

DANIELA QUEIROZ DE ASSIS REIS

INFLUÊNCIA DE PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS
SOBRE PLANTAS COM NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS NUMA FLORESTA
TROPICAL SAZONALMENTE SECA

RECIFE

2016

DANIELA QUEIROZ DE ASSIS REIS

INFLUÊNCIA DE PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS
SOBRE PLANTAS COM NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS NUMA FLORESTA
TROPICAL SAZONALMENTE SECA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Dr^a Inara Roberta Leal

Co-orientadora: Emília Arruda

Área de Concentração: Ecologia Vegetal

Linha de Pesquisa: Ecologia de Comunidades

RECIFE

2016

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Reis, Daniela Queiroz de Assis.

Influência de perturbações antrópicas e mudanças climáticas sobre plantas com nectários extraflorais numa floresta tropical sazonalmente seca / Daniela Queiroz de Assis Reis. – Recife: O Autor, 2016.
57 f.: il.

Orientadoras: Inara Roberta Leal, Co-orientadora: Emília Arruda.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, 2016.
Inclui referências e anexos

1. Florestas tropicais 2. Ecologia das florestas tropicais I. Leal, Roberta Inara (orient.) II. Arruda, Emília (coorient.) III. Título.

634.909811

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB-2016-316

DANIELA QUEIROZ DE ASSIS REIS

“INFLUÊNCIA DE PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS E
MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE PLANTAS COM
NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS NUMA FLORESTA
TROPICAL SAZONALMENTE SECA”

APROVADA EM 25/02/2016

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Inara Roberta Leal (Orientadora) – UFPE

Xavier Arnan Viadiu – UFPE

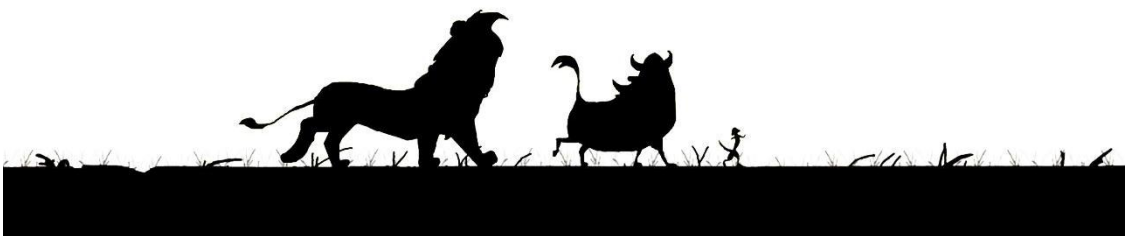
Dr. Marcelo Tabarelli – UFPE

RECIFE-PE

2016

“Tudo que você vê existe num equilíbrio delicado.
Você precisa entender esse equilíbrio e respeitar
todas as criaturas, da formiga rastejante ao
antílope saltitante.”

Mufasa



*Ao meu querido pai (in memoriam), e a todos
que de alguma forma me ajudaram a concluir
esta etapa da minha vida.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IV
APRESENTAÇÃO.....	1
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
<i>Perturbações antrópicas e mudanças climáticas.....</i>	<i>3</i>
<i>Perturbações antrópicas crônicas e redução de precipitação na Caatinga.....</i>	<i>6</i>
<i>Plantas com nectários extraflorais e sua resposta à perturbação.....</i>	<i>8</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
 MANUSCRITO: Influência de perturbações antrópicas e mudanças climáticas sobre plantas com nectários extraflorais numa floresta tropical sazonalmente seca	
Resumo.....	22
Abstract.....	23
Introdução.....	24
Materiais e Métodos.....	27
<i>Área de estudo.....</i>	<i>27</i>
<i>Coleta de dados.....</i>	<i>27</i>
<i>Medição dos atributos dos NEFs.....</i>	<i>29</i>
<i>Análise dos dados.....</i>	<i>30</i>
Resultados.....	31
Discussão.....	34
Referências.....	38

Tabelas.....	42
Figuras.....	46
ANEXO.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Abundâncias das espécies com nectários extraflorais em relação aos gradientes de (a) precipitação e (b) perturbação crônica em áreas de Caatinga do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil.

Figura 2 – Diagramas de ordenação das CCA mostrando a relação entre a composição de plantas com nectários extraflorais (NEFs) de acordo com: a-presença de espécies com NEFs, b-localização dos NEFs, c-distribuição dos NEFs, d-tipo de NEFs e os indicadores de precipitação e perturbação crônica em áreas de Caatinga do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil. Cada seta aponta para direção da variação máxima de cada indicador de perturbação no diagrama, e seu comprimento é proporcional à taxa da variação na direção apontada (e.g. indicadores de perturbação com setas mais longas estão mais relacionados ao padrão de distribuição das espécies mostrado na ordenação do diagrama). Espécies de plantas com NEFs: 1. *Anadenanthera colubrina*, 2. *Chamaecrista zygophylloides*, 3. *Chloroleucon foliolosum*, 4. *Croton argyroglossus*, 5. *Croton heliotropiifolius*, 6. *Croton nepetifolius*, 7. *Cynophalla flexuosa*, 8. *Cynophalla hastata*, 9. *Libidibia ferrea*, 10. *Piptadenia stipulacea*, 11. *Pityrocarpa moniliformis*, 12. *Poincianella microphylla*, 13. *Poincianella pyramidalis*, 14. *Sapium glandulosum*, 15. *Senegalia bahiensis*, 16. *Senegalia cf. polyphylla*, 17. *Senegalia piauiensis*, 18. *Senegalia sp.*, 19. *Senna rizzinii*, 20. *Senna spectabilis*, 21. *Senna splendida*, 22. *Senna trachypus*, 23. *Senna velutina*, 24. *Spondias tuberosa*, 25. *Turnera cearensis*.

