

Laís Leite Barreto

**Existe influência da borda sobre a polinização e o sucesso reprodutivo de espécies
lenhosas da Caatinga?**

Recife, Fevereiro de 2014

Laís Leite Barreto

Existe influência da borda sobre a polinização e o sucesso reprodutivo de espécies lenhosas da Caatinga?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para a obtenção do título de Mestre em Botânica.

ORIENTADORA:

Dra. Cibele Cardoso de Castro

CO-ORIENTADORA:

Dra. Ana Virgínia de Lima Leite

Recife, Fevereiro de 2014

Ficha catalográfica

B273e Barreto, Laís Leite
Existe influência da borda sobre a polinização e o
sucesso reprodutivo de espécies lenhosas da
caatinga? /

Laís Leite Barreto. – Recife, 2014.
91 f. : il.

.
Orientadora: Cibele Cardoso de Castro.
Dissertação (Mestrado em Botânica) –
Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Biologia,
Recife, 2014.
Referências.

1. Efeito de borda 2. Polinização 3. Florestas secas
I. Castro, Cibele Cardoso de, orientadora II. Título

CDD 581

Laís Leite Barreto

Existe influência da borda sobre a polinização e o sucesso reprodutivo de espécies lenhosas da Caatinga?

Orientadora:

Profª. Dra. Cibele Cardoso de Castro

Examinadores:

Profª. Dra. Ana Carolina Borges Lins e Silva – UFRPE (titular)

Profª. Dra. Elcida de Lima Araújo - UFRPE (titular)

Profª. Dra. Elisangela Lucia de Santana Bezerra – UFRPE (titular)

Profª. Dra. Carmem Silvia Zickel – UFRPE (suplente)

Dissertação apresentada em 20 de fevereiro de 2014.

Recife, fevereiro de 2014.

*“O fracasso jamais me surpreenderá se minha decisão.
de vencer for suficientemente forte.”*
(OgMandino).

*Dedico esta dissertação aos meus dois amores Juraci Marcos e Ana Livia, que sempre
foram meu porto seguro e jamais me deixaram fracassar.*

Agradecimentos

Antes de tudo, agradeço a Deus, por ter visto as minhas lutas e me conceder vitórias quando eu realmente mereci. A ti, Senhor, agradeço e louvo por essa conquista.

Aos meus pais de criação e avós maternos, José Bonifácio da Silva e Lúcia da Silva Leite, por terem me dedicado parte de suas vidas, me darem apoio em todas as minhas decisões e serem sempre torcedores fiéis para que eu alcance o sucesso.

Aos meus pais biológicos Eduardo e Lucina, exemplos de coragem e determinação.

À professora Cibele Castro, pela orientação, amizade e apoio em todos os momentos desde minha chegada em Recife até a finalização deste trabalho.

À professora Ana Virgínia pela co-orientação desde a elaboração do desenho experimental até a execução deste trabalho.

Ao biólogo-estatístico, André Santos, não só pelo apoio nas inúmeras análises estatísticas, mas pela paciência e disposição para ajudar.

À CAPES e ao PPGB pelo apoio institucional e financeiro.

A todos os funcionários da Estação Experimental José Nilson de Melo, do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Caruaru, pelo apoio logístico.

A todos os meus queridos amigos da turma de mestrado: Angélica, Ana Maria, André, Elhane, Léo, Lourenço, Maria Luiza e Natália, por todos os momentos compartilhados, principalmente aqueles de preocupação onde todos nós não sabíamos se sorríamos ou se chorávamos, mas que com certeza nos fizeram crescer e muito.

Às eternas amigas que conquistei nessa linda terra pernambucana, em especial a Vanessa e Gabriela, que contribuíram com sugestões durante toda minha caminhada neste trabalho, mas agradeço principalmente pelo seu amor, amizade e toda luz que sempre emanaram... Estaremos sempre juntas!

À minha amiga Elaine Cristina, pelo amor, apoio, amizade e palavras de compreensão, sempre.

Às companheiras e fiéis escudeiras de campo Thaís e Bruna, sem as quais eu não teria conseguido executar boa parte deste trabalho.

À minha grande amiga Prof. Lenyneves Duarte, que mesmo longe nunca deixou de exercer seu papel, mesmo que não oficialmente, me orientando e me dando dicas sempre muito favoráveis para o meu melhor desempenho profissional.

À minha grande amiga, mais que isso, minha irmã, Ana Letícia Braz, amiga de infância que acompanhou todas as etapas de minha vida, sempre torcendo e me dando força quando eu precisei. A você, minha grande amiga, o meu muito obrigada.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concluído.

E por último, mas, no entanto, o mais especial: ao meu amigo, eterno namorado, esposo e companheiro de todas as horas, pelo apoio que tem me dado sempre, pela companhia em campo e principalmente por toda sua paciência, amor e carinho comigo, sem os quais eu não seria ninguém.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	viii
Lista de Figuras.....	ix
Resumo Geral.....	x
General abstract.....	xi
1. Introdução	12
2. Revisão Bibliográfica	14
2.1. Fragmentação e efeito de borda	14
2.2. Síndromes de polinização e sucesso reprodutivo	15
3. Referências Bibliográficas.....	20
Capítulo 1	29
A distância em relação à borda influencia as proporções de síndromes de polinização em florestas secas?: Estudo de caso na caatinga	
Resumo.....	31
Introdução	32
Material e Métodos	33
Área de estudo	33
Síndromes de polinização.....	34
Análises estatísticas	35
Resultados.....	35
Discussão.....	36
Referências Bibliográficas.....	38
Capítulo 2	47
Influencia da borda sobre a reprodução de <i>Ruellia asperula</i> (Mart. & Nees) Lindau (Acanthaceae) em uma área de caatinga no Nordeste do Brasil	
Resumo.....	49
Introdução	50
Material e Métodos	51
Área de estudo	51
Espécie estudada	51
Composição e frequência de visitantes florais	52
Eficiência da polinização	52
Sistema reprodutivo.....	53
Limitação polínica	53
Análises estatísticas	53
Resultados.....	54
Discussão.....	55
Considerações finais	57
Referências Bibliográficas.....	58
Anexos.....	68

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Espécies estudadas em uma área de Caatinga no Nordeste do Brasil.42

Capítulo 2

Tabela 1. Frequência de visitas de beija-flores a flores de indivíduos de *Ruellia asperula* situados na borda e no interior de um fragmento de Caatinga no Nordeste do Brasil. TP: "tripliner"; TR: territorialista65

Tabela 2. Produção de frutos (%) em indivíduos de *Ruellia asperula* situados na borda e no interior de um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil. PN: produção natural (controle); PCm: polinização cruzada manual; PCn: polinização cruzada natural; AE: autopolinização espontânea; AM: autopolinização manual. Número de flores encontra-se entre parênteses.....66

Tabela 3. Médias de peso (mg), largura (mm) e comprimento (mm) de frutos de indivíduos de *Ruellia asperula* situados na borda e no interior de um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil. Desvio-padrão encontra-se entre parênteses. Letras diferentes na mesma linha indicam valores estatisticamente distintos pelo teste de Kruskal-Wallis.($p < 0.005$; valor de H na tabela)..67

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1. Mapa da área de estudo com a localização de todas as parcelas.....43
- Figura 2a. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de flores de grande, médio e pequeno portes em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.43
- Figura 2b. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de tipos florais em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.44
- Figura 3a. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de cores de pétalas em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.44
- Figura 3b. Probabilidade de ocorrência de unidades de polinização individual e coletivista em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.45
- Figura 4a. Probabilidade de ocorrência de recursos florais em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.....45
- Figura 4b. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de síndromes de polinização em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.46

Resumo Geral

Embora as florestas neotropicais estejam entre as mais ricas do planeta, a perda de habitats pela fragmentação desses ecossistemas cresce continuamente. Uma das conseqüências da fragmentação é a formação de bordas, que pode levar a alterações da composição, estrutura e/ou funcionalidade dos ecossistemas, inclusive nas interações planta-animal, sendo este processo denominado de “efeito de borda”. Estudos sobre fragmentação e efeito de borda vem sendo desenvolvidos principalmente em florestas temperadas e úmidas, sendo menos freqüentes em regiões áridas, como a caatinga. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da formação de bordas sobre a polinização e o sucesso reprodutivo de espécies vegetais lenhosas da caatinga. Para isso foram caracterizadas e comparadas, entre áreas de borda e de núcleo, as freqüências de síndromes de polinização de todas as espécies lenhosas encontradas em flor, bem como o sucesso reprodutivo, a freqüência de polinização e o comportamento de polinizadores em uma espécie vegetal lenhosa, localizada na borda e no interior. Em geral foi observada diferença na probabilidade de ocorrência dos diversos atributos florais (cor, tamanho, tipo floral, unidade de polinização) e das síndromes de polinização: as áreas de borda são compostas por sistemas de polinização mais generalistas, com cores claras e tipos florais pouco especializados e, à medida que a distância aumenta, esses atributos tendem a ocorrer em menor quantidade. Em contrapartida, sistemas mais especializados tendem a aumentar sua probabilidade de ocorrência à medida em que a distância da borda aumenta, assim como também mudam os atributos florais. Para *Ruellia asperula* L., apesar da freqüência de visitas e no número de flores visitadas terem sido maiores na borda ($p < 0,01$), a produção natural de frutos ($X^2 = 25,137$; g.l.=1; $p < 0,01$), a formação de frutos através da polinização cruzada e no número de pistilos com grãos de pólen no estigma ($\chi^2 = 10,46$; g.l. = 1; $p < 0,01$) foram menores neste ambiente quando comparado com o interior. Também foram observados maiores peso, tamanho e largura de fruto no interior em comparação com a borda ($p < 0,005$). Não foram observadas diferenças significativas na taxa de limitação polínica entre os dois ambientes ($p > 0,01$). O efeito de borda está interferindo nos sistemas de polinização, através da alteração na composição de algumas espécies, favorecendo populações com sistemas de polinização mais generalistas, as quais poderiam ser polinizadas por muitos vetores específicos de pólen. Isto influencia negativamente a freqüência de visitas e sucesso reprodutivo de espécies localizadas na borda do fragmento, refletindo na quantidade de pólen depositado no estigma e na quantidade e dimensão de frutos produzidos.

Palavras chave: efeito de borda, formação de frutos, freqüência de visitas, sistemas de polinização, sucesso reprodutivo.

General abstract

Although neotropical forests are among the richest on the planet, the loss of habitat fragmentation by these ecosystems grows continuously. One consequence of fragmentation is the formation of edges, which can lead to changes in composition, structure and / or function of ecosystems, including the plant-animal interactions, this process is called "edge effect". Studies of fragmentation and edge effect are being developed mainly in temperate forests and wetlands, and less frequently in arid regions such as the caatinga. This study aimed to evaluate the effect of the formation of edges in the bush on the pollination and reproductive success of woody plant species. To this were characterized and compared between border areas and core frequencies of pollination syndromes of all woody species found in bloom, as well as reproductive success, the frequency of pollination and pollinator behavior in a woody plant species, located on the edge and inside. Overall difference in the probability of occurrence of the various floral attributes (color, size, floral type, unit pollination) and the pollination syndromes, the edge areas consist of more generalist pollination systems was observed, with light colors and floral types little and specialized as the distance increases, these attributes tend to occur in smaller amount. In contrast, more specialized systems tend to increase their probability of occurrence as the distance from the edge increases, as well as many floral traits. To *Ruellia asperula* L., significant differences in natural fruit production between edge and interior ($X^2 = 25.137$, $df = 1$, $p < 0.01$), in the formation of fruit through cross-pollination and the number of pistils with grains pollen on the stigma ($\chi^2 = 10.46$, $df = 1$, $p < 0.01$). Differences in weight, size, and width of fruit ($p < 0.005$) was also observed, all these parameters being larger in the inside. Significant difference was observed both in the frequency of visits, number of visits flowers ($p < 0.01$), which is more on the edge. No significant differences were observed in the rate of pollen limitation ($p > 0.01$). The edge effect is interfering in pollination systems through changes in the composition of some species, favoring people with systems more generalist pollination, which could be pollinated by many specific pollen vectors. This impacts negatively on the frequency of visits and reproductive success of species located on the edge of the fragment, reflecting the amount of pollen deposited on the stigma and the number and size of fruits.

Keywords: edge effect, fruit formation, frequency of visits, pollination, reproductive success.

1. Introdução

A fragmentação de habitats é a principal causa de extinção de espécies e uma forte ameaça à diversidade biológica (WILCOX & MURPHY 1985). Devido à fragmentação, surgem alterações bióticas e abióticas que podem ser mais facilmente detectadas em áreas próximas às bordas (MURCIA 1995a; OLIVEIRA et al. 2004), pois nessas áreas o microclima é alterado, há um aumento da exposição ao vento, maior insolação e dissecação (SAUNDERS et al. 1991). Estas alterações são denominadas “efeito de borda” e podem impedir o estabelecimento de muitas espécies lenhosas (LAURANCE et al. 1998), favorecendo a perda de grupos ecológicos, afetando significativamente processos essenciais à manutenção de populações, como a polinização, e portanto interferindo no sucesso reprodutivo destas espécies (MURCIA 1995b; CUNNINGHAM 2000; LAURANCE et al. 2002).

DONALDSON et al. (2002), analisando os efeitos da fragmentação na diversidade de polinizadores e no sucesso reprodutivo de algumas espécies vegetais na África do Sul, verificaram que a frutificação variou em função da distância dos grandes fragmentos, indicando que fragmentos maiores seriam fontes doadoras de polinizadores para os remanescentes menores.

Algumas espécies vegetais mais generalistas, visitadas por um amplo espectro de polinizadores podem ser menos vulneráveis ao sofrer a perda de uma ou de algumas espécies de polinizadores. Por outro lado, estas espécies de plantas podem sofrer uma queda no sucesso reprodutivo, uma vez que os polinizadores podem não ser substituídos (AIZEN & FEINSINGER 1994). Alguns estudos mostram que em paisagens fragmentadas os recursos são insuficientes e a distância entre os mesmos é maior, por isso muitos polinizadores gastam mais tempo forrageando na mesma planta ou flor, aumentando o nível de autopolinização (CASCANTE et al. 2002; FUCHS et al. 2003).

O comportamento dos polinizadores pode ser alterado pela redução da oferta dos recursos florais, podendo levar a extinção local de grupos de insetos (MACHADO & LOPES 2004) ou a diminuição no tamanho de populações, o que por sua vez, gera um efeito cascata, comprometendo a biodiversidade em diferentes níveis tróficos (KEARNS & INOUE 1997; TERBORGH 1992). Portanto, caso não haja conexão para as plantas em certos “compartimentos de polinização”, o fluxo gênico fica interrompido e o sistema planta-polinizador ficará ameaçado (ROUBIK 2000).

Analisar o efeito da fragmentação sobre reprodução de plantas, especialmente a polinização e o sucesso reprodutivo, é importante para inferir sobre as possibilidades da manutenção de populações e comunidades no longo prazo (RATHCKE & JULES 1993), já que um dos fatores resultante é a perda de grupos ecológicos, afetando processos essenciais à manutenção de populações de árvores, como a polinização e a dispersão de sementes (WILCOX & MURPHY 1985; GANADE 1995; MURCIA 1995a; LAURANCE et al. 2002; MELO 2004), interferindo no sucesso reprodutivo destas espécies (MURCIA 1995b).

Portanto seguindo a premissa defendida e corroborada por Santos & Santos (2008) de que não existe efeito de borda (efeito biológico direto, *sensu* MURCIA, 1995a) sobre a estrutura e composição de espécies para plantas lenhosas na Caatinga, este trabalho vem responder às seguintes perguntas: i) Existe semelhança na frequência das síndromes de polinização entre os ambientes de borda e interior do fragmento? ii) Existe semelhança na frequência de polinização e censo de polinizadores entre os ambientes de borda e de interior? iii) A deposição de pólen nos pistilos é semelhante nos ambientes de borda e interior? iv) O sucesso reprodutivo é semelhante nos ambientes de borda e de interior?

2. Revisão bibliográfica

2.1. Fragmentação e efeito de borda

A fragmentação é decorrente do desmatamento de trechos de floresta contínua, que isola pedaços de floresta de diferentes tamanhos, em meio a áreas perturbadas e é uma das mais graves ameaças à biodiversidade, resultando em inúmeros danos aos ecossistemas (PAGLIA et al. 2006). Isto ocorre principalmente pela ação antrópica, alterando as dinâmicas populacionais e estruturas das comunidades, além de modificar os fatores abióticos nos fragmentos florestais (FAHRIG 2003).

A fragmentação de áreas nativas pode provocar a eliminação de processos ecológicos importantes para a manutenção da diversidade (e.g. dispersão, polinização, herbivoria; SANTOS & TELLERIA 1994; SILVA & TABARELLI 2000; CORDEIRO & HOWE 2001), assim como a extinção local de espécies.

