecossistema estudado, visto que foram responsáveis por até mais de 50% do carbono total estocado em algumas distâncias das áreas estudadas, chegando ao máximo com o eucalipto armazenando mais de 70% a 400 m da borda em determinada área.
3. As espécies exóticas não influenciaram a quantidade de carbono estocada pelas nativas, que armazenaram valores similares quando na presença ou ausência de espécie exótica no centro da parcela. Ainda, não foi observada diferença entre a quantidade de carbono estocada pelas parcelas onde a árvore nucleadora era exótica ou nativa, com aquelas onde a nucleadora era nativa estocando em média  $32,3 \text{ tC/ha} \pm 25,55$ , enquanto que onde a nucleadora era exótica estocou uma média de  $36,4 \text{ tC/ha} \pm 25,67$ .
4. A região de Aldeia mostrou-se importante provedora de serviços ambientais, com as áreas estudadas estocando em média  $40,70 \pm 19,71 \text{ tC/ha}$ . Extrapolando para a área de cobertura florestal de Aldeia (21.290,39 ha), o estoque é estimado em 893.495,9 tC. No que diz respeito à regulação climática, pode-se afirmar que as espécies exóticas podem ser consideradas mitigadoras do efeito estufa na região, elucidando a importância de se entender melhor estes ecossistemas que apresentam espécies exóticas em sua composição, já que eles têm se tornando cada vez mais frequente em todo o globo.

## APÊNDICE C

### Norma para a submissão de artigo – Guia para autores

### FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT

### GUIDE FOR AUTHORS :

#### INTRODUCTION

Forest Ecology and Management publishes scientific articles that link forest ecology with forest management, and that apply biological, ecological and social knowledge to the management and conservation of man-made and natural forests. The scope of the journal includes all forest ecosystems of the world.

A refereeing process ensures the quality and international interest of the manuscripts accepted for publication. The journal aims to encourage communication between scientists in disparate fields who share a common interest in ecology and forest management, and to bridge the gap between research workers and forest managers in the field to the benefit of both.

Authors should demonstrate a clear link with forest ecology and management. For example, papers dealing with remote sensing are acceptable if this link is demonstrated, but not acceptable if the main thrust is technological and methodological. Similarly, papers dealing with molecular biology and genetics may be more appropriate in specialized journals, depending on their emphasis. The journal does not accept articles dealing with agro-forestry. The journal does not recognize 'short communications' as a separate category.

The editors encourage submission of papers that will have the strongest interest and value to the Journal's international readership. Some key features of papers with strong interest include:

1. Clear connections between the ecology and management of forests;
2. Novel ideas or approaches to important challenges in forest ecology and management;
3. Studies that address a population of interest beyond the scale of single research sites (see the editorial), Three key points in the design of forest experiments, Forest Ecology and Management 255 (2008) 2022-2023);
4. Review Articles on timely, important topics. Authors are encouraged to contact one of the editors to discuss the potential suitability of a review manuscript.

We now receive many more submissions than we can publish. Many papers are rejected because they do not fit within the aims and scope detailed above. Some examples include:

1. Papers in which the primary focus is, for example, entomology or pathology or soil science or remote sensing, but where the links to, and implications for, forest management are not clear and have not been strongly developed;
2. Model-based investigations that do not include a substantial field-based validation component;
3. Local or regional studies of diversity aimed at the development of conservation policies;
4. The effects of forestry practices that do not include a strong ecological component (for example, the effects of weed control or fertilizer application on yield);
5. Social or economic or policy studies (please consider our sister journal, 'Forest Policy and Economics').

**Types of paper**

1. Regular papers. Original research papers should report the results of original research. The material should not have been previously published elsewhere, except in a preliminary form.
2. Review articles. Review articles are welcome but should be topical and not just an overview of the literature. Before submission please contact one of the Chief Editors.
3. Papers for Special Issues. Forest Ecology and Management publishes Special Issues from time to time. If your paper has been invited by a Guest Editor as a contribution to a Special Issue, please mark it as such on the title page.

Contact details for submission

P. Attiwill

School of Botany

The Australian Centre

University of Melbourne

16 Wonga Road

Ringwood, Victoria 3134

Australia

Tel: +61 3 9870 3034

Fax: +61 3 9870 3034

[www.elsevier.com/locate/foreco](http://www.elsevier.com/locate/foreco) 5

E-mail: [attwill@unimelb.edu.au](mailto:attwill@unimelb.edu.au)

T.S. Fredericksen

Ferrum College, Life Science Division

80 Wiley Drive

Ferrum, VA 24088, USA

E-mail: [tfredericksen@ferrum.edu](mailto:tfredericksen@ferrum.edu)

D.Binkley

Colorado State University

Colorado Forest Restoration Institute

Fort Collins, CO 80523

USA

E-mail: [Dan.Binkley@Colostate.edu](mailto:Dan.Binkley@Colostate.edu)

J-P. Laclau

CIRAD/USP,ESALQ-LCF

Caixa Postal 9 Cep

Cep 13418-900 Piracicaba SP

Brazil

E-mail: [laclau@cirad.fr](mailto:laclau@cirad.fr)

**BEFORE YOU BEGIN****Ethics in Publishing**

For information on Ethics in Publishing and Ethical guidelines for journal publication see

<http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/ethicalguidelines>.

### **Conflict of interest**

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>.