Figura 3 – Nectários extraflorais de *Pityrocarpa moniliformis* (A-localização na raque entre primeiro par de pinas; B-formiga visitante consumindo o néctar extrafloral; C-tv=tecidos vasculares; D-ct=cutícula, ep=epiderme, ts=tecido secretor) e *Poincianella microphylla* (E-localização na face abaxial dos folíolos; F-ct=cutícula, cb=cabeça, pc=pescoço).

Figura 4 – Atributos dos NEFs de *Pityrocarpa moniliformis* que mostraram relação positiva com o gradiente de precipitação nas áreas onde a espécie ocorre no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos morfológicos dos nectários extraflorais das espécies coletadas em áreas de Caatinga do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil.

Tabela 2 - Resultados das regressões múltiplas demonstrando os efeitos da precipitação e do índice de perturbação sobre os atributos dos nectários extraflorais (NEFs) de *Pityrocarpa moniliformis* e *Poincianella microphylla* em áreas de Caatinga do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil. Valores em negrito implicam em efeito significativo ($P \leq 0,05$).

APRESENTAÇÃO

Entender melhor as perturbações antrópicas crônicas e quais são seus efeitos sobre os sistemas naturais é imprescindível para a conservação da biodiversidade (MARTORELL & PETERS, 2005). Essas perturbações são importantes causas da degradação dos solos nos países em desenvolvimento, pois resultam da retirada contínua de recursos naturais dos ecossistemas (MARTORELL & PETERS, 2008). No entanto, pouco se sabe atualmente sobre como esse tipo de perturbação pode afetar a diversidade de espécies de plantas e animais e suas funções e serviços ecossistêmicos (ÁLVAREZ-YÉPIZ *et al.*, 2008). Além das perturbações antrópicas crônicas, os ecossistemas também estão sendo ameaçados por mudanças climáticas, que podem, futuramente, intensificar os efeitos negativos das perturbações, causando ainda mais consequências para a persistência da biodiversidade e seus serviços (TRAVIS, 2003; PONCE-REYES *et al.*, 2013; GARCÍA-VALDÉS *et al.*, 2015).

Plantas com nectários extraflorais (NEFs), apesar de serem frequentemente associadas ao grupo das plantas pioneiras, descobriu-se recentemente que podem ser prejudicadas por perturbações antrópicas em áreas de Floresta Atlântica (CÂMARA *et al.*, em revisão) e em Caatinga (LEAL *et al.*, 2015). Isso ocorreria porque habitats perturbados são mais estressantes às plantas, fazendo com que estas aloquem recursos para outras funções fisiológicas, reduzindo consequentemente a secreção de néctar (HEIL *et al.*, 2000). Os NEFs são estruturas secretoras de néctar mediadoras de interações mutualísticas envolvendo a atração de formigas, que utilizam o néctar rico em carboidrato e, em troca, defendem as plantas contra herbívoros (RUDGERS & GARDENER, 2004). Dessa forma, analisar como essa comunidade de plantas está sendo afetada pelas perturbações antrópicas crônicas e pelas mudanças climáticas é

fundamental para entender a persistência de interações ecológicas e dos serviços ecossistêmicos em áreas já antropizadas.

O objetivo desse estudo foi compreender como as perturbações antrópicas, incluindo também as mudanças climáticas, podem afetar as plantas com NEFs. Primeiramente, avaliamos os efeitos do aumento da perturbação crônica e da redução da precipitação sobre a comunidade de plantas com NEFs, incluindo análises de riqueza, e composição de espécies de plantas com NEFs. Em seguida analisamos como as populações das diferentes espécies com NEFs respondiam aos gradientes de perturbação e precipitação estudados. Por fim, verificamos as variações nos atributos das glândulas de todas as espécies ao longo dos gradientes de perturbação e precipitação estudados.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Perturbações antrópicas e mudanças climáticas

A maioria dos ecossistemas no mundo está sendo impactada por perturbações antrópicas, o que mostra que os humanos desempenham um papel importante na regulação de mudanças nesses ecossistemas (HOBBS *et al.*, 2006). Entender quais são os mecanismos que conduzem as alterações ecossistêmicas em habitats perturbados são um dos desafios mais importantes para os ecólogos e biólogos da conservação (LEAL *et al.*, 2015).