Um dos aspectos mais evidentes e estudados da fragmentação é o efeito de borda, que corresponde a diferenças na composição, estrutura e/ou funcionalidade nos ambientes de borda, quando comparado a regiões nucleares dos fragmentos, levando a alterações na qualidade do sistema, podendo determinar um processo seletivo de perda de espécies (MACARTHUR et al. 1972; MURCIA 1995a; HARPER et al. 2005). Isto ocorre devido a alterações nas características abióticas (incidência de luz, temperatura, umidade, ventos) e bióticas (estrutura, dinâmica e interações entre espécies, ausência de polinizadores, ciclos fenológicos), impedindo assim a sobrevivência de espécies não tolerantes a estas novas condições impostas ao ambiente, um obstáculo para sua regeneração do ambiente e desenvolvimento de toda uma comunidade ecológica nesse ecossistema de borda (MURCIA 1995a; RIES et al. 2004; CARA 2006; PIERRE-OLIVIER et al. 2006; LIMA et al. 2012).

As ações antrópicas acometidas a qualquer vegetação podem afetar diretamente a reprodução das plantas, bem como as fontes de recursos vegetais, podendo ocasionar um desequilíbrio ecológico irreparável (RATHCKE & JULES 1993; MURCIA 1995a). Este desequilíbrio pode influenciar negativamente sobre os processos ecológicos-chave, como a polinização, pois a perda de habitat das espécies altera a biologia e a ecologia dos vetores bióticos envolvidos nesse processo, de forma a interferir no ciclo reprodutivo das espécies vegetais, bem como na capacidade de auto-regeneração natural da vegetação (MACHADO & LOPES 2002).

A base teórica sobre fragmentação e efeito de borda vem sendo construída principalmente a partir de estudos de fragmentos de florestas temperadas e úmidas (e.g.,

MURCIA 1995a; LAURANCE et al. 2002; RIES et al. 2004; HARPER et al. 2005). A caatinga é um tipo vegetacional considerado savana estépica (IBGE 2012) que vem sofrendo com a ação antrópica (LEAL et al. 2003) e sido pouco estudada, sobretudo quanto às conseqüências estruturais e funcionais decorrentes do processo de fragmentação (SANTOS & SANTOS 2008).

SANTOS & SANTOS (2008) defenderam e corroboraram a hipótese de que não existe efeito de borda (efeito biológico direto, *sensu* MURCIA 1995a) sobre a estrutura e composição de espécies para plantas lenhosas naquela formação vegetacional, situação completamente diferente do observado para várias outras florestas tropicais (ver MURCIA 1995a, b; RIES et al. 2004). No entanto não se sabe se existe efeito de borda sobre outros parâmetros, tais como os reprodutivos.

De fato, estudos mostram que a fragmentação altera comportamentos de forrageamento e interações animal-planta (PIERRE-OLIVIER et al. 2006). Por exemplo, uma determinada espécie de polinizador pode aumentar, reduzir ou ter sua população localmente extinta, podendo inclusive ser substituída por espécies não nativas, o que leva a mudanças no sucesso reprodutivo de guildas de espécies vegetais (POWELL & POWELL 1987; AIZEN & FEINSINGER 1994; MURCIA 1995a).

Segundo SANTOS & SANTOS (2008), é logicamente provável que muitos dos processos ecológicos associados à distribuição espacial das plantas lenhosas também não sejam semelhantes aos que ocorrem em outras florestas. Assim, usar bases teóricas de outras florestas para tratar questões ecológicas da Caatinga pode repercutir de forma bastante drástica nos esforços de conservação/restauração desse sistema, podendo representar um grande equívoco teórico com repercussões práticas de difícil correção.

2.2. Síndromes de polinização e sucesso reprodutivo

A polinização pode ser definida como a transferência de grãos de pólen das anteras para o estigma de uma flor (ENDRESS 1994). Cada espécie ou família de planta apresenta características morfológicas e fisiológicas específicas que podem atrair diferentes guildas de polinizadores e podem revelar importantes implicações, não apenas na relação planta-animal, mas também no sucesso reprodutivo da planta (BARBOSA 1997).

Segundo PROCTOR et al. (1996) o estudo morfológico e fisiológico das flores, assim como os mecanismos de polinização compõem a biologia da polinização. Esta enfoca uma relação importante na evolução da comunidade, uma vez que à medida que

as Angiospermas evoluíram, as relações com polinizadores foram ficando mais intrínsecas e com suas partes florais cada vez mais estereotipadas.

Estudos a respeito da biologia da polinização podem englobar diversos aspectos tais como: a morfologia e a fenologia das flores e inflorescências, os sistemas de reprodução, a viabilidade e quantidade de grãos de pólen, os mecanismos de polinização, a atuação dos polinizadores, o levantamento e a etiologia dos visitantes florais e a composição e quantidade dos recursos florais (KEARNS et al. 1998).

De acordo com FAEGRI & PIJL (1979), a ecologia da polinização utiliza-se do estudo das síndromes para gerar conhecimentos sobre a história natural de plantas e polinizadores e promover informações acerca dos processos evolutivos. Para MACHADO & LOPES (2003; 2004), o estudo da biologia floral prevê dados para responder a questões relacionadas à manutenção do fluxo gênico intraespecífico, sucesso reprodutivo, partilha e competição por polinizadores. A polinização se torna então, um componente imprescindível da biodiversidade, sendo diretamente responsável pela manutenção dos ecossistemas (MACHADO & LOPES 2002).

Segundo NASON & HAMRICK (1997), estes dados auxiliam nos estudos sobre melhoramento genético de várias espécies, pois essas características podem garantir maior sucesso nos cruzamentos e fazer com que as variedades utilizadas no melhoramento genético, produzam pólen viável em quantidade e qualidade para garantir o vigor das sementes viáveis para a dispersão, influenciando assim na manutenção das espécies.

Estudos podem ser inferidos quando associamos os visitantes aos atributos e os recursos florais, caracterizando as síndromes de polinização (FAEGRI & PIJL 1979). Estas são classificadas em abióticas (polinização pela água ou pelo vento) e bióticas (polinização por animais). Neste último caso, elas ainda se classificam de acordo com o grupo dos possíveis polinizadores, em: entomofilia (insetos), ornitofilia (pássaros, em especial por beija flores) e quiropterofilia (morcegos). Podemos citar como exemplos de síndromes de polinização, a cantarofilia, melitofilia, psicofilia, falenofilia, esfingofilia, ornitófila e quiropterofilia, respectivamente para atributos florais associados a besouros, abelhas, borboletas, mariposas, esfingídeos, aves e morcegos.

Segundo PROCTOR et al. (1996) certas plantas aquáticas produzem pólen e este é transportado pela água. Estas espécies produzem flores pequenas e discretas cujos grãos têm adaptações especiais para serem transportados pela água e seus estigmas são altamente ramificados para recebê-los. Os autores sugerem ainda que nem todas as

plantas aquáticas são polinizadas pela água. Muitas produzem flores que surgem na superfície e são polinizadas por animais. A anemofilia, ou polinização pelo vento, é mais freqüente em áreas de menor diversidade florística, sendo dominante em vegetação aberta (WHITEHEAD 1969; YAMAMOTO et al. 2007).

A entomofilia, ou síndrome de polinização realizada por insetos, predomina em diferentes ecossistemas, com destaque para a melitofilia ou polinização por abelhas (BAWA 1990; SILBERBAUER-GOTTSBERGER & GOTTSBERGER 1988; OLIVEIRA & GIBBS 2000; MACHADO & LOPES 2003; 2004, BARRETO & ARAÚJO 2011). Alguns autores incluem a polinização por vespas dentro da melitofilia já que as espécies visitadas por vespas também recebem visitas de abelhas (FAEGRI & PJIL 1979) sendo as vespas consideradas muito instáveis e por isso, pouco confiáveis. Existem alguns trabalhos que comprovam a polinização por vespas como JUDD (1971), sendo observadas vespas polinizando orquídeas com néctar de fácil acesso e labelo cintilante e BARROS (1998) constatou espécies da família Erythroxylaceae sendo visitadas tanto por vespas quanto por abelhas.

Dentre os vertebrados, os beija-flores são importantes polinizadores em comunidades vegetais (FEINSINGER 1983; BAWA et al. 1985; LINHART & FEINSINGER 1980; SILBERBAUER-GOTTSBERGER & GOTTSBERGER 1988; RAMIREZ 1989; OLIVEIRA 1991; KRESS & BEACH 1994; BUZATO et al. 2000).

Segundo ENDRESS (1994), a polinização por morcegos (quiropterofilia) é exclusiva dos trópicos, sendo mais freqüente em espécies arbóreas, ocasional em epífitas e raras em herbáceas, embora existam registros recentes de espécies herbáceas quiropterófilas (e.g. MACHADO et al. 1998; MACHADO & VOGEL 2004).

Alguns autores sugerem que o levantamento do conjunto de visitantes florais e o estudo de sua eficiência como polinizadores podem ser parâmetros importantes para a avaliação de áreas restauradas ou em processo de restauração (WALTZ & COVINGTON 2004; FORUP & MEMMOTT 2005).

Trabalhos publicados a respeito dos recursos florais e síndromes de polinização provêm de algumas décadas (BAWA et al. 1985; ARROYO et al. 1982; ALBUQUERQUE et al. 2006; DU et al. 2009; MOMOSE 1998). No Brasil, este tipo de abordagem já foi estudada em diferentes ecossistemas como: área de brejo de altitude BARRETO & ARAÚJO (2011), no Cerrado por SILBERBAUER-GOTTSBERGER & GOTTSBERGER (1988); OLIVEIRA & GIBBS (2000), na Caatinga por MACHADO & LOPES (2003, 2004) e QUIRINO (2006), para a Floresta Atlântica, MACHADO &

LOPES (1998); KINOSHITA et al. (2006); LOCATELLI & MACHADO (2004) e para Mata úmida: CARA (2006).

MACHADO & LOPES (2004) pesquisaram durante alguns anos 147 espécies de plantas no Semiárido do Brasil, buscando compreender os processos de polinização na caatinga. Por meio da avaliação dos atributos e recursos florais (forma, tamanho, cor e presença de néctar, pólen óleo e resina), as autoras identificaram as síndromes de polinização de cada uma das áreas, ou seja, quais características se relacionam com qual tipo de polinizador. Os resultados indicam que mais de 50% das plantas da caatinga são fecundadas graças ao auxílio de algum animal, ou seja, ao contrário da expectativa, um número muito inferior produz frutos e sementes a partir de autofecundação. Isso significa que o grau de dependência é muito grande. As frequências das diversas síndromes de polinização foram similares a vários ecossistemas, apesar das diferenças climáticas. As autoras analisaram que existe uma incidência alta de polinização por abelhas (42%), beija-flores (15%) e morcegos (13%). Segundo as autoras, espécies que apresentam autofecundação são menos frágeis às alterações do ecossistema e, portanto, quando o nível de interação e dependência é alto, surge maior necessidade de mantê-lo “equilibrado”.

A atual proposta para as síndromes de polinização tem sido questionada com base em evidências da existência da generalização dos sistemas de polinização, pois em muitos casos apenas a morfologia floral não é suficiente para determinar os polinizadores de uma dada espécie vegetal (REAL 1983), já que as flores em sua maioria não são fortemente adaptadas a um polinizador mais específico e que, portanto, as síndromes deveriam ser caracterizadas de acordo com a interação planta-polinizador e como estes podem influenciar na evolução do fenótipo floral (OLLERTON et al. 2009).

No entanto, existem evidências que confirmam validade do conceito de síndromes, cujos potenciais polinizadores estão de acordo com os caracteres florais descritos para determinadas síndromes (ARAUJO, 2001; CARA, 2002; MACHADO & LOPES, 2003; 2004). Assim, novos estudos abordando as síndromes de polinização são de extrema importância para se conhecer melhor sua dinâmica em ecossistemas tropicais, enfocando as possíveis relações existentes entre planta e polinizador de forma a conhecer a dinâmica biológica dos ecossistemas.

As perturbações que rompem interações planta-polinizadores têm efeitos mais severos sobre interações muito especializadas do que sobre as mais generalizadas

(LINHART et al., 1987) e qualquer fator afetando a disponibilidade relativa da planta ou de seu polinizador, necessariamente afetaria ambas populações (JANZEN, 1974), interrompendo o fluxo gênico e ameaçando o sistema planta-polinizador (ROUBIK, 2000). Além disso, a fragmentação florestal pode favorecer a endogamia, o que atua rapidamente na redução de variabilidade genética (TOMIMATSU & OHARA, 2006).

O sistema reprodutivo é outro fator importante que modela o sucesso reprodutivo e está diretamente ligado às diferentes estratégias de polinização (TABLA & BULLOCK, 2002) abrangendo todos os aspectos da expressão da sexualidade floral (hermafroditismo, dioicismo, monoicismo). Os vários tipos de sistemas sexuais podem ter diferentes implicações nas taxas de exocruzamento, nos mecanismos de polinização e no comportamento dos polinizadores (DAFNI, 1992), intervindo na manutenção da variabilidade genética nas populações naturais (CRUDEN & HERMANN-PARKER, 1977) e por isso a maioria das espécies vegetais possuem adaptações que favorecem a polinização cruzada (CRUDEN, 1977).

Estudos abrangendo a biologia reprodutiva de um ecossistema vegetal, que agrupem os mecanismos de polinização fornecem informações importantes que facilitam a compreensão das interações planta-animal, a distribuição das populações e a dinâmica do fluxo gênico entre estas populações (BAWA et al., 1985) e por isso são importantes para a conservação e para o entendimento dos sistemas de polinização e reprodução que regulam a estrutura genética das populações, contribuindo com informações que possam mediar estratégias para a conservação das espécies vegetais.

Embora muitos trabalhos abordem o estudo do efeito de borda na composição de espécies, poucos são os que abordam a influência da formação de bordas sobre as interações ecológicas como a polinização (AIZEN & FEINSIGER, 1994; CARA, 2006) e sendo este, um dos processos responsáveis pela forma como as comunidades vegetais se estruturam geneticamente, estudar a dinâmica do fluxo de pólen é uma ferramenta importante para indicar critérios para a conservação de espécies vegetais (BAWA, 1990; AIZEN E FEINSIGER, 1994).

Sendo assim, mais pesquisas são necessárias já que a ecologia da polinização é, sobretudo, de grande importância para compreensão da estrutura de comunidades vegetais naturais.

3. Referências bibliográficas

- AIZEN, M. A. & FEINSINGER, P. 1994. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina. **Ecology**, 75, p. 330-351.
- ALBUQUERQUE, L. B.; VELAZQUEZ, A. & MAYORGA-SAUCEDO, R. 2006. Solanaceae composition, pollination and seed dispersal syndromes in Mexican Mountain Cloud Forest. **Acta Botanica Brasilica** 20(3): 599-613.
- ARROYO, M. T. K.; PRIMACK, R. & ARMESTO, J. 1982. Community studies in pollination ecology in the high temperate Andes of Central Chile. I. Pollination mechanisms and altitudinal variation. **American Journal of Botany**, 69: 82-97.
- BARBOSA, A. A. A. 1997. **Biologia reprodutiva de uma comunidade de Campo sujo, Uberlândia – MG**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BARRETO, L. L. & ARAUJO, L. D. A. 2011. **Síndromes de polinização da Reserva Ecológica Estadual Mata do pau-ferro, Areia, Paraíba**. In: Adailson Pereira de Souza; André Regis de Carvalho; Antônio de Melo Villar; Bernadete de Lourdes Figueiredo de Almeida; Fábio Correia Sampaio; Maria José Araújo Wanderley; Solange Pereira Rocha; Wallace Duarte Fragoso. (Org.). Prêmio Iniciação Científica 2010/2011 19º Encontro de Iniciação Científica João Pessoa: 2012 314p: il. 17ed.João Pessoa: UFPB/BC, 2012, v. 17, p. 411-425.
- BARROS, M. A. G. 1998. Sistemas reprodutivos e polinização de *Erythroxylum* (*Erythroxylaceae*). AC - **International Journal of Dermatology**, 1998.
- BAWA, K. S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 21, p. 399-422.
- BAWA, K. S.; PERRY, D. R. & BEACH, J. H. 1985. Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. I. Sexual systems and self-incompatibility mechanisms. **American Journal of Botany**, 72, p. 331-345.
- BUZATO, S.; SAZIMA, M. & SAZIMA, I. 2000. Hummingbird-pollinated floras at Atlantic forest sites. **Biotropica**, 32, p. 824-841.

- CARA, P. A. A. 2002. **Efeito da oferta de flores e da produção de néctar na frequência de visitas de beija-flores em *Helicteres guazumaefolia* H.B.K. (Sterculiaceae), no Mato Grosso do Sul.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- CARA, P. A. A. 2006. **Efeito de borda sobre a fenologia, as síndromes de polinização e a dispersão de sementes de uma comunidade arbórea na Floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 100pp.
- CASCANTE, A.; QUESADA, M.; LOBO, J. J. & FUCHS, E. A. 2002. Effects of dry tropical forest fragmentation on the reproductive success and genetic structure of the tree *Samanea saman*. **Conservation Biology**, 16: 137-147.
- CORDEIRO, N. J. & HOWE, H. F. 2001. Low recruitment of trees dispersed by animals in African forest fragments. **Conservation Biology**, 15, p. 1733-1741.
- CRUDEN, R.W. & HERMANN-PARKER, S.M. 1977. Temporal dioecism: an alternative to dioecism? **Evolution**, 31, p. 863-866.
- CRUDEN, R.W. 1977. Pollen-ovule ratios: a conservation indicator of breeding systems in flowering plants. **Evolution**, v. 31, p. 32-46.
- DAFNI, A. 1992. **Pollination ecology: a practical approach.** New York: Oxford University Press.
- DONALDSON, J.D.; NÄNNI, I. & ZACHARIADES, C. 2002. Effects of habitat fragmentation on pollinator diversity and plant reproductive success in renosterveld shrublands of South Africa. **Conservation Biology** 16: 1267-1276.
- DU, Y.; MI, X.; LIU, X.; CHEN, L. & MA, K. 2009. Seed dispersal phenology and dispersal syndromes in a subtropical broad-leaved forest of China. **Forest Ecology and Management** 258: 1147-1152.
- ENDRESS, P. K. 1994. **Diversity and evolutionary biology of tropical flowers.** Cambridge: Cambridge University Press.