### **Submission declaration**

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere including electronically in the same form, in English or in any other language, without the written consent of the copyright-holder.

### **Changes to authorship**

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

### **Copyright**

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright see <http://www.elsevier.com/copyright>). Acceptance of the agreement will ensure the widest possible dissemination of information. An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has

preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

### **Retained author rights**

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights; for details you are referred to: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

### **Role of the funding source**

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the paper for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated. Please see <http://www.elsevier.com/funding>.

### **Funding body agreements and policies**

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

### **Language and language services**

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who require information about language editing and copyediting services pre- and post-submission please visit <http://webshop.elsevier.com/languageediting> or our customer support site at <http://support.elsevier.com> for more information.

### **Full Online Submission**

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

All submissions must be accompanied by a **cover letter** detailing what you are submitting. Please indicate:

- The author to whom we should address our correspondence (in the event of multiple authors, a single 'Corresponding Author' must be named)
- A contact address, telephone/fax numbers and e-mail address
- Details of any previous or concurrent submissions. Please see our Authors' Rights section for more copyright information.
- It is also useful to provide the Editor-in-Chief with any information that will support your submission (e.g. original or confirmatory data, relevance, topicality).

Submit your article

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/foreco/>

### **Referees**

Authors are required to identify four persons who are qualified to serve as reviewers. Authors are requested not to suggest reviewers with whom they have a personal or professional relationship, especially if that relationship would prevent the reviewer from having an

unbiased opinion of the of the authors. A working e-mail address for each reviewer is essential for rapid review in the event that reviewer is selected from those that are identified by the authors. You may also select reviewers you do not want to review your manuscript, but please state your reason for doing so.

## **PREPARATION**

### **Use of wordprocessing software**

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format, and 1.5 line-spacing and line-numbering should be used throughout. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. Do not embed "graphically designed" equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. See also the section on Electronic illustrations. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the "spell-check" and "grammar-check" functions of your wordprocessor.

### **Article structure**

#### **Subdivision**

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.

#### **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.

#### **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. 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 telephone and fax 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 (not longer than 400 words). The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. 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, then cite the author(s) and year(s). 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**

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. 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. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

### **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 file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters per bullet point including spaces). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

**Keywords**

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

**Abbreviations**

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

**Acknowledgements**

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

**Units**

SI (Système International d'unités) should be used for all units except where common usage dictates otherwise. Examples of non-SI that may be more appropriate (depending on context) in many ecological and forestry measurements are ha rather than m<sup>2</sup>, year rather than second. Use Mg ha<sup>-1</sup>, not tonnes ha<sup>-1</sup>, and use µg g<sup>-1</sup>, not ppm (or for volume, µL L<sup>-1</sup> or equivalent). Tree diameter will generally be in cm (an approved SI unit) rather than m. Units should be in the following style: kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, kg m<sup>-3</sup>. Non-SI units should be spelled in full (e.g. year). Do not insert 'non-units' within compound units: for example, write 300 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen (or N), not 300 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Math formulae**

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

**Footnotes**

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

**Table footnotes**

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

**Artwork**

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as "graphics" or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.

- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

**You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

### **Formats**

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalised, please "save as" or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS: Vector drawings. Embed the font or save the text as "graphics".

TIFF: color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF: Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF: Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

DOC, XLS or PPT: If your electronic artwork is created in any of these Microsoft Office applications please supply "as is".

### **Please do not:**

- Supply files that are optimised for screen use (like GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

### **Color artwork**

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to "gray scale" (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

### **Figure Captions**

Number figures consecutively in accordance with their appearance in the text. Ensure that each figure has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the figure. Keep text in the figures themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

### **Tables**

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

## **References**

### **Citation in text**

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either "Unpublished results" or "Personal communication" Citation of a reference as "in press" implies that the item has been accepted for publication.

### **Web references**

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

### **References in a special issue**

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

### **Reference management software**

This journal has standard templates available in key reference management packages EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

### **Reference style**

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
  2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
  3. Three or more authors: first author's name followed by "et al." and the year of publication.
- Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: "as demonstrated (Allan, 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones, 1995). Kramer et al. (2000) have recently shown ...."

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters "a", "b", "c", etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2000. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, third ed. Macmillan, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 1999. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to

Index Medicus journal abbreviations: <http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>;

List of serial title word abbreviations: <http://www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php>; CAS (Chemical Abstracts Service): <http://www.cas.org/sent.html>.

### **Video data**

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

### **Supplementary data**

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more.

Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

### **Submission checklist**

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

**Ensure that the following items are present:**

One Author designated as corresponding Author:

- E-mail address
- Full postal address
- Telephone and fax numbers

All necessary files have been uploaded

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been "spellchecked" and "grammar-checked"
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black and white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

**AFTER ACCEPTANCE**

**Use of the Digital Object Identifier**

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes.

Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. The correct format for citing a DOI is shown as follows (example taken from a document in the journal Physics Letters B): doi:10.1016/j.physletb.2010.09.

When you use the DOI to create URL hyperlinks to documents on the web, they are guaranteed never to change.

**Proofs**

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://get.adobe.com/reader>.

Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site:

<http://www.adobe.com/products/reader/systemreqs>. If you do not wish to use the PDF

annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately – please let us have all your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

### **Offprints**

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.

### **AUTHOR INQUIRIES**

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs (<http://www.elsevier.com/authorFAQ>) and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.