A substituição do ecossistema natural por algum outro tipo de uso da terra causa a perda e fragmentação de habitats, incluindo a consequente criação de bordas florestais (LAURANCE *et al.*, 2001). Esse tipo de perturbação, conhecida como aguda, é a principal causa da perda de espécies e serviços nos ecossistemas tropicais (LAURANCE *et al.*, 2011). Algumas das principais alterações ecológicas encontradas em áreas fragmentadas são (1) redução no número e no tamanho de populações de especialistas, incluindo extinções locais (associado ao aumento daquelas adaptadas às perturbações) (WIRTH *et al.* 2007; DOHM *et al.*, 2011; LEAL *et al.*, 2012), (2) invasão de espécies exóticas (WIRTH *et al.*, 2008; TABARELLI & GASCON 2005) (3) redução na riqueza de espécies e na diversidade funcional e filogenética das assembleias nas escalas local e de paisagem (SANTOS *et al.*, 2008; LOPES *et al.*, 2009; HELMUS *et al.*, 2010; SANTOS *et al.* 2010; FILGUEIRAS *et al.* 2011; LEAL *et al.*, 2012), (4) mudanças nos padrões de fluxo e armazenamento de nutrientes (DANTAS DE PAULA *et al.*, 2011) e (5) diminuição da resiliência do ecossistema (COLE *et al.*, 2014).

Apesar da maioria dos estudos abordarem tais formas agudas de perturbações florestais, de forma contrastante existe o tipo crônico de perturbação, que apesar de ser sutil e ocorrer mais lentamente, possui o mesmo potencial destrutivo e é um problema

muito menos reconhecido (SINGH *et al.*, 1998). Esse tipo de perturbação envolve a remoção permanente de pequenas frações de biomassa florestal e é conhecido como a forma mais difundida de destruição ambiental em países em desenvolvimento (SINGH *et al.* 1998, MARTORELL & PETERS, 2005). Consiste, por exemplo, na caça ininterrupta, na extração de lenha ou coleta de produtos não-madeireiros, na sobre-pastagem por animais domésticos criados extensivamente e no dano causado na vegetação pela introdução de espécies exóticas usadas como forragem (MARTORELL & PETERS, 2005; MAY-TOBIN, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2015). Segundo Laurance e Peres (2006), em contraste com a perda de habitat e a fragmentação em larga escala, a perturbação crônica geralmente é difusa, existe numa pequena escala espacial e não é detectada com facilidade através de recursos como imagens de satélite, por exemplo. Outra relevante diferença das perturbações agudas é que a exploração humana ininterrupta, característica das perturbações crônicas, não permite que as comunidades de plantas tenham tempo de se restabelecerem adequadamente (SINGH *et al.*, 1998).

As mudanças climáticas globais constituem outro impacto que repercute em modificações climáticas regionais, tendo em vista que o clima determina a distribuição da vegetação global, juntamente com outros fatores, como precipitação, radiação, temperatura e propriedades do solo (NOBRE *et al.*, 1991). Associadas às mudanças climáticas globais encontram-se as variações regionais e locais das médias de temperatura, que influenciam a distribuição de períodos quentes e frios, e alterações de variáveis químicas e físicas, incluindo precipitação, taxas de evaporação, radiação e capacidade do solo em reter umidade (NOBRE *et al.*, 1991; PETERS, 1990). Além disso, a presença ou ausência da vegetação pode influenciar o clima regional, e assim conclui-se na verdade que o clima e a vegetação coexistem num equilíbrio dinâmico que

pode ser alterado por grandes perturbações antrópicas (NOBRE *et al.*, 1991; HIROTA *et al.*, 2011).

Este processo de mudanças climáticas globais é decorrente das atividades humanas (LEWIS *et al.*, 2009), as quais afetam tanto ambientes naturais quanto os que já foram modificados pelo homem (GILMAN *et al.*, 2010). De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (2014) as mudanças climáticas, em geral, alterarão as condições ambientais, a frequência e intensidade dos processos climáticos e, de forma específica, as espécies e interações bióticas, já que padrões de temperatura e umidade influenciam fortemente as comunidades biológicas (MAGRIN *et al.*, 2014). E quanto mais rapidamente e bruscamente forem as taxas de variações climáticas, mais graves serão as consequências biológicas como a perda de espécies (BROOK *et al.*, 2008). Por exemplo, quando os padrões climáticos mudam, as espécies de plantas e animais, por serem muito sensíveis, passam a colonizar novos habitats onde o clima se tornou adequado ao seu estabelecimento (PETERS, 1990).

Sabendo-se, portanto, da grande pressão sobre os recursos florestais no mundo todo, é necessário mais atenção às perturbações crônicas de forma que sejam aplicados manejos da conservação da biodiversidade e que seja posto em prática o desenvolvimento das comunidades rurais. No entanto, pouco ainda é sabido sobre como unir planos de desenvolvimento, de adaptação e de mitigação para ajudarem as comunidades locais e os governos a alocarem recursos disponíveis no planejamento de estratégias a fim de reduzir a vulnerabilidade dos ecossistemas e o desenvolvimento de medidas adaptativas (MAGRIN *et al.*, 2014). Ainda, para enfrentar um novo sistema climático, são necessárias também novas maneiras de administrar os sistemas humanos naturais a fim de que estes alcancem o desenvolvimento sustentável e o menor impacto ambiental (MAGRIN *et al.*, 2014).

Perturbações antrópicas crônicas e redução de precipitação na Caatinga

A Caatinga é um ecossistema localizado na região semi-árida do nordeste, formado por um mosaico de florestas tropicais sazonalmente secas e vegetação arbustiva (PENNINGTON *et al.*, 2000) que cobre 730.000 km², o equivalente a 10% do território do Brasil (IBGE, 1993; SAMPAIO, 1995). Os principais fatores que explicam a variação da vegetação desse ecossistema consistem na junção entre média de precipitação anual (e.g. 240-900 mm) e características do solo (SAMPÃO, 1995; PRADO, 2003). Existem frequentes períodos de secas severas, e durante o ano as chuvas estão concentradas em três meses seguidos, havendo, portanto, longos períodos de estiagem (NIMER, 1972; KROL *et al.* 2001; CHIANG & KOUTAVAS, 2004).