- FAEGRI, K., & van der PIJL, L. **The principles of pollination ecology**. Pergamin Press, London. 1979.
- FAHRIG, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematic** 34: 487-515.
- FEINSINGER, P. 1983. Coevolution and pollination. In: Futuyma D, Slatkin M., eds. **Coevolution**. Sunderland, Massachusetts: Sianuer Associates Publishers, p. 282-310.
- FORUP, M. L. & MEMMOTT, J. 2005. The restoration of plant-pollinator interactions in hay meadows. **Restoration Ecology**, 13(2), p. 265-274.
- FUCHS, E. J.; LOBO, J. A. & QUESADA, M. 2003. Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the tropical dry forest tree *Pachira quinata*. **Conservation Biology**, 17: 149-157.
- GANADE, G. 1995. **Seedling establishment in Amazon rainforest and old fields**. Tese de Doutorado, Imperial College at Silwood Park, University of London, Londres.
- HARPER, K. A.; MACDONALD, S. E.; BURTON, P. J.; CHEN, J.; BROSOFSKE, K. D.; SAUNDERS, S. C.; EUSKIRCHEN, E. S.; ROBERTS, D.; JAITEH, M. S. & ESSEEN, P. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, 19, p. 768-782.
- JANZEN, D. H. 1974. Tropical black water river, animals and mast fruiting by the Dipterocarpaceae. **Biotropica**, v. 6, p. 69-103.
- JUDD, W. W. 1971. Wasps (Vespidae) pollinating helleborine, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, at Owen Sound, Ontario. **Proc. Entomol. soc. Ont.** 102: 115 – 118.
- KEARNS, C. A. & INOUE, D. W. 1997. Pollinators, flowering plants, and conservation biology. **BioScience** 47, 297-306
- KEARNS, C. A; INOUE, D.W. & WASER, N.M. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. **Annual Review Ecology Evolution and Systematic**, 29, p. 83- 112.

- KINOSHITA, L. S.; TORRES, R. B.; FORNI-MARTINS, E. R.; SPINELLI, T.; AHN, Y.J. & CONSTÂNCIO, S. S. 2006. Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da mata do Sítio São Francisco, Campinas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 20(2): 313-327.
- KRESS, W. J. & BEACH, J. H. 1994. Flowering plant reproductive systems. **In: McDade LA, Bawa KS, Hespennheide H, Hartshorn G, eds. La Selva: ecology and natural history of neotropical rain forest.** Chicago, IL: University of Chicago Press, p.161-182.
- LAURANCE, W. F.; FERREIRA, L. V.; MERONA, J. M. R.; LAURANCE, S. G.; HUTCHINGS, R. W. & LOVEJOY, T. E. 1998. Effects of Forest fragmentation on recruitment patterns in Amazonian tree communities. **Conservation biology**, 12(2), p. 460-464.
- LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.; LAURANCE, S. G. & SAMPAIO, E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. **Conservation Biology**, 16, p. 605-618.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M. & SILVA, J. M. 2003. **Ecologia e Conservação da Caatinga.** Ed. Universitária da UFPE, Recife, Brasil, 804p.
- LIMA, A. L. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CASTRO, C. C.; RODAL, M. J. N. & MELO, A. L. 2012. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil?. **Trees** (Berlin. Print) v. on, p. first-00.
- LINHART, Y. B. & FEINSINGER, P. 1980. Plant-hummingbird interactions: effects of island size and degree of specialization on pollination. **Journal of Ecology**. 68, p. 745-760.
- LINHART, Y. B.; FEINSINGER, P.; BEACH, J. H.; BUSBY, W. H.; MURRAY, G.; KINSMAN, S. & KOOIMAN, M. 1987. Disturbance and predictability of flowers patterns in bird pollinated cloud forest plant. **Ecology**, 68: 1696-1710.

- LOCATELLI, E. & MACHADO, I. C. S. 2004. Fenologia das espécies arbóreas de uma comunidade de Mata Serrana (Brejo dos Cavalos) em Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: Porto KC, Cabral JJ, Tabarelli M eds. Brejos de Altitude: História Natural, Ecologia e Conservação. Brasília: 255-276.
- MACARTHUR, R. H., DIAMOND, J. M. & KARR, J. R. 1972. Density compensation in island faunas. **Ecology**, 53, p. 330-342.
- MACHADO, I.C. & LOPES, A.V. 1998. A polinização biótica e seus mecanismos na Reserva Ecológica de Dois Irmão. In: Machado IC, Lopes AV, Pôrto KC, eds. **Reserva ecológica de Dois Irmãos: estudos em um remanescente de mata atlântica em uma área urbana (Recife- Pernambuco-Brasil)**. Recife: Editora Universitária, UFPE, SECTMA, p. 173-195.
- MACHADO, I. C. & LOPES, A. V. 2002. **A polinização em ecossistemas de Pernambuco: uma revisão do estado atual do conhecimento**. In: Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente, Fundação Joaquim Nabuco. Recife: Massangana. Cap. 2. p. 583-596.
- MACHADO, I.C. & LOPES, A.V. 2003. Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga. In: Leal IR, Tabarelli M, Silva JMC, eds. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, p. 515-563.
- MACHADO, I.C. & LOPES, A.V. 2004. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a brazilian tropical dry forest. **Annals of Botany**, 94, p. 365-376.
- MACHADO, I.C. & VOGEL, S. . 2004. The North-east-brazilian liana, *Adenocalymma dichilum* (Bignoniaceae) pollination by bats. **Annals of Botany**, 93, p. 609-613.
- MACHADO, I. C. S.; LOPES, A. V. F. & PORTO, K. C. **Reserva ecológica de Dois Irmãos: estudos em um remnescente de Mata Atlântica em área urbana, (Recife-Pernambuco-Brasil)**. Recife: Editora Universitária, UFPE, SECTMA. 1998.

- MELO, F. P. L. 2004. **O papel do efeito de borda sobre a chuva de sementes e o recrutamento inicial de plântulas: o caso das grandes sementes.** 2004. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Biológicas, UFPE, Recife.
- MOMOSE, K.T., YUMOTO, T., NAGAMITSU, T., NAGAMASU, H., SAKAI, R. D., HARRINSIN, R. D., ITIOKA, T., HAMID, A. A. & INQUE, T. 1998. Pollination biology in a lowland dipterocarp forest in Sarawak, Malaysia. I. Characteristics of the plant-pollinator community in a lowland dipterocarp Forest. **American Journal of Botany** 85:1477-1501.
- MURCIA, C. 1995a. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, 10, p. 58-62,
- MURCIA, C. 1995b. Forest fragmentation and the pollination of neotropical plants. In: SCHELLAS, J; GREENBERG, R. (Eds.). **Forest patches in tropical landscapes.** London: Island Press, p. 19-36.
- NASON, J. D. & HAMRICK, J. L. 1997. Reproductive and genetic consequences of forest fragmentation: Two case studies of neotropical canopy trees. **Journal of Heredity** 88: 264-276.
- OLIVEIRA, P. E. 1991. **The pollination and reproductive biology of a Cerrado woody community in Brazil.** PhD Thesis. University of St. Andrews, Scotland.
- OLIVEIRA, P. E. & GIBBS, P. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. **Flora**, v. 195, p. 311-329, 2000.
- 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.
- OLLERTON, J. 1996. Flowering phenology: an example of relaxation of natural selection. **Trends in Ecology and Evolution** 7:274-276.
- OLLERTON, J.; ALARCO, R.; WASER, N. M.; PRICE, M. V.; WATTS, S.; CRANMER, L.; HINGSTON, A.; PETER, C. I. & ROTENBERRY, J. A global

- test of the pollination syndrome hypothesis. **Annals of Botany**, 103, p.1471–1480, 2009.
- PAGLIA, A.P.; FERNANDEZ, F.A.S. & MARCO JR., P. 2006. Efeitos da fragmentação de habitats: quantas espécies, quantas populações, quantos indivíduos, e serão eles suficientes? In: ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, H.G.; SLUYS, M.V.; ALVES, M.A.S. (Eds.). **Biologia da Conservação: Essências**. São Carlos. Editora Rima, p.281-316.
- PIERRE-OLIVIER, C., AVENDAÑO, V. & LYZ, G. 2006. Pollination processes and the Allee effect in highly fragmented populations: consequences for the mating system in urban environments. **New Phytologist**, 172, p.774-783.
- POWELL, A.H. & POWELL, G.V.N. 1987. Population dynamics of male euglossine bees in Amazonian forest fragments. **Biotropica**, 19, p.176-179.
- PROCTOR, N.; YEO, P. & LACK, A. 1996. **The natural history of pollination**. Oregon: Harper Colins Publishers.
- QUIRINO, Z. G. M. Fenologia, **Síndromes de Polinização e Dispersão e Recursos Florais de uma Comunidade de Caatinga no Cariri Paraibano**. 2006. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- REAL, L. 1983. **Pollination Biology**. Academic Press, Florida.
- RIES, L., FLETCHER, R. J., BATTIN, J. & SISK, T. D. 2004. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, 35, p.491-522.
- ROUBIK, D. W. 2000. Pollination system stability in Tropical America. **Conservation Biology**, 14, p.1235-1236.
- SANTOS, A. M. M. & SANTOS, B. A. 2008. Are the vegetation structure and composition of the shrubby caatinga free from edge influence? **Acta Botanica Brasilica**, 22, p.1077-1084.

- SANTOS, T. & TELLERIA, J. L. 1994. Influence of forest fragmentation on seed consumption and dispersal of Spanish Juniper *Juniperus thurifera*. **Biological Conservation**, 70, p.129-134.
- SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J. & MARGULES, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, 5, p.18-32.
- SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. & GOTTSBERGER, G. 1988. A polinização de plantas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, 48, p.651-663,
- 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.
- TABLA, V. P. & BULLOCK, S. H. 2002. La polinización en la selva tropical de Chamela. In: Noguera FA, Vega Rivera JH, García Aldrete AN, Quesada MA, eds. *Historia natural de Chamela*. Mexico: Instituto de Biología, UNAM, p.499-515.
- TOMIMATSU, H. & OHARA, M. 2006. Evaluating the consequences of habitat fragmentation: a case study in the common forest herb *Trillium camschatcense*. **Population Ecology**, 48, p.189-198.
- WALTZ, A. E. M. & W. W. COVINGTON. 2004. Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response. **Restor. Ecol.** 12(1), p. 85–96.
- WASER, N. M.; CHITTKA, L.; PRICE, M. V.; WILLIAMS, N. M. & OLLERTON, J. 1996. Generalization in pollination systems and why it matters. **Ecology**, 77: 1043-1060.
- WHITEHEAD, D.R. 1969. Wind pollination in the angiosperms: evolutionary and environmental considerations. **Evolution**, 23, p.28-35.
- WILCOX, B. A. & MURPHY, D. D. 1985. Conservation Strategy: the effects of fragmentation on extinction. **American Naturalist** 125: 887-897.

YAMAMOTO, L. F.; KINOSHITA, L. S. & MARTINS, F. S. 2007. Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua Montana, SP, Brasil. **Acta bot. bras.**, 21(3), p.553-573.

Capítulo 1

**A DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À BORDA INFLUENCIA AS PROPORÇÕES
DE SÍNDROMES DE POLINIZAÇÃO EM FLORESTAS SECAS? ESTUDO DE
CASO NA CAATINGA**

Manuscrito a ser submetido ao Journal of Arid Environments

**A DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À BORDA INFLUENCIA AS PROPORÇÕES
DE SÍNDROMES DE POLINIZAÇÃO EM FLORESTAS SECAS?: ESTUDO DE
CASO NA CAATINGA**

Laís Leite Barreto¹; Thaís Virginia Fidelis e Silva⁵; Ana Virgínia de Lima Leite³; André
Maurício Melo Santos⁴ & Cibele Cardoso de Castro^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco

²Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco

³Departamento de Biologia, Rua Dom Manoel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, CEP:

51280-400, Recife-PE, Brasil

⁴Centro Acadêmico de Vitória, Núcleo de Biologia, Universidade Federal de
Pernambuco

⁵Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco

Autor para correspondência: C.C. Castro (cibelecastro@hotmail.com)

Resumo

A alta riqueza de espécies vegetais e a diversidade de mecanismos de polinização em florestas tropicais estão ameaçadas pela fragmentação florestal, que causa a perda de grupos ecológicos. Uma das consequências da fragmentação é a formação de bordas, que pode levar a alterações da composição, estrutura e/ou funcionalidade dos ecossistemas, inclusive nas interações planta-animal, sendo este processo denominado de efeito de borda. Estudos desenvolvidos em florestas tropicais úmidas indicam que o efeito de borda pode alterar as proporções de características florais e síndromes de polinização no nível de comunidade. Como consequência, áreas de borda podem apresentar maior proporção de espécies com flores mais generalistas em relação ao conjunto de espécies encontradas no interior de fragmentos de vegetação nativa. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de borda sobre as frequências de características florais e de síndromes de polinização de espécies lenhosas em florestas secas, tendo como modelo uma área de Caatinga no nordeste do Brasil. Parcelas foram distribuídas aleatoriamente em uma área de aproximadamente 30 ha de caatinga; a distância de cada parcela em relação à borda foi tomada, bem como os atributos florais e as síndromes de polinização de todas as 26 espécies lenhosas encontradas em flor foram registrados. Esses dados foram analisados por meio de regressões logísticas, para avaliar a influência da borda sobre a distribuição dos atributos florais e síndromes de polinização. Em geral foi observada diferença na probabilidade de ocorrência dos diversos atributos florais (cor, tamanho, tipo floral, unidade de polinização) e nas síndromes de polinização em função da distância da borda. As áreas mais próximas à borda apresentaram predominância de sistemas de polinização mais generalistas, tipos florais pouco especializados e flores de cores claras. À medida que a distância em relação à borda aumenta, esses atributos tendem a ocorrer em menor quantidade, dando lugar para atributos característicos de relações mais especializadas de polinização. A entomofilia predominou ao longo do gradiente de distância, destacando-se a melitofilia, seguida pela polinização por diversos pequenos insetos. Depois da entomofilia, os sistemas de polinização mais frequentes foram a quiropterofilia e a esfingofilia. Nossos resultados indicam a presença de um efeito de borda atuando no conjunto de características florais e síndromes de polinização favorecendo populações com sistemas de polinização mais generalistas.

Palavras chave: efeito de borda, generalistas, sistemas de polinização, caatinga.

Introdução

A polinização biótica é responsável por quase metade do fluxo de pólen das plantas de florestas tropicais (BAWA 1990), e a alta riqueza de espécies nestes ambientes se reflete na grande diversidade de sistemas de polinização (ASHTON 1969; BAWA *et al.* 1985). O severo processo de fragmentação ao qual esses ambientes são submetidos gera modificações dos padrões reprodutivos das comunidades vegetais, inclusive aqueles relacionados à polinização. A maioria do conhecimento que se tem sobre os efeitos de borda sobre a reprodução de plantas está baseada em dados de florestas tropicais úmidas (CARA 2006; GIRÃO 2007; LOPES *et al.* 2009), e muito pouco se sabe sobre esses efeitos em florestas secas (AIZEN & FEINSINGER 1994).

Fragmentos de florestas tropicais úmidas experimentam modificações no perfil funcional das estratégias reprodutivas de plantas, fazendo com que ocorra uma convergência no perfil reprodutivo, que voltam a apresentar características das comunidades em sucessão secundária inicial. Em relação à polinização, há diminuição de polinização por vertebrados e aumento da polinização generalista (CARA 2006; LOPES *et al.* 2009). Para a floresta atlântica foi registrado um declínio na diversidade de características funcionais relacionadas às síndromes de polinização (LOPES *et al.* 2009) e, segundo GIRÃO *et al.* (2007), com a fragmentação a riqueza e a abundância de características reprodutivas diminui, o que leva à redução da diversidade funcional em pequenos fragmentos florestais, menor diversidade de sistemas de polinização, a maior número de características reprodutivas associada à polinização por vetores diurnos e generalistas e maior abundância de árvores hermafroditas.

Tal redução inclui quase todas as classes de atributos florais, levando ao aumento da probabilidade de ocorrência de flores com atributos mais generalistas, entre eles, cores claras, tubos florais curtos ou ausentes, permitindo fácil acesso ao recurso floral e sistemas reprodutivos que facilitem a auto-polinização como o hermafrodita (LOPES *et al.* 2009). Estudos comprovam que a fragmentação pode reduzir a aptidão reprodutiva das plantas por interferir negativamente na polinização (WILCOCK & NEILAND 2002; HOBBS & YATES 2003). Estas mudanças podem afetar indiretamente a reprodução da planta, modificando as características da população, (FISCHER & MATTHIES 1997; MATSUMURA & WASHITANI 2000), com efeitos subsequentes sobre o sucesso reprodutivo, já que algumas espécies são mais sensíveis à limitação do pólen. Algumas populações foram documentadas com baixa produção de

sementes (AIZEN & FEINSINGER 1994a), a qual, em um caso extremo, pode comprometer a sua viabilidade a longo prazo (GROOM 1998; LAMONT et al. 1993).