Assim como em outras florestas secas do mundo, a Caatinga é um dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil (MMA, 1999; LEAL *et al.*, 2005). Ao total, 46% do ecossistema foi desmatado e transformado em pasto, áreas para agricultura, e em outras formas de uso intensivo de terra (IBGE, 1993; MMA, 1999). Além desta perturbação aguda, a vegetação remanescente de Caatinga também sofre de perturbações crônicas, causadas por uma população rural densa e de baixa renda, que utiliza os recursos naturais da Caatinga para sua subsistência (LEAL *et al.*, 2005; RIBEIRO *et al.*, 2015). Além de ser populosa, a Caatinga também possui estrato vegetativo baixo, clima mais adequado para a criação de animais e disponibilidade de forragem natural (MILLES *et al.*, 2006) o que favorece o estabelecimento da agricultura, o aumento dos rebanhos e a criação dos animais de forma extensiva (MURPHY & LUGO, 1986; REID *et al.*, 2008). Além de ser um dos ecossistemas brasileiros menos estudados, a Caatinga é também negligenciada em termos de políticas públicas, tornando-se um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo (AIDE *et al.*, 2013; GILLESPIE *et al.* 2012; JANZEN, 1988; MILLES *et al.* 2006; PORTILLO-

QUINTERO & SÁNCHEZ-AZOFEIFA, 2010; SUNDERLAND *et al.* 2015). O problema das perturbações antrópicas crônicas é intensificado em áreas secas como a Caatinga, que naturalmente se recuperam de forma mais lenta que os demais ecossistemas, porque perturbações futuras ocorrem antes que problemas anteriores estejam devidamente sanados, tornando esses efeitos acumulativos (MATORELL & PETERS, 2008).

Juntamente às perturbações crônicas, a biota da Caatinga também está sendo ameaçada pelas mudanças climáticas. Previsões realizadas pelo Painel de Mudanças Climáticas indicam que a região enfrentará um aumento da temperatura de 1.8 a 4°C e ainda uma redução da precipitação de 22% até 2100 quando comparado com os números do final do século XX (MAGRIN *et al.*, 2014). De modo geral, para as regiões semi-áridas, que já apresentam uma vulnerabilidade quanto à disponibilidade de água, espera-se que o estresse hídrico aumente ainda mais devido às variações climáticas (MAGRIN *et al.*, 2014). Ainda, as variações climáticas podem aumentar a frequência de eventos climáticos extremos, desencadeando consequências mais graves para as comunidades (JENTSCH *et al.*, 2009). Dessa forma, as mudanças climáticas podem intensificar os efeitos negativos das perturbações antrópicas crônicas, e estes dois fatores, atuando em conjunto, podem provocar sérias consequências para a biodiversidade da região.

Plantas com nectários extraflorais e sua resposta à perturbação

Os nectários extraflorais (NEFs) são estruturas secretoras de néctar vascularizadas ou não-vascularizadas não envolvidas diretamente com a polinização (ELIAS, 1983; KOPTUR, 1992; DÍAZ-CASTELAZO *et al.*, 2005), apesar de poderem ser encontrados em algumas estruturas florais (BYK & DEL-CLARO, 2011). Por isso, nectários extraflorais são também denominados de extrareprodutivos ou extranupciais

(SCHIMID, 1988). Eles secretam altas proporções de açúcar, significantes quantidades de aminoácidos e pequenas quantidades de outros compostos orgânicos (DÍAZ-CASTELAZO *et al.*, 2005) que são utilizados como fontes de recursos alimentares por vários grupos de insetos, especialmente as formigas, que são sem dúvida seus principais visitantes (AGUIRRE *et al.*, 2013; BLUTHGEN & REIFENRATH, 2003; ver revisão HEIL & MCKEY, 2003).

Muitos estudos têm demonstrado o papel das formigas como agentes anti-herbivoria nas interações com plantas com NEFs (BENTLEY, 1977; KOPTUR, 1992; HEIL & MCKEY, 2003). Especificamente, já foi observado que as formigas podem repelir os folívoros (KOPTUR, 1979), os herbívoros de botões e flores (OLIVEIRA *et al.*, 1999), os predadores de sementes (KEELER, 1981) e os insetos que roubam o néctar floral (LEAL *et al.*, 2006). No entanto, ao mesmo tempo em que afastam das plantas hospedeiras os seus potenciais herbívoros, as formigas também podem repelir os bons polinizadores e como consequência diminuir a produção de frutos (Assunção *et al.*, 2014).

Sendo assim, a presença das formigas sobre plantas com NEFs podem proporcionar um aumento nas suas taxas de crescimento e no sucesso reprodutivo (ver revisão em RICO-GRAY & OLIVEIRA, 2007). Os nectários extraflorais ocorrem numa grande variedade de táxons, incluindo angiospermas e samambaias: 3941 espécies de 745 gêneros, que pertencem a 108 famílias, especialmente em florestas tropicais (MACHADO, *et al.* 2008; WEBER & KEELER, 2013). Podem estar distribuídos em diferentes órgãos das plantas, ocorrendo praticamente em todos os órgãos acima do solo (MACHADO *et al.*, 2008). São especialmente comuns em folhas, pecíolos, caules jovens e estípulas, mas também podem ser encontrados nas estruturas reprodutivas, como em botões, cálices, inflorescências, pedúnculos de flores e em frutos (ELIAS,

1983; DÍAZ-CASTELAZO *et al.*, 2005). Nas folhas, além dos pecíolos, eles ocorrem nas raques, nas superfícies dorsais e ventrais da lâmina foliar, e até mesmo nas margens (ELIAS, 1983).

Várias linhagens independentes de especializações de nectários extraflorais têm evoluído e incluem: (a) nectários não-vascularizados (ausência de tecidos xilemáticos/floemáticos) sem estruturas bem definidas; (b) nectários não-vascularizados com estruturas bem definidas; e (c) os nectários vascularizados (presença de tecidos xilemáticos/floemáticos), que são os maiores, com todos apresentando estruturas bem definidas (ELIAS, 1983). Isso resultou numa grande diversidade estrutural (i.e. morfológica e anatomicamente) dessas glândulas, podendo variar desde superfícies glandulares a elaboradas reentrâncias, bordas, ou hastes com pêlos e pigmentações contrastantes (BENTLEY, 1973; BLUTHGEN & REIFENRATH, 2003; DÍAZ-CASTELAZO *et al.*, 2005). A caracterização dos nectários para a classificação topográfica foi originalmente proposta por Zimmermann (1932), a mais completa até então apresentada, e foi posteriormente traduzida e adaptada por Elias (1983), sendo usada até os dias atuais.

Apesar de poucos trabalhos investigarem a plasticidade fenotípica dos NEFs (ver HEIL *et al.*, 2000), um estudo pioneiro comprovou que algumas características (i.e. proporção de folhas com NEFs, comprimento do NEFs foliar e largura do NEF foliar) de *Gossypium thurberi* (Malvaceae, algodão selvagem) possuem potencial de resposta à seleção, incluindo condições ambientais e espécies com as quais as plantas interagem, sejam elas parceiros mutualísticos ou inimigos naturais (RUDGERS, 2004). De forma geral, as formigas são vistas como os agentes mais importantes que promovem a seleção dos atributos dos NEFs, no entanto, as direções da seleção dependem principalmente de

um balanço entre os custos e benefícios do néctar extrafloral (RUDGERS & GARDENER, 2004).

Sendo assim, uma ampla variedade de fontes de NEFs estão disponíveis para as formigas forrageadoras de néctar, permitindo que elas possam exibir preferências entre esses vários tipos de fontes de néctar (APPLE & FENNER, 2001). Na presença de tantas fontes de carboidratos para as formigas, as plantas com NEFs devem competir pela atenção das formigas visitantes, sendo provável que diferenças nos atributos das plantas possam determinar quais recebem a maioria das visitas, e consequentemente a melhor proteção contra os herbívoros (APPLE & FENNER, 2001).

Apesar de ser bem conhecido que as plantas com NEFs são mais abundantes em florestas tropicais do que em áreas temperadas (BENTLEY, 1977), informações sobre a distribuição dessas plantas em diferentes florestas úmidas tropicais (AGUIRRE *et al.*, 2013) e, principalmente, em florestas secas (LEAL *et al.*, 2015) ainda são escassas. De forma geral, é conhecido que as plantas com NEFs ocorrem mais frequentemente em habitats abertos, como clareiras (FIALA & LISENMAIER, 1995), florestas secundárias (MORELLATO & OLIVEIRA, 1991) e áreas perturbadas (BLÜTHGEN & REIFENRATH, 2003). Isso se deve ao fato de que as espécies de plantas com NEFs possuem estratégia de regeneração pioneira, apresentando altas taxas de crescimento e regeneração preferencial em habitats com maior incidência luminosa (FIALA & LINSSENMAIR, 1995; BLÜTHGEN & REIFENRATH, 2003).

No entanto, estudos recentes têm mostrado que plantas com NEFs podem ser influenciadas negativamente por perturbações antrópicas, tanto em áreas de floresta Atlântica (CÂMARA *et al.*, em revisão), quanto em áreas de Caatinga (LEAL *et al.*, 2015). Em floresta Atlântica, foi observado que áreas de pequenos fragmentos e bordas de floresta tem menos espécies e indivíduos de árvores portadoras de nectários

extraflorais que áreas de interior de floresta (CÂMARA *et al.*, em revisão). Leal e colaboradores (2015) observaram que na caatinga o aumento nas perturbações antrópicas crônicas leva à redução na abundância de 3 das 13 espécies possuidoras de nectários extraflorais estudadas. Duas dessas espécies foram classificadas como “vencedoras” tendo em vista que suas abundâncias são maiores em áreas com moderado grau de perturbação crônica, enquanto as demais espécies não apresentaram variação de abundância entre os diferentes habitats. Dentre os vários fatores que podem influenciar a menor abundância de plantas com NEFs em áreas perturbadas, um deles pode estar relacionado ao fato da perturbação causar estresse fisiológico às plantas. (HEIL *et al.*, 2000, LEAL *et al.*, 2015). Isso parece ser o caso das espécies que reduzem sua abundância com o aumento da perturbação relatado por Leal *et al.* (2015), porque a atividade das formigas sobre estas plantas também foi reduzida à medida que a perturbação aumentava, o que pode indicar uma redução na quantidade ou qualidade do néctar secretado por aqueles indivíduos.