O único estudo que investigou as consequências da criação da borda sobre a reprodução em florestas secas registrou influência negativa sobre a formação de tubos polínicos e de frutos em 17 das 45 espécies estudadas (AIZEN & FEINSINGER 1994). Os demais estudos existentes em florestas secas não registraram diferenças na composição e estrutura da vegetação lenhosa entre áreas de borda e de interior, como registrado para florestas estacionais (SAMPAIO & SCARIOT 2011) e caatinga (SANTOS & SANTOS 2008; OLIVEIRA et al. 2013).

Na caatinga, por exemplo, um ambiente árido brasileiro considerado savana estépica (IBGE 2012), estima-se que mais da metade das plantas depende de animais para a transferência de pólen (MACHADO et al. 1997; MACHADO & LOPES 2003, 2004; QUIRINO 2006). Trata-se de um ecossistema bastante alterado, e para o qual ainda não existem estudos sobre efeito de borda atuando sobre características reprodutivas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de borda sobre as frequências de características florais e de síndromes de polinização de espécies lenhosas em florestas secas, tendo como modelo uma área de Caatinga no nordeste do Brasil.

Material e Métodos

Área de estudo: O estudo foi realizado em um fragmento de caatinga localizado na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), município de Caruaru, nordeste brasileiro (8°14'18"S e 35°55'20"W, 537 m de altitude). O clima da região é semiárido (BSH pela classificação de KÖPPEN, 1948), com precipitação média anual de 680 mm, temperatura mínima de 11°C e máxima de 38°C, e estação chuvosa entre março e agosto (Reis et al., 2006). O fragmento possui cerca de 30 ha ocupados por vegetação nativa preservada há 50 anos e na qual não é permitido o desenvolvimento de atividades humanas nem o trânsito de animais para pastejo. A matriz é formada por culturas experimentais de soja, milho, feijão, palma forrageira, dentre outras. O componente lenhoso apresenta elevada riqueza de espécies de Fabaceae e Euphorbiaceae (ALCOFORADO-FILHO et al. 2003), tais como *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud, *Caesalpinia pyramidalis* Tul., *Croton sonderianus* Müll. Arg., *Jatropha mollissima* (Pohl.) Baill., *Manihot dichotoma* Ule e *Sapium lanceolatum* (Müll. Arg.) Herber.

Síndromes de polinização: Foram incluídos na amostragem todos os indivíduos lenhosos encontrados em 20 parcelas de 10 x 10m distribuídas aleatoriamente (Figura 1) por meio da ferramenta *Animal Movement* do programa ArcView 3.2a (MITCHELL 1999). De abril de 2012 a setembro de 2013 foram realizadas coletas mensais de flores dos indivíduos das parcelas (Figura 1). Esta distribuição nos permitiu avaliar diversas distâncias das parcelas (entre 3 e 235 metros) em relação a borda do fragmento, já que não existe um padrão para a caatinga. Após coletados os dados, estes foram transcritos para uma planilha utilizando o aplicativo Microsoft Excel, constando família, nome científico, nome vulgar e quantidade de indivíduos e localização. Para cada espécie foram registradas as seguintes características florais: unidade de polinização, tipo floral, tamanho, cor predominante, e recursos florais, além da observação (entre 1 e 3 horas), quando possível, dos visitantes florais.

As unidades de polinização foram caracterizadas em individual, quando cada flor (isolada ou em inflorescência) foi visitada individualmente, e coletivista, quando as visitas foram realizadas à inflorescência como um todo (modificado de RAMIREZ et al. 1990). Os oito tipos florais (modificado de FAEGRI & PIJL 1979) considerados foram: tubo, goela, disco, pincel, estandarte, campânula, câmara e inconspícuo (este último atribuído a flores de até 4 mm).

O diâmetro da corola de 10 flores de cada espécie (preferencialmente de um grande número de indivíduos) foi medido com paquímetro digital, e as flores das espécies foram classificadas como pequenas (≤ 10 mm), médias ($> 10 \leq 20$ mm) ou grandes (> 20 mm). Para as flores mais abertas foi considerado o diâmetro total da corola e para flores tubulosas o comprimento do tubo e da falce (adaptado de MACHADO & LOPES 2004). Sete categorias de cores foram usadas, considerando a cor mais evidente (branca, vermelha, esverdeada - incluindo bege e creme -, amarela, laranja, lilás/violeta incluindo azul e rosa-claro e púrpura), conforme descrito em MACHADO & LOPES (2004).

Os recursos florais foram classificados em pólen, néctar (quando houver nectário ou néctar presente), óleo e resina. Para cada classe (exceto a última), apenas o recurso principal foi considerado (“atrativo primário” *sensu* FAEGRI & PIJL, 1979). Os sistemas de polinização foram classificados em anemófilo, entomófilo (incluindo as subclasses cantarofilia, esfingofilia, falenofilia, melitofilia, miofilia e psicofilia), ornitófilo e quiropterófilo (FAEGRI & van der PIJL, 1979). Para a identificação dos sistemas de polinização, além das flores das espécies que foram coletadas em campo,

foram observadas espécimes-testemunho da área de estudo depositadas no Herbário Dárdano de Andrade-Lima (IPA).

Foram coletados ramos férteis para identificação das espécies, sendo estas depositadas no Herbário PEUFR da Universidade Federal Rural de Pernambuco. A identificação do material vegetal amostrado foi feita por meio de comparações em herbários (UFP/UFPE, PEUFR/UFRPE e IPA), a partir de chaves analíticas, por consulta a especialistas e de acordo com o sistema de classificação APG III (2009).

Análises estatísticas: Para averiguar se a distância das parcelas em relação à borda mais próxima influencia a ocorrência dos atributos florais e das síndromes de polinização, foram realizadas regressões logísticas multinomiais usando o IBM SPSS Statistics 19 (NORUSIS 2010). Para isso foi utilizada a distância como variável preditora e os atributos (cor, forma, unidade de polinização, recurso e tamanho) e síndromes florais como variáveis resposta.

Resultados

Foram registradas 26 espécies distribuídas em 13 famílias, sendo Euphorbiaceae, Fabaceae, Anacardiaceae e Bignoniaceae as que apresentaram maior riqueza (Tabela 1). O número de espécies em cada parcela variou de 1 a 15. O tipo coletivista foi o mais representativo (79% das espécies), porém não foi encontrado um padrão que mostrasse a influência da distância da borda sobre a distribuição deste atributo (Figura 2a). Flores tipo disco (49,4% das espécies) foram mais comumente observadas, seguidas pelas do tipo pincel (27,1%), goela (16,7%) e estandarte (6,8%). As áreas mais próximas à borda possuem tipos florais menos especializados, tais como disco e goela; à medida que a distância da borda aumenta, tende a aumentar a ocorrência de flores tipo pincel e estandarte (Figura 2b).

Houve predominância de flores pequenas (56,2% das espécies, $p < 0,001$) seguidas por grandes (25,1%) e médias (18,7%), não sendo registradas flores de outros tamanhos. Houve uma tendência à diminuição de flores pequenas e ao aumento de flores médias e grandes à medida que se distanciou da borda (Figura 3a). A ocorrência de flores claras (brancas e esverdeadas) foi menor (36,7%) do que as de cores mais intensas, tais como amarela, vermelha, rosa e lilás (53,2%). Flores amarelas, rosas e lilases foram mais comuns em áreas mais distantes da borda, ao contrário das flores esverdeadas e brancas, que foram mais comuns próximas à borda (Figuras 3b).

O recurso floral mais comumente observado foi o néctar (75% do total), seguido por pólen/néctar (10%), pólen (5%), óleo (5%) e resina (5%). Não foi encontrado nenhum padrão de relação com a distância da borda (Figura 4a).

A polinização por insetos foi o sistema mais frequente (85,5 % das espécies). Entre as espécies entomófilas, a síndrome predominante foi a melitofilia (62,5%), seguida de dpi (21%), quiropterofilia (12,5%), esfingofilia (2%) e ornitofilia (2%). À medida que a distância em relação à borda aumenta, a polinização por dpi tende a diminuir, e a melitofilia e sistemas mais especializados, tais como esfingofilia e quiropterofilia, tendem a aumentar (Figura 4b).

Discussão

A maioria dos resultados encontrados neste estudo corrobora com os anteriormente descritos para a Caatinga (MACHADO & LOPES 2004): os sistemas de polinização são diversificados, com cores vistosas, formas florais especializadas, simetria actinomorfa, apresentando néctar como principal recurso floral e entomofilia como o sistema de polinização mais frequente. A predominância de unidade de polinização coletivista difere do observado por Quirino (2006) e Machado & Lopes (2004) em áreas de Caatinga, que encontraram alta frequência de flores individuais. Por estarem agrupadas, flores em unidades coletivistas tem mais chances de serem polinizadas, já que um visitante utiliza várias flores em uma mesma sessão de visitação; no entanto, aumentam também as chances de autogamia, pois a polinização entre flores de um mesmo indivíduo não difere muito, geneticamente, da autopolinização.

Flores com tubos curtos associados a alguns tipos florais como o disco, mais frequente neste estudo, permitem o acesso a uma ampla diversidade de polinizadores (FAEGRI & PIJL 1979). Em contrapartida, a frequência de flores goela, estandarte e pincel contribui para que os recursos florais não sejam expostos facilmente aos visitantes (MACHADO & LOPES 2004), sugerindo que a proximidade da borda influencia tanto na distribuição dos tamanhos florais como consequentemente na guilda de polinizadores relacionados a este atributo.

Neste estudo, as flores pequenas prevaleceram diferente do registrado por Machado & Lopes (2003, 2004), onde foi observada maior frequência de flores grandes, no entanto, corrobora com o encontrado por Quirino (2006). Isto pode influenciar a composição de polinizadores ao longo da área de estudo, já que vários estudos encontraram correlações entre o tamanho da flor e o de seus polinizadores (LINDSEY

& BELL 1985), e, geralmente, espécies com flores pequenas apresentam visitantes com dimensões menores, como pequenos insetos (BAWA et al. 1985b).

A grande incidência de cores claras já foi registrada para outras áreas de vegetação aberta e caatinga (OLIVEIRA & GIBBS 2000; QUIRINO 2006). Estudos referem-se às cores florais como não sendo correlacionadas significativamente com os sistemas de polinização (MOMOSE et al. 1998), no entanto, apesar de uma determinada cor não ser associada a um sistema de polinização específico, alguns polinizadores possuem preferência por flores de determinadas cores. Assim como observado por Machado & Lopes (2004), dentre as espécies visitadas por esfingídeos e morcegos houve um predomínio de flores brancas. Apesar das áreas de borda apresentarem maior porcentagem de flores claras, como encontrado nesse estudo e também em áreas de mata úmida (LOPES, 2009), quanto maior a distância das áreas de borda, mas estas síndromes tornam-se freqüentes.

Assim como observado na maioria dos estudos (RAMIREZ 1990; OLIVEIRA & GIBBS 2000; MACHADO & LOPES 2004; QUIRINO 2006) o recurso mais comumente encontrado foi o néctar e este ato pode estar associado com a alta porcentagem de flores polinizadas por insetos que procuram este recurso. Pólen é mais frequentemente oferecido por espécies que apresentam anteras poricidas, por isso seu baixo índice neste estudo, pois nenhuma das espécies analisadas apresentava esse tipo de deiscência. A mesma tendência é observada para óleo e resina, que foram encontrados em apenas uma espécie

A predominância do sistema melitófilo é comum a outros ecossistemas (SILBERBAUER-GOTTSBERGER & GOTTSBERGER 1988; OLIVEIRA & GIBBS 2000; MACHADO & LOPES 2003; 2004; QUIRINO 2006). A diferença na composição de espécies ao longo do fragmento pode ter influenciado a distribuição das síndromes, já que estudos em regiões tropicais mostram diferenças entre os sistemas de polinização e os hábitos das espécies (FRANKIE et al. 1983; BAWA et al. 1985b; RAMÍREZ 1990; MORELLATO 1991). De acordo com Frankie et al. (1983), quando considerado como polinizadores apenas as abelhas grandes, este é o sistema com as maiores proporções entre as espécies arbóreas, e geralmente menos frequente em arbustos e ervas.

A polinização por diversos pequenos insetos foi semelhante ao encontrado por MACHADO & LOPES (2004), com uma distribuição frequentemente maior nas áreas próximas as bordas. Com relação aos demais sistemas, estes também seguiram o mesmo

padrão apresentando-se mais freqüente nas áreas mais distantes a borda. Estes padrões já foram amostrados para florestas úmidas (LOPES 2009), ressaltando a importância de estudos que abordem a influência da área de borda em todos os ecossistemas, pois nem todas as características funcionais são afetadas, mas os sistemas de polinização se mantêm mais generalistas em áreas próximas a borda, permitindo a visitação de guildas mais generalistas, podendo comprometer o fluxo de pólen entre as espécies.

Os atributos florais e a guilda de polinizadores encontrados neste estudo ilustram a diversidade de caracteres florais e da interação entre os polinizadores e suas flores de uma área de caatinga nordestina brasileira. A predominância de flores pequenas, abertas, de cores vistosas, ofertando néctar e visitadas por diversos pequenos insetos leva a sistemas de polinização mais generalistas, o que por sua vez favorece a polinização das espécies arbóreas por uma gama maior de animais. Nossos resultados indicam que o efeito de borda está interferindo nos padrões de sistemas de polinização do ambiente da borda de forma semelhante ao que ocorre em ambientes tropicais úmidos.

Referencias Bibliográficas

- AIZEN, M. A. & FEINSINGER, P. 1994. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a chaco dry forest, Argentina. *Ecology*, 75, 330–351.
- ALCOFORADO-FILHO, F.G.; SAMPAIO, E.V.S.B. & RODAL, M.J.N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifolia espinhosa arbórea em Caruaru. *Acta Botanica Brasílica*, v. 17, p. 287-303, 200.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG) III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III *Botanical Journal of the Linnean Society*, [s.n.], não paginado, 2009.
- BAWA, K.S.; BULLOCK, S.H.; PERRY, D.R.; COVILLE, R.E. & GRAYUM, M.H. 1985b. Reproductive biology of 24 tropical lowland rain forest trees. II. Pollination systems. *American Journal of Botany* 72: 345-356.

- BAWA, K. S. 1990. Plant-Pollinator Interactions in Tropical Rain Forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 399-422.
- CARA, P. A. A. *Efeito de borda sobre a fenologia, as síndromes de polinização e a dispersão de sementes de uma comunidade arbórea na Floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco*. 209 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- FAEGRI, K., & L. van der PIJL. 1979. *The principles of pollination ecology*. Pergamin Press, London.
- FRANKIE, G.W.; HARBER, W.A.; OPLER, P.A. & BAWA, K.S. 1983. Characteristics and organization of the large bee pollination system in the Costa Rican dry forest. In: Jones CE, Little RJ, eds. *Handbook of experimental pollination biology*. New York: Van Nostrand and Reinhold Inc., 411-448.
- FISCHER, M. & MATTHIES, D. 1997. Mating structure and inbreeding and outbreeding depression in the rare plant *Gentianella germanica* (Gentianaceae). *American Journal of Botany*, 84, 1685.
- GIRÃO, L. C.; LOPES, A. V.; TABARELLI, M. & BRUNA, E. M., 2007. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic forest landscape. *PLoS One*, 2, 908.
- GROOM, M. J. 1998. Allee effects limit population viability of an annual plant. *The American Naturalist*, 151, 487-496.
- HOBBS, R. J. & YATES, C. J. 2003. Impacts of ecosystem fragmentation on plant populations: generalising the idiosyncratic. *Australian Journal of Botany*, 51, 471-488.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 271.
- KODRIC-BROWN, A.; BROWN, J.; BIER, G.S. & GORI, D.F. 1984. Organization of a tropical island community of hummingbirds and flower. *Ecology* 65: 1358-1368.

- LAMONT, B. B.; KLINKHAMER, P. G. L. & WITKOWSKI, E. T. F. 1993. Population fragmentation may reduce fertility to zero in *Banksia goodii* – a demonstration of the Allee effect. *Oecologia*, 94, 446–450.
- LINDSEY, A.H.. & BELL, C.R. 1985. Reproductive biology of Apiaceae. II. Cryptic specialization and floral evolution in *Thaspium* and *Zizia*. *American Journal of Botany* 72: 231-247.
- LOPES, A. V.; GIRÃO, 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 (2009) 1154–1165.
- MACHADO, I. C., BARROS, L. M. & SAMPAIO, E. V. S. B. 1997. Phenology of caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica* 29:57-68.
- MACHADO, I.C.S., 1990. *Biologia floral de espécies de caatinga no Município de Alagoinha- PE*. Tese de Doutorado. Universidade de Campinas.
- MACHADO, I. C. & LOPES, A. V. 2003. Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga. In: Leal IR, Tabarelli M, Silva JMC, eds. *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária, UFPE, 515-563.
- MACHADO, I. C. & LOPES, A. V. 2004. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Annals of Botany*, 94, 365-376.
- MATSUMURA, C. & WASHITANI, I. 2000. Effects of population size and pollinator limitation on seed-set of *Primula sieboldii* populations in a fragmented landscape. *Ecological Research*, 15, 307–322.
- MITCHELL, A. 1999. *The ESRI Guide to GIS Analysis, Vol. 1, Geographic Pattern & Relationships*. Redlands, CA: ERSI Press.
- MOMOSE, K.; YUMOTO, T.; NAGAMITSU, T.; KATO, M.; NAGAMASU, H.; SAKAI, S.; HARRISON, R.D.; ITIOKA, T.; HAMID, A.A. & INOUE, T. 1998. Polination Biology in a lowland dipterocarp forest in Sarawak, Malaysia. I. Characteristics of the plant-pollinator community in a lowland dipterocarp forest. *American Journal of Botany* 85: 1477-1501.