Apesar da produção do néctar extrafloral em geral não ser custosa para a planta (igual a aproximadamente 1% da energia total investida por folha), os custos fisiológicos podem variar de acordo com os recursos disponíveis do local, como água e nutrientes, por exemplo (RUDGERS & GARDNER, 2004). Caso exista esse estresse fisiológico, as plantas podem reduzir a secreção de néctar, influenciando consequentemente a atratividade da planta para as formigas visitantes (NICHOL & HALL, 1988; HEIL, 2011). Uma redução na taxa de visitação das formigas pode levar ao aumento das taxas de herbivoria e assim à redução no sucesso reprodutivo e estabelecimento dessas plantas (LEAL *et al.*, 2006), o que poderia explicar a redução das plantas com NEF em áreas mais perturbadas (LEAL *et al.*, 2015).

Desta forma, devido à importância dos NEFs na proteção das plantas, o fato de que o estresse ambiental pode afetar o investimento da planta sobre essas estruturas e, ainda, a escassez de tais estudos para a Caatinga, são necessários mais estudos que abordem os fatores que afetam a distribuição das plantas com NEFs. Também será muito importante saber como estas plantas se comportam em áreas com diferentes níveis de perturbação antrópica, incluindo diferentes níveis de precipitação, o que simularia as mudanças climáticas previstas para o semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, A.; COATES, R.; BARRAGÁN, G. C.; CAMPOS-VILLANUEVA, A., DÍAZ-CASTELAZZO, C. Morphological characterization of extrafloral nectaries and associated ants in tropical vegetation of Los Tuxtlas, Mexico. **Flora**, n. 208, p. 147-156. 2013.

AHRENDT, A.; BURGESS, N. D.; MILLEDGE, S. A. H.; BULLING, M. T.; FISHER, B., SMART; J. C. R., CLARKE; G. P., MHORO; B. E.; LEWIS, S. L. Predictable waves of sequential forest degradation and biodiversity loss spreading from an African city. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, n. 107, p. 14556-14561. 2010.

AIDE, T. M. et al. Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). **Biotropica**, n. 45(2), p. 262-271. 2013.

ALVAREZ-YEPIZ, J. C.; MARTINEZ-YRIZAR, A.; BURQUEZ, A.; LINDQUIST, C. Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. **Forest Ecology and Management**, n. 256, p. 355–366. 2008.

APPLE, J. L.; FENNER, D. H. JR. Ant visitation of extrafloral nectaries of *Passiflora*: the effects of nectary attributes and ant behavior on patterns in facultative ant-plant mutualisms. **Oecologia**, n. 127, p. 409-416. 2001.

ASSUNÇÃO, M. A.; TOREZAN-SILINGARDI, H. M.; DEL-CLARO, K. Do ant visitors to extrafloral nectaries of plants repel pollinators and cause an indirect cost of

mutualism? **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 209, n. 5, p. 244-249, 2014.

BENTLEY, B. L. Extrafloral nectaries and protection by pugnacious bodyguards. **Ecology**, n. 57, p. 815-820. 1977.

BENTLEY, B.; ELIAS, T. S. **The biology of nectaries**. New York: Columbia University Press. 1983.

BLÜTHGEN, N.; REIFENRATH, K. Extrafloral nectaries in an Australian rainforest: structure and distribution. **Australian Journal of Botany**, n. 51, p. 515–527. 2003.

BROOKS N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. **Global Environmental Change**, n. A (15), p. 151 – 163. 2005.

BYK, J.; DEL-CLARO, K. Ant-plant interaction in the Neotropical savanna: direct beneficial effects of extrafloral nectar on ant colony fitness. **Population Ecology**, n. 53, p. 327-332. 2011.

CHIANG, J. C. H.; KOUTAVAS, A. Tropical flip-flop connections. **Nature**, n. 432, p. 684-685. 2004.

COLE, L. E. S.; BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. J. Recovery and resilience of tropical forests after disturbance. **Nature Communications**, n.5, p. 3906. 2014.

DANTAS DE PAULA, M.; ALVES COSTA, C. P.; TABARELLI, M. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. **Tropical Conservation Science**, n.4, p. 349-358. 2011.

DAVIDAR, P. S; SAHOO P.C.; MAMMEN P.; ACHARYA J. P.; PUYRAVAUD, M. ARJUNAN, J.P; GARRIGUES, K.; ROESSINGH. Assessing the extent and causes of forest degradation in India: Where do we stand? **Biological Conservation**, n. 143, p. 2937-2944. 2010.

DÍAZ-CASTELAZO, C.; RICO-GRAY, V.; ORTEGA, F.; ANGELES, G. Morphological and secretory characterization of extrafloral nectaries in plants of coastal Veracruz, Mexico. **Annals of Botany**, n. 96, p. 1175–1189. 2005.

DOHM, C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; MEYER, S. T.; WIRTH, R. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest fragmentation? **Journal of Tropical Ecology**, n. 27, pp. 645-649. 2011.

ELIAS, T. S. **Extrafloral nectaries: their structure and distribution**. In: Bentley B, Elias T. S., eds. The biology of nectaries. New York: Columbia University Press, 174–203. 1983.

FIALA, B.; LINSÉNMAIR, K. E. Distribution and abundance of plants with extrafloral nectaries in the woody flora of a lowland primary forest in Malasia. **Biodiversity and Conservation**, n. 4, p. 165-182. 1995.

FILGUEIRAS, B. K. C.; IANNUZZI, L.; LEAL, I. R. Habitat fragmentation alters the structure of dung beetle communities in the Atlantic forest. **Biological Conservation**, n. 144, p. 362-369. 2011.

GARCÍA-VALDÉS, R.; SVENNING, J. C.; ZAVALA, M. A.; PURVES, D. W., ARAÚJO, M. B. Evaluating the combined effects of climate and land-use change on tree species distributions. **Journal of Applied Ecology** n. 52, p. 902–912. 2015.

GILLESPIE, T.; LIPKIN, B.; SULLIVAN, L.; BENOWITZ, D.; PAU, S.; KEPPEL, G. The rarest and least protected forests in biodiversity hotspots. **Biodiversity and Conservation**, n. 21, p. 3597–3611. 2012.

GILMAN, S. E. et al. A framework for community interactions under climate change. **Trends in Ecology & Evolution**, n. 25(6), p. 325-331, 2010.

HEIL, M. Nectar: Generation, regulation and ecological functions. **Trends in Plant Science** n. 16, p. 191–200. 2011.

HEIL, M.; FIALA B.; BAUMANN B.; LINSÉNMAIR K. E. Temporal, spatial and biotic variations in extrafloral nectar secretion by *Macaranga tanarius*. **Functional Ecology**, n.14, p.749-757. 2000.

HEIL, M.; MCKEY, D. Protective ant–plant interactions as model systems in ecological and evolutionary research. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, n. 34, p. 425–453. 2003.

HELMUS, M. R.; KELLER, W. B.; PATERSON, M. J.; YAN, N. D.; CANNON, C. H.; RUSAK, J. A. Communities contain closely related species during ecosystem disturbance. **Ecology Letters**, n.13, p. 162-174. 2010.

- HIROTA, M.; HOLMGREN, M.; VAN NES, E. H.; SCHEFFER, M. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, n.334, p.232-235. 2011.
- HOBBS, R. J.; ARICO, S.; ARONSON, J.; BARON, J. S.; BRIDGEWATER, P.; CRAMER, V. A.; EPSTEIN, P. R.; EWEL, J. J.; KLINK, C. A.; LUGO, A. E.; NORTON, D.; OJIMA, D.; RICHARDSON, D. M.; SANDERSON, E. W.; VALLADARES, F.; VILÀ, M.; ZAMORA, R.; ZOBEL, M. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. **Global Ecology and Biogeography**, n. 15, p. 1-7. 2006.
- HOBBS, R. J.; HUENNEKE, L. F. Disturbance, Diversity, and Invasion: Implications for Conservation. **Conservation Biology**, n. 6; p. 324–337. 1992.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapa de vegetação do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro. 1993.
- JANZEN, D. H. Tropical dry forests. **The Most Endangered Major Tropical Ecosystem**, pp. in: E.O. Wilson, Biodiversity. 1988.
- KEELER, K. H. Functions of *Mentzelia nuda* (Loasaceae) postfloral nectaries in seed defense. **American Journal of Botany**, n. 68, p. 295-299. 1981.
- KOPTUR, S. **Extrafloral nectary-mediated interactions between insects and plants**. In: Bernays E. (ed.), Insect–Plant Interactions. CRC Press, Boca Raton. p 81–129. 1992.
- KOPTUR, S. Facultative mutualism between weedy vetches bearing extrafloral nectaries and weedy ants in California. **American Journal of Botany**, n. 66, p. 1016-1020. 1979.
- KROL, M. S.; JAEGAR, A.; BRONSTERT, A.; KRYWKOW, J. The semiarid integrated model (SDIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth**, n. (B) 26, p. 529-533. 2001.
- LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, n. 144, pp. 56–67. 2011.
- LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A. Synergistic effects in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, n. 15, p. 1488–1489. 2001.

- LAURANCE, W. F.; PERES, C. A. **Emerging Threats to Tropical Forests**. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. 2006.
- LEAL I. R., FISCHER E., KOST C., TABARELLI M., WIRTH R. Ant protection against herbivores and nectar thieves in *Passiflora coccinea* flowers. **Écoscience**, n. 13(4), p. 431-438. 2006.
- LEAL, I. R.; FILGUEIRAS, B. K. C.; GOMES, J. P.; IANNUZZI, L.; ANDERSEN, A. N. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. **Biodiversity and Conservation**. 2012.
- LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER, T. E. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Conservation Biology**, n. 19, p. 701–706. 2005.
- LEAL, L. C.; ANDERSEN, A. N.; LEAL, I. R. Disturbance Winners or Losers? Plants Bearing Extrafloral Nectaries in Brazilian Caatinga. **Biotropica**, n. 47, p. 468–474. 2015.
- LEAL, L. C.; ANDERSEN, A. N.; LEAL, I. R. Disturbance winners or losers? Plants bearing extrafloral nectaries in Brazilian Caatinga. **Biotropica**, n. 47, p. 468-474. 2015.
- LÔBO, D.; LEÃO, T.; MELO, F. P. L.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI M. Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. **Diversity Distribution**, n. 17, p. 287-296. 2011.
- 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**, n.142, pp. 1154–1165. 2009.
- MACHADO, S. R.; MORELLATO, L. P. C.; SAJO, M. G.; OLIVEIRA, P. S. Morphological patterns of extrafloral nectaries in woody plant species of the Brazilian cerrado. **Plant Biology**, n. 10, p. 660-663. 2008.
- MAGRIN, G.O.; MARENGO, J. A.; BOULANGER, J. P.; BUCKERIDGE, M.S.; CASTELLANOS, E.; POVEDA, G.; SCARANO, F. R.; VICUÑA, S.: Central and South America. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1499-1566. 2014.