- MORELLATO, L.P.C. 1991. *Estudo da fenologia de árvores, arbustos e lianas de uma floresta Semidecídua no sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, São Paulo.
- OLIVEIRA, P.E. & GIBBS, P. 2000. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. *Flora* 195: 311-329.
- OPLER, P.A.; FRANKIE, G.W. & BAKER, H.G. 1980. Comparative phenological studies of treelet and shrubs species in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 68: 167-188.
- QUIRINO, Z. G. M. Fenologia, Síndromes de Polinização e Dispersão e Recursos Florais de uma Comunidade de Caatinga no Cariri Paraibano. 2006. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- RAMÍREZ, N. 1990. Biología de polinización en una comunidad arbustiva tropical de la Alta Guayana Venezolana. *Biotropica*, 21, 319-330.
- REAL, L. 1983. *Pollination Biology*. Academic Press, Florida.
- SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. & GOTTSBERGER, G. 1988. A polinização de plantas do cerrado. *Revista Brasileira de Biologia* 48: 651-663.
- WILCOCK, C. & NEILAND, R., 2002. Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends in Plant Sciences*, 7, 270-277.

Tabela 1. Espécies lenhosas estudadas em uma área de Caatinga no Nordeste do Brasil.

Família	Espécie
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemao <i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl. <i>Spondias tuberosa</i> L.
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos
Burseraceae	<i>Commiphora leptofloeos</i> (Mart.) J. B. Gillett
Capparaceae	<i>Capparis jacobinae</i> Moric ex Eichler <i>Cynophala flexuosa</i>
Celastraceae	<i>Maytenus rigida</i> Mart.
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill. <i>Croton limae</i> <i>Croton sonderianus</i> Müll. Arg. <i>Dalechampia</i> sp. <i>Jatropha mollissima</i> (Pohl.) Baill. <i>Manihot dichotoma</i> Ule.
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan <i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong) Steud. <i>Mimosa</i> sp. <i>Mimosa invisa</i> Mart. <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P. Queiroz <i>Prosopis juriflora</i> (Sw) DC
Malpighiaceae	<i>Ptilochaeta bahiensis</i> Turcz.
Malvaceae	<i>Ceiba glaziovii</i> (Kuntze) K. Schum.
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.

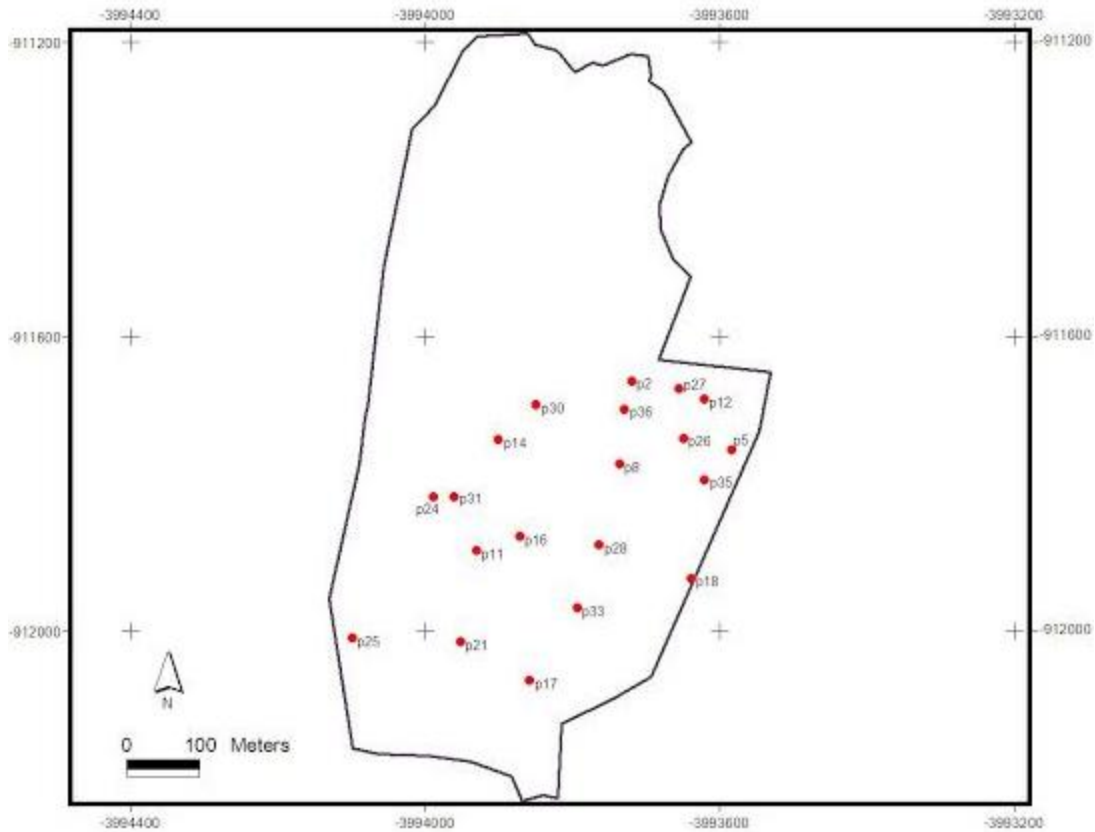


Figura 1. Mapa da área de estudo com a localização de todas as parcelas.

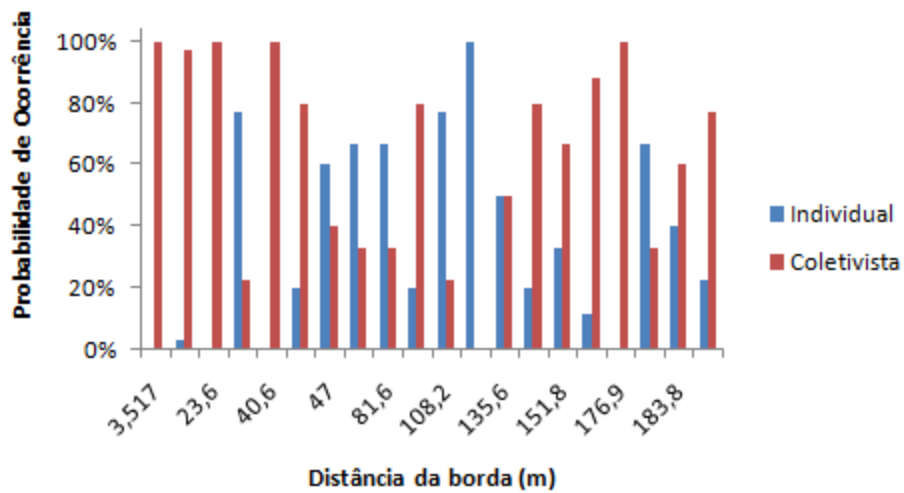


Figura 2a. Probabilidade de ocorrência de unidades de polinização individual e coletivista em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.

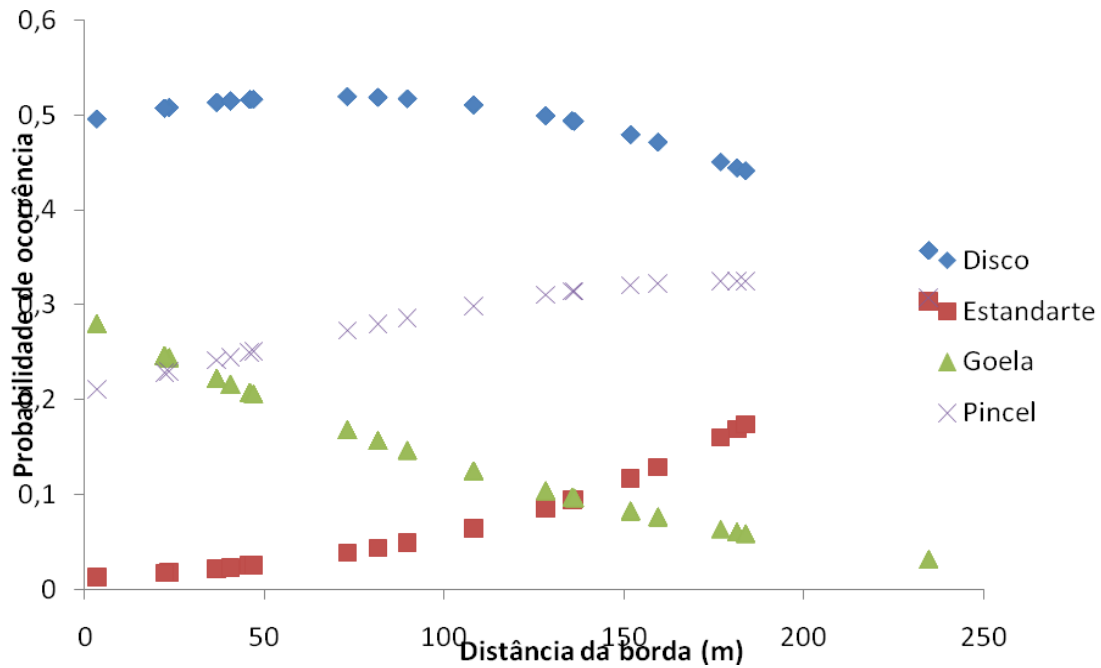


Figura 2b. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de tipos florais em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.

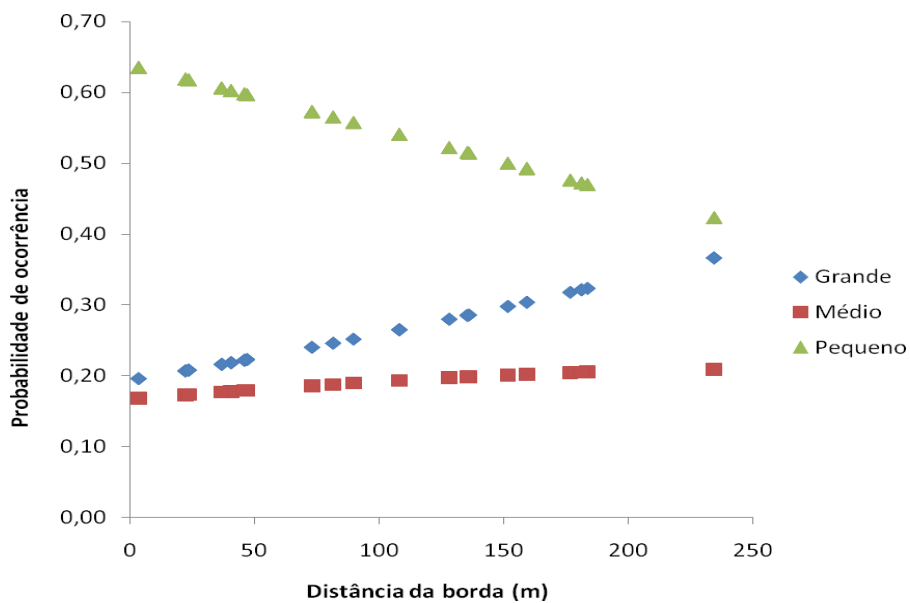


Figura 3a. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de flores de grande, médio e pequeno porte em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.

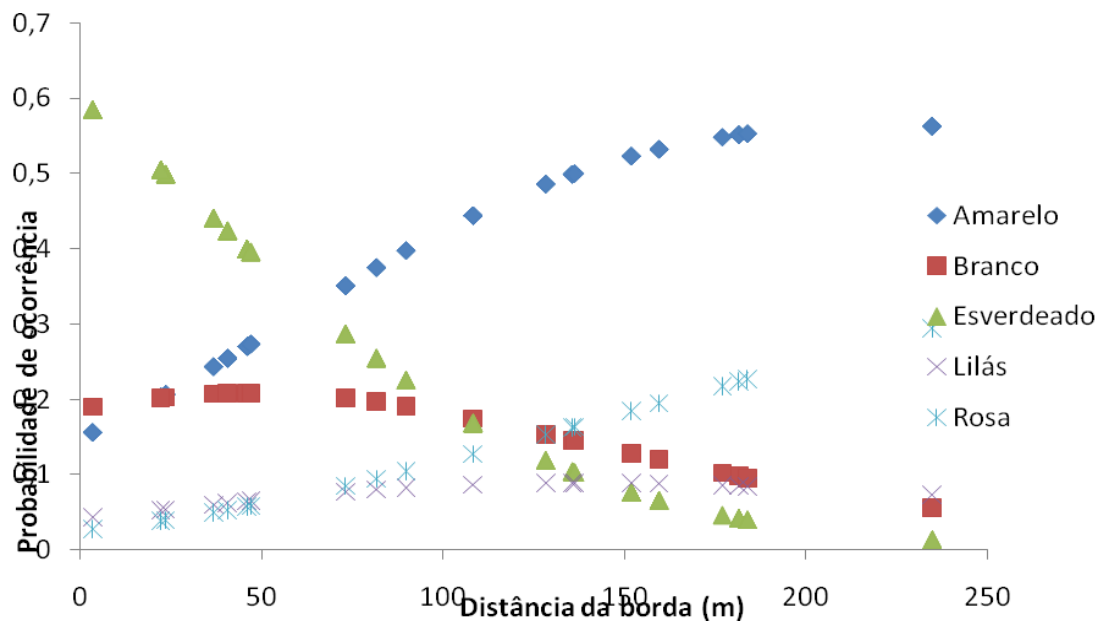


Figura 3b. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de cores de pétalas em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.

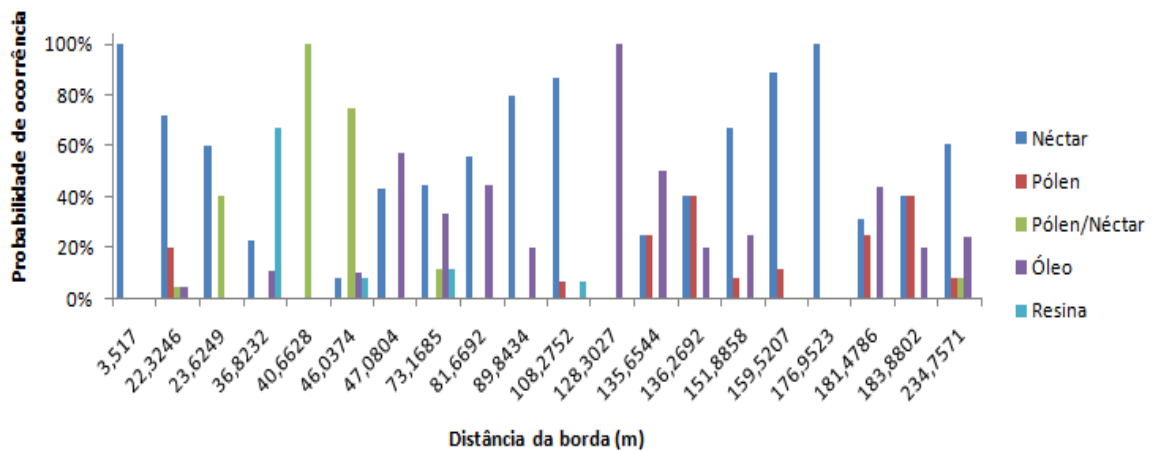


Figura 4a. Probabilidade de ocorrência de recursos florais em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.

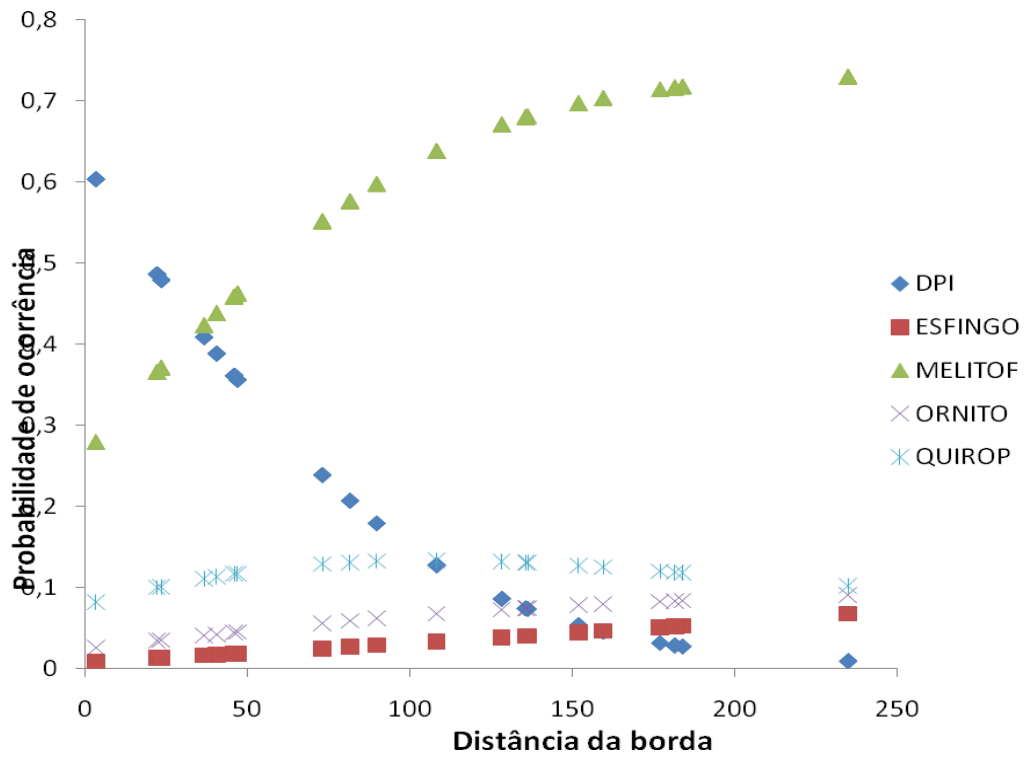


Figura 4b. Regressão logística da probabilidade de ocorrência de síndromes de polinização em função da distância em relação à borda, para indivíduos de espécies lenhosas em um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil.

Capítulo 2

**INFLUÊNCIA DA BORDA SOBRE A REPRODUÇÃO DE *Ruellia asperula*
(MART. & NEES) LINDAU (ACANTHACEAE) EM UMA ÁREA DE
CAATINGA NO NORDESTE DO BRASIL**

Manuscrito a ser enviado ao periódico Plant Biology

**INFLUÊNCIA DA BORDA SOBRE A REPRODUÇÃO DE *Ruellia asperula*
(MART. & NEES) LINDAU (ACANTHACEAE) EM UMA ÁREA DE
CAATINGA NO NORDESTE DO BRASIL**

Laís Leite Barreto¹; Bruna Yvila Melo Santos³; Ana Virgínia de Lima Leite³; André Maurício
Melo Santos⁴ & Cibele Cardoso de Castro^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco

²Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco

³Departamento de Biologia, Rua Dom Manoel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, CEP: 51280-

400, Recife-PE, Brasil

⁴Centro Acadêmico de Vitória, Núcleo de Biologia, Universidade Federal de Pernambuco

Autor para correspondência: C.C. Castro (cibelecastro@hotmail.com)

Resumo

A biologia reprodutiva de *Ruellia asperula* foi estudada em populações naturais localizadas na borda e no interior de uma área de caatinga no Nordeste do Brasil. Em indivíduos situados na borda e no interior da mata foram realizadas observações para comparar dados a respeito da frequência de visitas/censo de visitantes florais, análise de presença/ausência de grãos de pólen nos pistilos e formação de frutos. Nas análises de frequência de visitantes florais foi observada a presença dos beija-flores *Amazilia fimbriata*, *Chlorostilbon lucidus*, *Eupetionema macroura* e *Phaethornis pretei*, sendo o *Amazilia fimbriata* o polinizador efetivo, e *Amazilia versicolor* pilhador. Na área de borda foi observada maior frequência de visitas e de flores visitadas ($p < 0,0001$). No entanto, houve maior produção natural de frutos no interior ($X^2 = 25,137$; g.l.=1; $p < 0,001$), bem como maiores formação de frutos através da polinização cruzada, número de pistilos com grãos de pólen no estigma ($\chi^2 = 10,46$; g.l. = 1; $p < 0,001$), peso, tamanho e largura de fruto ($p < 0,0005$). Tal incoerência entre os resultados de polinização e de sucesso reprodutivo parece estar relacionada aos polinizadores, já que no interior há maior frequência de polinizadores que utilizam rotas de captura como estratégia de forrageamento, a qual favorece a polinização cruzada e, consequentemente, a formação de frutos e sementes. Os resultados deste trabalho trazem evidências de que alguns parâmetros reprodutivos de plantas podem ser influenciados pela borda em florestas secas, os quais podem afetar negativamente o fluxo gênico da espécie e a manutenção das populações na área.

Palavras-chave: biologia reprodutiva, efeito de borda, limitação polínica, polinização, Trochillidae.

Introdução

O efeito de borda em ecossistemas nativos pode alterar o processo de polinização das plantas, que pode diferir entre indivíduos de mesma espécie localizados no interior e na borda de fragmentos de vegetação nativa (AIZEN & FEINSINGER 1994; KEARNS et al. 1998; AGUILAR et al. 2006; PIERRE-OLIVIER et al. 2006). Nas bordas as populações de polinizadores podem sofrer alterações em sua densidade e até mesmo serem localmente extintas (AIZEN & FEINSINGER 1994a; MURCIA 1995a; STEFFAN-DEWENTER et al. 2002; ASHWORTH et al. 2004). Pode, ainda, haver a ocupação das bordas por espécies que não ocorriam naturalmente na área, as quais podem constituir polinizadores pouco eficientes e/ou competir com as espécies nativas (POWELL & POWELL 1987; AIZEN & FEINSINGER 2003). Tais modificações estão estreitamente relacionadas a mudanças na estrutura e na dinâmica da vegetação da borda (JULES & RATHCKE 1999), e podem alterar o fluxo de pólen e o sucesso reprodutivo de plantas (WILCOCK & NEILAND 2002; HOBBS & YATES 2003; JACQUEMYN et al. 2009).

Apesar do grande corpo de pesquisas que demonstram os efeitos negativos da formação de bordas sobre a reprodução das plantas (eg. AGUILAR et al. 2006; ECKERT et al. 2010), existem poucos estudos que comparam os efeitos de borda na reprodução de plantas e que incluam as etapas desde a produção de flores até a formação de sementes (MUSTAJÄRVI et al. 2001; AGREN et al. 2008).

As bases teóricas sobre fragmentação e efeito de borda foram construídas principalmente a partir de estudos desenvolvidos em florestas úmidas (e.g., MURCIA 1995b; LAURANCE et al. 2002; RIES et al. 2004; HARPER et al. 2005). Poucos trabalhos analisaram as consequências da fragmentação em florestas secas. O único estudo que investigou as consequências da criação da borda sobre a reprodução em florestas secas registrou influência negativa sobre a formação de tubos polínicos e de frutos em 17 das 45 espécies estudadas (AIZEN & FEINSINGER 1994). Os demais estudos existentes em florestas secas não registraram diferenças na composição e estrutura da vegetação lenhosa entre áreas de borda e de interior, como registrado para florestas estacionais (SAMPAIO & SCARIOT 2011) e caatinga (SANTOS & SANTOS 2008; OLIVEIRA et al. 2013).

A caatinga é um ambiente semiárido brasileiro considerado como savana estépica (IBGE 2012) que apresenta grande riqueza florística (AGUIAR et al. 2002). O gênero *Ruellia* L., da família Acanthaceae, é um dos que se destaca como importante

recurso floral nesse ecossistema (MACHADO &SAZIMA 1995). Sua importância está relacionada à grande diversidade na morfologia floral do grupo, a qual é utilizada por vários grupos de visitantes florais (EZCURRA 1993), especialmente beija flores (BRAZ *et al.* 2000; SIGRIST & SAZIMA 2002; FARIA & ARAÚJO 2010) e borboletas (SIGRIST & SAZIMA 2002).

Tendo em vista que as bordas dos fragmentos podem afetar a reprodução das plantas, que pouco se sabe sobre esses efeitos em espécies de ecossistemas secos, e que representantes de Acanthaceae constituem recurso floral relevante na Caatinga, este estudo objetivou investigar a influência da borda sobre a polinização (composição e frequência dos visitantes florais) e a produção de frutos e sementes de *Ruellia asperula* Lindau em uma área de Caatinga no Nordeste do Brasil. Neste contexto, este manuscrito testa as seguintes hipóteses: (H1) Existe semelhança na frequência de visitas entre indivíduos de *Ruellia asperula* ocorrentes na borda e no interior do fragmento; (H2) Existe diferença na quantidade de grãos de pólen depositados no estigma em indivíduos de *Ruellia asperula* ocorrentes na borda e no interior; (H3) Existe diferença na quantidade de frutos formados em ambiente de borda e interior.

Material e Métodos

Área de estudo - O estudo foi realizado em um fragmento de Caatinga localizado na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA no município de Caruaru, Nordeste brasileiro (8°14'18"S e 35°55'20"W, 537 m de altitude). O clima da região é semiárido (BSh pela classificação de KÖPPEN 1948), com precipitação média anual de 680 mm, temperatura mínima de 11°C e máxima de 38°C, e estação chuvosa entre março e agosto (REIS *et al.* 2006). O fragmento é formado por floresta madura, possui cerca de 30 ha ocupados por vegetação nativa considerada conservada em relação aos demais trechos do local, não sendo manejada nos últimos 50 anos. Não é permitido o desenvolvimento de atividades humanas nem o trânsito de animais para o pastoreio. A matriz é formada por culturas experimentais de soja, milho, feijão, palma forrageira, dentre outras.

Espécie estudada - *Ruellia asperula* Lindau é uma espécie ornitófila de hábito herbáceo a arbustivo abundante na Caatinga e que forma densas touceiras (MACHADO & SAZIMA 1995) que floresce entre os meses de julho e setembro. Produz de três a oito inflorescências por indivíduo, contendo grandes flores tubulares vermelhas, diurnas,

nectaríferas e que duram dois dias; cada indivíduo produz diariamente de 8 a 10 flores por inflorescência (MACHADO & SAZIMA 1995).

Composição e frequência de visitantes florais - A composição e a frequência de visitantes florais foram comparadas entre 20 indivíduos sorteados na borda e 20 no interior, por meio de 120 horas de observações focais distribuídas em 15 dias nos meses de setembro de 2011, junho de 2012 e julho de 2013. A faixa de borda considerada foi de 5m a partir da margem do fragmento, pois era onde estava localizada a maior população de *Ruellia asperula* Lindau próxima à borda, e a área de interior a partir de 65m da margem, local onde estava localizada a população mais distante da borda.

As observações foram realizadas ininterruptamente das 6:00h (horário da abertura da flor) às 17:00h, em sessões de 30 minutos. Os indivíduos foram numerados de 1 a 20 em cada ambiente; os primeiros 30 minutos de observação (das 6:00 às 6:30h) foram realizados simultaneamente por dois observadores nos indivíduos número 1 na borda e no interior. A próxima sessão de observação (das 6:31 às 7:00h) foi realizada nos dois indivíduos número 2, e assim sucessivamente até chegar aos dois indivíduos número 20 (às 12:00h). O ciclo se repetiu ao longo do dia, de forma que todos os indivíduos foram observados em diferentes horas do dia.

A cada visita foram registrados a hora, a morfoespécie de visitante, seu comportamento de visita (contato com elementos sexuais, perfuração da corola, interações com outros visitantes) e número de flores visitadas. Foi considerada uma visita o momento a partir do qual o visitante surgiu no campo de visão do observador (demarcado previamente) até o mesmo sair desse campo. Os visitantes foram classificados como polinizadores quando tocavam os elementos sexuais da flor, e pilhadores quando coletavam o néctar por meio de orifícios realizados na base da corola.

De acordo com o comportamento de forrageamento, os beija-flores foram classificados como trapliners (não matem território e visitam com intervalos regulares) ou territorialistas (matem território) (STILES 1975). Os visitantes foram identificados pela primeira autora por meio da comparação de fotos com imagens de sites especializados (www.wikiaves.com.br), livro (GRANTS AU 1988, SILVA et al. 2003) e consulta a especialistas.

Eficiência da polinização - Os parâmetros utilizados para estimar a eficiência da polinização na borda e no interior foram a deposição de grãos de pólen no estigma e a produção de frutos em condições naturais. Para avaliar a deposição de pólen no estigma, foram coletados aleatoriamente 106 pistilos de flores de 30 indivíduos da borda e 106 pistilos de 30 indivíduos do interior no segundo dia de antese (para que houvesse tempo de ocorrer o processo de polinização). Os pistilos foram acondicionados em ependorfes e, em laboratório, foram colocados em lâminas contendo carmim acético a 2% para favorecer a observação dos grãos (DAFNI 2005). O número de grãos em cada estigma foi contado sob microscópio óptico em todos os pistilos coletados. A produção de frutos (número, peso, largura e comprimento) em condições naturais foi comparada entre borda e interior por meio da marcação de 300 flores distribuídas em 30 indivíduos, em cada ambiente (cerca de 10 flores por indivíduo, total de 600 flores marcadas).

Sistema reprodutivo – Foi comparada a formação de frutos, entre indivíduos da borda e do interior, após os seguintes experimentos: polinização cruzada natural, polinização cruzada manual, autopolinização espontânea e autopolinização manual. Para os dois primeiros tratamentos foram emasculadas 60 flores de 15 indivíduos em cada ambiente (borda/interior), e para os demais foram marcadas 100 flores de 20 indivíduos em cada ambiente (borda/interior). Para a polinização cruzada foi mantida uma distância de pelo menos três metros entre os indivíduos intercruzantes, a fim de evitar cruzamento entre ramos de um mesmo indivíduo. O número de flores tratadas por indivíduo não ultrapassou a média de frutos formados por indivíduo.

Limitação polínica – A limitação polínica foi avaliada por dois métodos: I. Diferença significativa na porcentagem de frutificação entre polinização cruzada manual e condições naturais. Nos casos onde frutificação após polinização cruzada manual foi maior considera-se que existe limitação polínica; II. Índice de Limitação Polínica [ILP = $1 - (F_c / F_{pc})$], onde F_c é a porcentagem de frutificação em condições naturais e F_{pc} é a porcentagem de frutificação da polinização cruzada manual (LARSON & BARRET 2000). Valores negativos ou próximos a zero indicam ausência de LP, com o valor máximo de 1 nos casos de frutificação nula em condições naturais.

Análises estatísticas - Para comparar a frequência de visitas entre borda e interior foi utilizado o teste G de aderência para uma amostra (SOKAL & ROHLF 1995), e para

comparar o número de flores visitadas entre as duas condições foi utilizado o teste G para duas amostras independentes (tabela de contingência, SOKAL & ROHLF 1995). Para comparar o número de pistilos com grãos de pólen, o número de grãos de pólen nos estigmas, a produção de frutos após os tratamentos de sistema reprodutivo (polinização cruzada natural, cruzada manual, auto-polinizações espontânea e manual) e polinização natural entre borda e interior, foi feito o teste Qui-quadrado (SOKAL & ROHLF 1995). Para comparar o peso, a largura e o comprimento dos frutos formados por polinização natural entre borda e interior foi realizado um teste de Kruskal-Wallis. A limitação polínica para o método I foi verificada através de teste Qui-quadrado (χ^2). Todos os testes foram realizados no programa BioEstat 3.0 (AYRES et al. 2003).

Resultados

Composição e frequência de visitantes florais - Foram registradas visitas de cinco espécies de beija-flores, todas consideradas polinizadoras: *Amazilia fimbriata* (Gmelin, 1788), *Amazilia versicolor* (Vieillot, 1818), *Chlorostilbon lucidus* (Shaw, 1812), *Eupetionema macroura* (Gmelin, 1788) e *Phaethornis pretrei* (Lesson & Delattre, 1839).

Houve diferenças na composição de visitantes florais entre borda e interior. Na borda, *Amazilia fimbriata* foi o visitante mais comumente observado nos dois ambientes, e visitava em intervalos regulares que variavam entre 30 minutos e uma hora, sendo considerado ‘trapliner’. *Chlorostilbon lucidus* e *E. macroura* foram registrados apenas ocasionalmente. *Chlorostilbon lucidus* comportou-se semelhantemente à *A. fimbriata* durante as visitas, e *E. macroura* apresentou comportamento altamente territorialista: visitava preferencialmente uma mancha de indivíduos ao longo do dia, ficando pousado nos intervalos entre as visitas. Na maioria das vezes em que encontrava as duas outras espécies de beija-flores, as expulsava agressivamente por meio de investidas em vôo e vocalizações. As três espécies visitavam várias flores da mesma inflorescência. *Amazilia versicolor* pilhava tanto flores de borda quanto de interior.

No interior foram registradas visitas de *A. fimbriata*, *C. lucidus* e *P. pretrei*, sendo as duas primeiras as mais frequentes e apresentando o mesmo comportamento observado na borda (‘traplining’). A terceira espécie foi observada apenas ocasionalmente; visitava sempre os mesmo indivíduos ao longo do dia e mantinha intervalos regulares de visita, sendo por estas razões considerada ‘trapliner’.

Tanto na borda quanto no interior as visitas ocorreram entre 06h30min e 16h30min (Tabela 1) e duraram entre 3 a 5 seg. em cada flor. Cada sessão de visitação foi realizada por apenas uma espécie. Houve maior frequência de visitas na borda do que no interior ($p < 0,01$), tanto em relação ao número de visitas quanto ao número de flores visitadas (Fig. 1).

Deposição polínica, formação de frutos e sementes - Os pistilos dos indivíduos localizados no interior apresentaram maior quantidade de grãos de pólen ($5,02 \pm 8,6$) do que os da borda ($5,6 \pm 4,02$; $\chi^2 = 10,46$; $p < 0,001$). A produção de frutos por polinização natural e por polinização cruzada natural foram maiores no interior do que na borda ($p < 0,0001$, Tabela 2); não houve diferenças entre borda e interior em relação aos demais experimentos reprodutivos. Os frutos do interior foram significativamente mais pesados, mais largos e mais compridos do que os da borda (Tabela 3). Na borda, indivíduos que se encontravam agrupados produziram mais frutos.

Limitação polínica – A espécie não apresentou limitação polínica em nenhum dos ambientes estudados; os valores de ILP foram negativos para os indivíduos da borda (-1) e para os indivíduos do interior ($-0,02$).

Discussão

A polinização de *R. asperula* por beija-flores corrobora a síndrome de polinização ornitófila apresentada por suas flores, ou seja, corola tubular, vermelha e néctar como principal recurso (FAEGRI & VAN DER PIJL 1979). Os beija-flores *Amazilia lactea*, *A. versicolor*, *Chrysolampis mosquitos* e *Eupetionema macroura* também visitaram *R. asperula* em outra área de caatinga (MACHADO & SAZIMA 1995), mas apenas *E. macroura* foi considerado polinizador e as demais espécies se comportaram como pilhadores.

As diferenças observadas na composição de visitantes florais e na frequência de visitas entre borda e interior podem ser explicadas pelas diferenças na composição de espécies vegetais e no adensamento dos indivíduos de *R. asperula* entre os dois ambientes. Na área de borda havia uma população florida da espécie nectarífera *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), que também era visitada por *A. fimbriata* e *E. macroura*. Em contrapartida, no interior há o predomínio de espécies nativas em relação à borda (ALCOFORADO-FILHO et al. 2003). Alguns estudos mostram que a

composição florística pode influenciar a rota de forrageamento dos polinizadores (SNOW & SNOW 1972; STILES 1978). Na borda, a disponibilidade de uma grande quantidade de recurso, representada pelas flores de *O. ficus -indica*, provavelmente favoreceu a visitação de indivíduos de *R. asperula* que se situavam na borda, fazendo com que a frequência de visitas fosse maior do que no interior. O maior agrupamento de indivíduos observado na borda em relação ao interior também favorece a atratividade a polinizadores, e conseqüentemente a maior frequência de visitas nesse ambiente.

As menores deposições polínicas e formação de frutos da borda contrastam com as maiores taxas de visitação observadas nesse ambiente, o que pode ser explicado pela estratégia de forrageamento dos polinizadores. Apesar das plantas da borda serem visitadas por um polinizador traliner (*A. fimbriata*), suas visitas eram interrompidas pelo forte comportamento territorialista observado em *E. macroura*. Espécies traliners percorrem maiores distâncias diárias em relação a beija-flores territorialistas, e utilizam maior número de indivíduos, e, portanto, dispersam o pólen mais eficientemente, favorecendo a polinização cruzada (SNOW & SNOW 1972; JANZEN 1971). Espécies territorialistas, por restringirem suas visitas a um número menor de indivíduos, favorecem a geitonogamia e a autopolinização (THOMSON et al. 1997; KARRON et al. 2004), influenciando negativamente o fluxo gênico (LLOYD & SCHOEN 1992). Portanto, o comportamento agressivo de *E. macroura* em relação a *A. fimbriata* na borda pode ter levado a uma deposição polínica menor em quantidade e qualidade e, conseqüentemente, menor formação de frutos nesse ambiente quando comparado ao interior.

Sabe-se que alterações na quantidade e qualidade do pólen recebido pelo estigma podem afetar a produção de frutos e sementes (GALEN & NEWPORT 1988; WASER & PRICE 1983, 1991a). As interações planta-animal podem ser afetadas, já que os animais, participam de várias fases do ciclo de vida das plantas, desde a polinização até a dispersão das sementes, e estas mudanças causadas pela formação de bordas, gera impactos nessas interações, amplificando os efeitos a longo prazo, afetando a densidade populacional de animais e a estratégia de forrageamento, pois em paisagens fragmentadas é comum observar a mudança de comportamento de forrageamento de polinizadores, e acredita-se que esta seja uma estratégia para manter o ganho energético (GOVERDE et al. 2002). Com isso, as plantas variam amplamente seu grau de "permutabilidade" de polinizadores de efetivos (FAEGRI & VAN DER PIJL 1979, FEINSINGER 1983), de tal modo que a transferência de pólen pode ser afetada pelo

comportamento de algumas espécies de polinizadores (MACARTHUR & WILSON 1967; SHAFFER 1981; PULLIAM 1988). Mudanças no fluxo gênico podem modificar negativamente estrutura genética de populações de plantas e afetar sua reprodução por meio de alterações genéticas e fisiológicas durante a formação do zigoto e desenvolvimento da semente (AIZEN & FEINSINGER 1994). Provavelmente o fluxo de pólen realizado pelos polinizadores da borda levaram a cruzamentos entre indivíduos vizinhos proximalmente relacionados, e conseqüentemente a frutos menores menos vigorosos (COLES & FOWLER 1976; LEVIN 1984; WASER & PRICE 1989, 1991a). As maiores dimensões dos frutos no interior corrobora a idéia de que a o efeito de borda influencia negativamente a reprodução, incluindo eventos pós-polinização.

A menor deposição polínica pode levar à limitação polínica nesses indivíduos, um fenômeno bastante disseminado em angiospermas e que consiste na deposição insuficiente ou inapropriada de pólen (ASHMAN et al. 2004; FREITAS et al. 2010; LARSON & BARRET 2000; KNIGHT et al. 2005), no entanto não foi observada limitação polínica para esta espécie. Segundo (LARSON & BARRETT 2000) plantas de áreas abertas seriam menos susceptíveis à LP que espécies que ocorrem em florestas, pois a termorregulação de visitantes e as taxas de visitação às flores seria maior em áreas abertas. É importante ressaltar que a auto-incompatibilidade da espécie a torna ainda mais vulnerável às modificações na fauna de polinizadores, dos quais depende para a formação de sementes. Inversamente ao registrado por Machado & Sazima (1995), a espécie possui uma baixa taxa de auto-compatibilidade, e, portanto, depende mais dos polinizadores para a produção dos frutos e sementes.

Considerações Finais

Os resultados deste trabalho trazem evidências de que alguns parâmetros reprodutivos de plantas podem ser influenciados pela borda em florestas secas, os quais podem afetar negativamente o fluxo gênico da espécie e a manutenção das populações na área. Esta influência da borda depende da estrutura da matriz, da estratégia de forrageamento dos polinizadores e das características reprodutivas da planta, especialmente o sistema reprodutivo.

Referências Bibliográficas

- AGREN, J.; EHRLÉN, J. & SOLBRECK, C. 2008. Spatio-temporal variation in fruit production and seed predation in a perennial herb influenced by habitat quality and population size. **Journal of Ecology**, 96, 334–345.
- AGUIAR, J. LACHER, T. & SILVA, J.M.C. 2002. **The Caatinga**. In Wilderness - Earth's Last Wild Places (P.R. Gil, ed.). Cemex, Cidade do México, 174-181.
- AGUILAR, R.; ASHWORTH, L.; GALETTO, L. & AIZEN, M. A. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. **Ecol. Lett.** 9, 968–980.
- AIZEN, M. A. & FEINSINGER, P. 1994a. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina. **Ecology**, 75, 330-351.
- AIZEN, M. A., FEINSINGER, P., 1994b. Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in Argentine Chaco Serrano. **Ecological Applications**, 4, 378–392.
- AIZEN, M. A., FEINSINGER, P., 2003. Bees not to be? **Responses of insect pollinator faunas and flower pollination to habitat fragmentation**. In: Bradshaw, G.A., Marquet, P.A., Mooney, H.A. (Eds.), *Disruptions and Variability: the Dynamics of Climate, Human Disturbance and Ecosystems in the Americas*. Springer-Verlag, Berlin, pp.111–129.
- ALCOFORADO-FILHO, F.G.; SAMPAIO, E.V.S.B. & RODAL, M.J.N. 2003. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifolia espinhosa arbórea em Caruaru. **Acta Botanica Brasílica**, 17, 287-303.
- ASHMAN, T. L.; KNIGHT, T. M.; STEETS, J. A.; AMARASEKARE, P.; BURD, M.; CAMPBELL, D. R.; DUDASH, M. R.; JOHNSTON, M. O.; MAZER, S. J.; MITCHELL, R. J.; MORGAN, M. T. & WILSON, W. G. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. **Ecology**, 85, n. 9, 2408-2421.

- ASHWORTH, L., AGUILAR, R., GALETTO, L., AIZEN, M. A., 2004. Why do pollination generalist and specialist plant species show similar reproductive susceptibility to habitat fragmentation? **Journal of Ecology**, 92, 717–719.
- AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L. & SANTOS, A. S. 2003. **Bio Estat 3.0. Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas.** Sociedade Civil Mamirauá, MCT-CNPq/Conservation International, Belém.
- BRAZ, M. D, VIEIRA, F. M & CARVALHO-OKANO, M.R. 2000. Aspectos Reprodutivos de espécies de acanthaceae Juss. de um fragmento florestal do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, 47, n. 270, 229-239.
- COLES, J. F., & D. P. FOWLER. 1976. Inbreeding in neighboring trees in two white spruce populations. **Silvae Genetica**, 25, 29-34.
- ECKERT, C. G. KALISZ, S. GEBER, M. A. SARGENT, R. ELLE, E. PIERRE-OLIVIER CHEPTOU, GOODWILLIE, C. JOHNSTON, M. O. KELLY, J. K. MOELLER, D. A. PORCHER, E. REE, R. H. VALLEJO-MARÍN, M & WINN, A. A. Plant mating systems in a changing world. **Trends in Ecology & Evolution**, 25, 35-43.
- EZCURRA, C. Systematics of *Ruellia* (Acanthaceae) in southern South America. 1993. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 80, 787-845.
- FAEGRI, K. & VAN DER PIJL, L. 1979. **The principles of pollination ecology.** Pergamon Press, New York.
- FARIA, R. R & ARAÚJO, C. A. 2010. Pollination ecology of *Ruellia angustiflora* Mato Grosso do Sul, Brazil (Ness) Lindau ex Rambo (Acanthaceae) in the Serra da Bodoquena. **Revista Flora**, 205, 106–111.
- FEINSINGER, P. 1983. **Coevolution and pollination.** Pages 282- 310 in D. J. Futuyma and M. Slatkin, editors. *Coevolution*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.
- FREITAS, L.; WOLOWSKI, M. & SIGILIANO, I. M. 2010. Ocorrência de Limitação Polínica em plantas de Mata Atlântica. **Oecologia Australis**, 14, n.1, 251-265.

- GALEN, C. & NEWPORT, M. E. A. 1988. Pollination quality, seed set, and flower traits in *Polemonium*: complementary effects of variation in flower scent and size. **American Journal of Botany**, 75, 900-905.
- GOVERDE, M.; SCHWEIZER, K.; BAUR, B. & ERHARDT, A. 2002. Small-scale fragmentation effects on pollinator behaviour: experimental evidence from the bumblebee *Bombus veteranus* on calcareous grasslands. **Biol. Conserv.** 104, 293–299.
- GRANTSAU, R. 1988. **Os beija-flores do Brasil**. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura.
- GROOM, M.J., 1998. Allee effects limit population viability of an annual plant. **The American Naturalist**, 151, 487–496.
- HARPER, K.A., MACDONALD, S.E.; BURTON, P.J.; CHEN, J. BROSOFSKE, K.D.; SAUNDERS, S.C.; EUSKIRCHEN, E.S.; ROBERTS, D.; JAITEH, M.S. & ESSEEN, P. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, 19, 768-782.
- HOBBS, R. J. & YATES, C. J. 2003. Impacts of ecosystem fragmentation on plant populations: generalising the idiosyncratic. **Australian Journal of Botany**, 51, 471–488.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 271.
- JACQUEMYN, H., ENDELS, P., BRYNS, R., HERMY, M. & WOODDELL, S. R. J. 2009. Biological Flora of the British Isles: *Primula vulgaris* Huds (*P. acaulis* (L.) Hill). **Journal of Ecology**, 97, 812–833.
- JANZEN, D. H. 1971. Euglossine bees as long-distance pollinators of tropical plants. **Science** 171:203–205.
- JULES, E.S. & RATHCKE, B.J. 1999. Mechanisms of reduced *Trillium* recruitment along edges of old-growth forest fragments. **Conservation Biology**, 13, 784–793.

- KARRON, J. D.; MITCHELL, R. J.; HOLMQUIST, K. G.; BELL, J. M. & FUNK, B. 2004. The influence of floral display size on selfing rates in *Mimulus ringens*. **Heredity**, 92, 242–248.
- KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. & WASER, N. M., 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant–pollinator interactions. **Annu. Rev. Ecol. Syst.** 29, 83–112.
- KNIGHT, T. M.; STEETS, J. A.; VAMOSI, J. C.; MAZER, S. J.; BURD, M.; CAMPBELL, D. R.; DUDASH, M. R.; JOHNSTON, M. O.; MITCHELL, R. J. & ASHMAN, T. L. 2005. Pollen limitation of plant reproduction: pattern and process. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, 36, 467–497.
- KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: conunestudio de los climas de latierra**. Fondo de Cultura Economica, Mexico.
- LARSON, B. M. H. & BARRETT, S. C. H. 2000. A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. **Biological Journal of the Linnean Society**, 69, 503–520.
- LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.; LAURANCE, S. G. & SAMPAIO, E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. **Conservation Biology**, 16, 605–618.
- LEVIN, D. A. 1984. Inbreeding depression and proximity-dependent crossing success in *Phlox drummondii*. **Evolution**, 36, 116–127.
- LLOYD, D. G. & SCHOEN, D. J. 1992. Self- and cross-fertilization in plant: I. Functional dimensions. **Int J Plant Sci**, 153(3), 358–369.
- MACHADO, I. C. & SAZIMA, M. 1995. Biologia da polinização e pilhagem por beija-flores em *Ruellia asperula* Lindau (Acanthaceae) na caatinga de Pernambuco. **Revista Brasileira de Botânica**, 18, 27–33.
- MURCIA, C. 1995a Forest fragmentation and the pollination of neotropical plants. In: SCHELLAS, J; GREENBERG, R. (Eds.). **Forest patches in tropical landscapes**.

London: Island Press, 19-36.

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

MUSTAJARVI, K.; SIIKAMAKI, P.; RYTKONEN, S. & LAMMI, A. 2001. Consequences of plant population size and density for plant-pollinator interactions and plant performance. **Journal of Ecology**, 89, 80–87.

OLIVEIRA, D. G.; PRATA, A. P. D.; SOUTO, L. S.; FERREIRA, R. A. 2013. Does the edge effect influence plant community structure in a tropical dry forest? **Revista Arvore**, 37, 311-320.

PIERRE-OLIVIER, C.; AVENDAÑO, V. & LYZ, G. 2006. **Pollination processes and the Allee effect in highly fragmented populations: consequences for the mating system in urban.**

POWELL, A.H. & POWELL, G.V.N. 1987. Population dynamics of male euglossine bees in Amazonian forest fragments. **Biotropica**, 19, 176-179.

PULLIAM, H. R. 1988. Sources, sinks, and population regulation. **American Naturalist** 132:652-661.

REIS, A.M.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. & MOURA, A. N. 2006. Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of “Caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, 29, 497-508.

RIES, L.; FLETCHER, R.J.; BATTIN, J. & SISK, T. D. 2004. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, 35, 491-522.

SAMPAIO, A. B. & SCARIOT, A. 2011. Edge effect on tree diversity, composition and structure in a deciduous dry forest in central Brazil. **Revista Arvore**, 35, 1121-1134.

SANTOS, A. M. M. & SANTOS, B. A. 2008. Are the vegetation structure and composition of the shrubby caatinga free from edge influence? **Acta Botanica**

Brasilica, 22, 1077-1084.

SHAFFER, M. L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. **BioScience** 31:131-134.

SIGRIST, R. M & SAZIMA, M. 2002. *Ruellia brevifolia* (Pohl) Ezcurra (Acanthaceae): fenologia da floração, biologia da polinização e reprodução. **Revista Brasileira de Botânica**, 25, n.1, 35-42.

SILVA, J. M. C.; SOUZA, M. A.; DIEBER, A. G. D. & CARLOS, C. J. 2003. **Aves da caatinga: Status, uso do hábitat e sensibilidade**. In LEAL, IR., TABARELLI, M. and SILVA, JMC. (Orgs.). *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Recife: Editora UFPE. p.262-263.

SNOW, B. K. & SNOW, D. W. 1972. Feeding niches of hummingbirds in a Trinidad valley. **Journal of Animal Ecology**, 41, 471-485.

SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. 1995. **Biometry: the principles of statistics in biological research**. New York, Freeman, p. 887.

STEFFAN-DEWENTER, I.; MÜNZENBERG, U.; BÜRGER, C.; THIES, C. & TSCHARNTKE, T. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. **Ecology**, 83, 1421–1432.

STILES, F. G. 1978. Temporal organization of flowering among the hummingbird food plants of a tropical wet forest. **Biotropica** 10(3), 194–210.

THOMSON, J. D.; SLATKIN, M. & THOMSON, B. A. 1997. Trapline foraging by bumble bees: II. Definition and detection from sequence data. **Behav. Ecol** 8, 199–210.

WASER, N. M. & PRICE, M. V. 1991a. Outcrossing distance effects in *Delphinium nelsonii*: pollen loads, pollen tubes, and seed set. **Ecology**, 72, 171-179.

WASER, N. M., & M. V. PRICE. 1989. Optimal outcrossing in *Ipomopsis aggregate*: seed set and offspring fitness. **Evolution**, 43, 1097-1109.

WASER, N. M., &PRICE, M. V. 1983. Optimal and actual outcrossing in plants, and the nature of plant-pollinator interaction. Pages: 341-359 in C. E. Jones and J. E. Little, editors. **Handbook of experimental pollination biology**. Van Nostrand Reinhold, New York, New York, USA.

WILCOCK, C. & NEILAND, R., 2002. Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. **Trends in Plant Sciences**, 7, 270–277.

Tabela 1. Frequência de visitas de beija-flores a flores de indivíduos de *Ruellia asperula* situados na borda e no interior de um fragmento de Caatinga no Nordeste do Brasil. TP: "trapliner"; TR: territorialista.

	Visitante	Visitas	Flores	Horário de visitas
Borda	<i>Amazilia fimbriata</i> (TP)	151	294	6h30min/16h30min
	<i>Chlorostilbon lucidus</i> (TP)	3	10	15h00min/16h30min
	<i>Eupetionema macroura</i> (TR)	20	40	10h00min/10h30min
Interior	<i>Amazilia fimbriata</i> (TP)	45	204	6h30min/16h30min
	<i>Chlorostilbon lucidus</i> (TP)	6	18	9h30min/15h30min
	<i>Phaethornis pretei</i> (TR)	1	10	10h00min/12h00min

Tabela 2. Produção de frutos (%) em indivíduos de *Ruellia asperula* situados na borda e no interior de um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil. PN: produção natural (controle); PCm: polinização cruzada manual; PCn: polinização cruzada natural; AE: autopolinização espontânea; AM: autopolinização manual. Número de flores encontradas entre parênteses. Letras diferentes na mesma linha indicam valores estatisticamente distintos pelo teste de Qui-quadrado ($p < 0.005$).

Tratamentos	Borda	Interior
PN	60,4 (250) ^a	80 (250) ^b
PCm	10 (60) ^a	10 (60) ^a
PCn	30 (60) ^a	78,3 (60) ^b
AE	3 (100) ^a	3 (100) ^a
AM	2 (100) ^a	1 (100) ^a

Tabela 3. Médias de peso (mg), largura (mm) e comprimento (mm) de frutos de indivíduos de *Ruellia asperula* situados na borda e no interior de um fragmento de caatinga no Nordeste do Brasil. Desvio-padrão encontra-se entre parênteses. Letras diferentes na mesma linha indicam valores estatisticamente distintos pelo teste de Kruskal-Wallis. ($p < 0.005$; valor de H na tabela).

Característica	Borda (n=174)	Interior (n=265)	H
Peso	0,016(0,09) ^a	0,021 (0,008) ^b	44,88
Largura	2.44 (0,45) ^a	2,81 (0,48) ^b	57,56
Comprimento	10,52 (1,31) ^a	11,61 (1,34) ^b	63,95

ANEXOS

**Normas para publicação na revista
Plant Biology**

Authors are encouraged to provide additional information as supplementary material that will be accessible online. Please identify the supplementary material as such in the manuscript.

Submission of Manuscripts

Please submit your manuscript online at <http://mc.manuscriptcentral.com/plabio> (*Plant Biology* no longer accepts submissions made by post or e-mail). To submit a manuscript through ScholarOne Manuscripts, please follow these

instructions: 1. If you do not yet have an account, click on 'Create Account'. You will then be sent a password by e-mail. If you already have an account, enter your user ID and password and click on 'Log In'. (Note: if necessary you can change your password under 'Edit My Account'.) 2. On the welcome page, click on 'Corresponding Author Center'. 3. You then reach the 'Author Center Dashboard', click on the star icon for manuscript submission. 4. Follow the steps 1-7 until manuscript submission is completed. The main document including title, abstract, key words (MS Word file), tables (MS Word files) and figures (*.eps, *.tif or *.jpg files) are loaded onto the system as individual files. (Note: you may also interrupt the online submission and continue at a later time.) 5. Submission of your manuscript will be confirmed by an e-mail that will give you the 'Manuscript ID Number'. Please refer to this number in all correspondence with the editorial office. Should you encounter difficulties submitting a manuscript to ScholarOne Manuscripts, please contact the editorial office by e-mail at annette.schlierenkamp@ctp.uni-freiburg.de or by telephone ++49(0)761/203-8300. Help is also available on the introductory page of ScholarOne Manuscripts in the form of an 'Online User's Guide'. To access the guide, click on 'Get Help Now' in the top right-hand corner.

Online production tracking is now available for your article through Wiley-Blackwell's Author Services

Author Services enables authors to track their article - once it has been accepted - through the production process to publication online and in print. Authors can check the status of their articles online and choose to receive automated e-mails at key stages of production. The author will receive an e-mail with a unique link that enables them to register and have their article automatically added to the system. Please ensure that a complete e-mail address is provided when submitting the manuscript. Visit <http://authorservices.wiley.com/bauthor/> for more details on online production tracking

and for a wealth of resources including FAQs and tips on article preparation, submission and more.

Conditions for Publication

Please note that *Word 2007* is not yet compatible with journal production systems. Unfortunately, the journal cannot accept Microsoft Word 2007 documents until such time as a stable production version is released. Please use Word's 'Save As' option herefore to save your document as an older (.doc) file type.

Research papers may be submitted that have not been published previously, even as a summary. Concise presentation is required. Although the non-specialist reader should be kept in mind when abstracts, introductions and discussions are written, lengthy review type introductions and speculative discussions should be avoided. Experimental methods should be explained in detail except for standard procedures. Diffuse and repetitive style should be avoided. Illustrations and tables should be limited to the truly essential material. *Plant Biology* preferentially publishes **short research papers** (five printed pages maximum) that will be reviewed with high priority.

Concise review articles that synthesize the state of the art in an original way are highly desirable for this journal.

Acute views contributions should contain brief comments on an actual problem.

NEW: Pre-submission English-language editing

Authors for whom English is a second language may choose to have their manuscripts professionally edited before submission to improve the English. A list of independent suppliers of editing services can be found at www.blackwellpublishing.com/bauthor/english_language.asp. All services are paid for and arranged by the author, and use of one of these services does not guarantee acceptance or preference for publication.

Length of Papers

Papers should not exceed 8 printed pages or 9,000 words. One printed page in the journal (without figures and tables, with about 3 subheads and paragraphs) usually contains roughly 6200 characters. The number of figures plus tables should not exceed 9. Appendices will be published as Supporting Information rather than in the main text.

References: About 40 to 50 references usually fill one printed page.

Arrangement Research papers

Title page: The first page of each paper should indicate: The title, the author's names and affiliations, a short title for use as running head, the name, address, e-mail address,

phone and fax number of the corresponding author, and 3 to 7 keywords. *Abbreviation:* List with abbreviations where appropriate. *Abstract:* Abstracts must not exceed 250 words. The following sections cover the usual contents: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, References (see below), Tables (see below), Figure legends (see below), Illustrations (see below). In Materials and Methods, Results and Discussion subheadings are possible. If an author chooses to combine sections Results and Discussion, an additional section Conclusions can be added, but this must be brief.

Concise review articles

Choose subheadings as appropriate but do not use a numbering system. Title page, Key words, Abstract and other items as for full length papers.

Tables

Tables must be serially numbered in Arabic numerals and each must carry a brief descriptive heading. Tables reproduced from other publications must state their precise source. Only signs that can be typeset should be used in the tables and legends. Please provide Tables in Word and include them at the end of the manuscript after the References, each on a separate page. Refrain from using both tables and graphs to demonstrate the same results.

Figures and Graphics

Electronic artwork It is essential that all artwork is provided in electronic format. Please save vector graphics (e.g. line artwork) in Encapsulated Post-script (EPS) format and bitmap files (e.g. half-tones) in Tagged Image Format (TIFF). Detailed information on our digital illustration standards is available at <http://www.blackwellpublishing.com/bauthor/illustration.asp>. Please do not embed any tables and/or figures in the text document. If you should encounter difficulties upon submitting figures and graphics, please contact the editorial office by e-mail under annette.schlierenkamp@ctp.uni-freiburg.de or by telephone under ++ 49/(0)761/203-8300.

Colour illustrations: Authors are required to cover the cost of colour printing. Therefore, please note that if there is colour artwork in your manuscript when it is accepted for publication, Blackwell Publishing require you to complete and return a colour work agreement form before your paper can be published. Colour printing costs €300 per article + VAT. Please supply colour work as eps, tiff or jpg files. The colour work form can be downloaded as a PDF from the internet. [To download PDF files you

must have Acrobat Reader installed on your computer. If you do not have this program, this is available as a free download from the following web address: <http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>. The web address for the form is http://www.blackwellpublishing.com/pdf/PLB_CWAF.pdf.

References

The list of references must include all (but no additional) references quoted. Arrange references alphabetically according to author name, not chronologically. The name of the journals containing the cited papers should be given in full. Each article reference should be given as in the following example: Alfano, J.R. and Collmer, A. (2004) Type III secretion system effector proteins: double agents in bacterial disease and plant defence. *Annual Review Phytopathology*. **42**, 385-414. Books or other non-serial publications which are quoted in the references must be cited as follows: Han, J. and Kamber, M. (2001) *Data Mining: Concepts and Techniques*, 1st edn. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco. Platt T., Sathyendranath S. (1995) Latitude as a primary factor in the calculation of primary production. In: H.R. Skoldahl, C. Hopkins, K.E. Erikstad & H.P. Leinaas (Eds). *Ecology of Fjords and Coastal Waters*. Elsevier, Amsterdam: 3-25. Articles not yet published may only be cited if they have definitely been accepted for publication. They must be denoted by the expression 'in press'. We recommend the use of a tool such as EndNote or Reference Manager for reference management and formatting.

Units

Plant Biology will follow the system of SI units (Systeme International d'Unites). Within a given paper chosen units must be uniform.

Abbreviation

Note that common abbreviations can be used without explanation. Others must be explained. In case of doubt always give an explanation. Use FW = fresh weight and DW = dry weight.

Scientific Names

Scientific names should be cited in their complete form when first mentioned with genus - species - authority - cultivar (cv.) or subspecies (ssp.) where appropriate. Latin names should be underlined or typed in *italics*. Subsequently the generic names should be abbreviated, but avoid confusion: e.g. use *A. comosus* if the only genus with a first letter A in your paper is *Ananas*; but use unambiguous abbreviations if you have more than one genus with the same first letter, e.g. *Ananas comosus*, *Aechmea nudicaulis* =

A. comosus, *Ae. nudicaulis*, etc. Common names of organisms must be accompanied by the correct scientific name when first mentioned. For rare or exotic genera it may be useful to give the name of the family and/or higher taxon in brackets when first mentioned.

Copyright

Authors will be required to assign copyright of their paper to the German Botanical Society, Royal Botanical Society of the Netherlands and Blackwell Publishing. Copyright assignment is a condition of publication and papers will not be passed to the publisher for production unless copyright has been assigned. (Papers subject to government or Crown copyright should tick box 3 on the form). Download the Copyright Assignment Form [here](#). The publishers will not refuse any reasonable request by authors for permission to reproduce their contributions to the journal.

Reprints

A PDF offprint of the online published article and 25 printed offprints will be provided free of charge to the corresponding author, and may be distributed subject to the Publisher's terms and conditions. The corresponding author will be asked to provide up to seven email addresses for early distribution of a PDF offprint by the publisher. Additional paper off prints of the printed published article may be purchased if ordered via the method stipulated on the instructions that will accompany the proofs. Printed off prints are posted to the correspondence address given for the paper unless a different address is specified when ordered. Note that it is not uncommon for the printed offprints to take up to 8 weeks to arrive after publication of the journal. For further information please contact C.O.S. Printers PTe Ltd, 9 Kian Teck Crescent, Singapore 628875; Fax: +65 6265 9074; E-mail: offprint@cosprinters.com.

Author material archive policy

Please note that unless specifically requested, Blackwell Publishing will dispose of all hardcopy or electronic material submitted 2 months after publication. If you require the return of any material submitted, please inform the editorial office or production editor as soon as possible after the final decision about publication.

**Normas para publicação na revista
Journal of Arid Environments**

INTRODUCTION

The Journal of Arid Environments is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and anthropological aspects of arid, semi-arid, and desert environments. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use. Research Areas include: Climate and Climate Change Hydrological processes and systems (vadose, surface, environmental aspects, etc.); Geomorphological processes and systems (Aeolian, fluvial, slope and weathering); Soils (physical and biological aspects) Biological Sciences (basic and applied); Anthropology and human ecology (archaeology, sociology, ethnobotany, etc.); Land use (agronomy, grazing, mining, tourism, etc.). Conservation (theory, policy, economics); Land degradation (desertification) and rehabilitation Techniques for monitoring and management.

Guide for Authors

Research Articles: reporting original and previously unpublished work. Research papers have a reference limit of 50 cites *Short Communications:* These are concise, but complete descriptions of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Examples include descriptive research on seed-germination conditions, plant responses to salinity, animal feeding habits, etc. Short communications have a reference limit of 20 cites. Short communications should not exceed 2400 words (six printed pages), excluding references and legends. Submissions should include a short abstract not exceeding 10% of the length of the communication and which summarizes briefly the main findings of the work to be reported. The bulk of the text should be in a continuous form that does not require numbered sections such as Introduction, Materials and methods, Results and Discussion. However, a Cover page, Abstract and a list of Keywords are required at the beginning of the communication and Acknowledgements and References at the end. These components are to be prepared in the same format as used for full-length research papers. Occasionally authors may use sub-titles of their own choice to highlight sections of the text. The overall number of tables and figures should be limited to a maximum of three (i.e. two figures and one table).

Review Articles: Critical evaluation of existing data, defined topics or emerging fields of investigation, critical issues of public concern, sometimes including the historical 58

development of topics. Those wishing to prepare a review should first consult the Editors or Associate Editors concerning acceptability of topic and length.

Think Notes: Short, one page notes describing new developments, new ideas, comments on a controversial subject, or comments on recent conferences will also be considered for publication.

Letter to the Editor: A written discussion of papers published in the journal. Letters are accepted on the basis of new insights on the particular topic, relevance to the published paper and timeliness.

Contact details for submission

Authors may send queries concerning the submission process, manuscript status, or journal procedures to the Editorial Office at jae@elsevier.com.

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>.

Policy and ethics

The work described in your article must have been carried out in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/index.html>; EU Directive 2010/63/EU for animal experiments http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm; Uniform Requirements for manuscripts submitted to Biomedical journals external link <http://www.icmje.org>. This must be stated at an appropriate point in the article.

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 and verification

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 in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection software iThenticate. See also <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Contributors

Each author is required to declare his or her individual contribution to the article: all authors must have materially participated in the research and/or article preparation, so roles for all authors should be described. The statement that all authors have approved the final article should be true and included in the disclosure.

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 article 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>.

Open access

This journal offers you the option of making your article freely available to all via the ScienceDirect platform. To prevent any conflict of interest, you can only make this choice after receiving notification that your article has been accepted for publication. The fee of \$3,000 excludes taxes and other potential author fees such as color charges. In some cases, institutions and funding bodies have entered into agreement with Elsevier to meet these fees on behalf of their authors. Details of these agreements are available at <http://www.elsevier.com/fundingbodies>. Authors of accepted articles, who wish to take advantage of this option, should complete and submit the order form (available at <http://www.elsevier.com/locate/openaccessform.pdf>). Whatever access option you choose, you retain many rights as an author, including the right to post a revised personal version of your article on your own website. More information can be found here: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

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/languageservices> or our customer support site at external link <http://support.elsevier.com> for more information.

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.

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 5 potential referees. It is required that potential referees not be from the same institution

as the authors. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

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. 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. 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>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your wordprocessor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

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

Introduction

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

Material and methods

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

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. 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 \times w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5×13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's free Graphical abstract check to ensure the best display of the research in accordance with our technical requirements. 24-hour Graphical abstract check

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, including spaces, per bullet point). 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.

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.).

Plant names

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature.

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.

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is'.

Please do not:

- Supply files that are optimised for screen use (e.g., 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.

Non-electronic artwork

Provide all illustrations as high-quality printouts, suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Number illustrations consecutively in the order in which they are referred to in the text. They should accompany the manuscript, but should not be included within the text. Clearly mark all illustrations on the back (or - in case of line drawings - on the lower front side) with the figure number and the author's name and, in cases of ambiguity, the correct orientation. Mark the appropriate position of a figure in the article.

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

Ensure that each illustration 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 illustration. Keep text in the illustrations 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.

Regular research papers have a reference limit of 50 cites and short communications should not exceed 20 cites.

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 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, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999).

Kramer et al. (2010) 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., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book: Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. The Elements of Style, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. 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. 69.

Please note that Journal names and references should be provided in full.

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: external link <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: external link <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 has been designated as the corresponding author with contact details:

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

All necessary files have been uploaded, and contain:

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

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' 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.2010.09.059. When you use the DOI to create URL hyperlinks to documents on the web, the DOIs 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: external link <http://www.adobe.com/products/reader/tech-specs.html>. 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>.