MARTOREL, C.; PETERS, E. M. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectnifera*. **Biological Conservation**, n.124, p: 199–207. 2005.

MARTORELL, C; PETERS, E. M. Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. **Conservation Biology**, n.23, p.377–387. 2009.

MAY-TOBIN, C. **Wood for fuel. The root of the problem: what's driving tropical deforestation today?** (eds D. Boucher, E. Pipa, K. Lininger, C. May-Tobin, S. Roquemore & E. Saxon), UCS Publication, Cambridge. Melo, F.P., Siqueira, J. p. 79–88. 2011.

MILLES, L.; NEWTON, A. C.; DEFRIES, R. S.; RAVILIOUS, I. M.; BLYTH, S.; KAPOV, V; GORDON, J. E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, n. 33, p. 491-505. 2006.

MMA; IBAMA. **Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite Acordo de Cooperação Técnica MMA/IBAMA: Monitoramento do Bioma Caatinga 2008 a 2009**. IBAMA/MMA, Brasília. 2011.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution** n.10, p. 58–62.1995.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 17, p. 67-88. 1986.

NICHOL, P.; L. HALL. Characteristics of nectar secretion by extrafloral nectaries of *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, n. 39, p. 573–586. 1988.

NIMER, E. 1972. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, n. 34, p. 3-51.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian Deforestation and Regional Climate Change. **Journal of Climate**, n. 4, p. 957–988. 1991.

OLIVEIRA, P. S.; RICO-GRAY, V.; DÍAZ-CASTELAZO, C.; CASTILLO-GUEVARA C. Interaction between ants extrafloral nectaries and insect herbivores in Neotropical coastal sand dunes: herbivore deterrence by visiting ants increases fruit set in *Opuntia stricta* (Cactaceae). **Functional Ecology**, n.13, p. 623-631. 1999.

- PENNINGTON, R. T.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, n. 27, p. 261-273. 2000.
- PETERS, R. L. Effects of global warming on forests. **Forest Ecology and Management**, n. 35, p. 13-33. 1990.
- PONCE-REYES, R.; NICHOLSON, E.; BAXTER, P. W. J.; FULLER, R. A.; POSSINGHAM, H. Extinction risk in cloud forest fragments under climate change and habitat loss. **Diversity and Distributions**, n. 19, p. 518–529. 2013.
- PORTILLO-QUINTERO, C. A.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A.. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. **Biological Conservation**, n. 143(1), p. 144-155. 2010.
- PRADO, D. **As caatingas da América do Sul**, p. 3-73 in Leal, I. R., Tabarelli, M. & Silva, J. M. C. (eds.) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2003.
- REID, R. S.; GALVIN, K. A; KRUSKA, R. S. **Global significance of extensive grazing lands and pastoral societies: an introduction**, p. 45-91 in Galvin, K. A., Reid, R. S., Behnke Jr, R. H. & Hobbs, N. T. (orgs). *Fragmentation in semi-arid and arid landscapes: consequences for human and natural systems*. Springer, Dordrecht. 2008.
- RIBEIRO, E. M. S.; ARROYO-RODRIGUEZ, V.; SANTOS, B. A.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, n. 52, p. 611-620. 2015.
- RICO-GRAY, V.; OLIVEIRA, P. S. **The ecology and evolution of ant-plant interactions**. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA, p. 99-131. 2007.
- RUDGERS, J. A. Enemies of herbivores can shape plant traits: selection in a facultative ant-plant mutualism. **Ecology**, n. 85(1), p. 192-205. 2004.
- RUDGERS, J. A.; GARDENER, M. C. Extrafloral nectar as a resource mediating multispecies interactions. **Ecology**, n. 85, p. 1495–1502. 2004.

- S. L. LEWIS; J. LLOYD; S. SITCH; E. T. A. MITCHARD; W. F. LAURANCE. Changing Ecology of Tropical Forests: Evidence and Drivers, **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, n. 40, p. 529-549.
- SAMPAIO, E. V. S. B. **Overview of the Brazilian Caatinga**, p. 35-58 in Seasonally dry forests. Cambridge University Press, Cambridge. 1995.
- SANTOS, B. A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MORENO, C. E.; TABARELLI, M.. Edge-related loss of tree phylogenetic diversity in severely fragmented Brazilian Atlantic Forest. **PLoS ONE**, n5(9): e12625. 2010.
- SANTOSM B. A.; PERES C. A.; OLIVEIRA, M. A.; GRILLO, A.; ALVES-COSTA, C. P.; TABARELLI, M. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic forest fragments of Northeastern Brazil. **Biological Conservation**, n. 141, p. 249-260. 2008.
- SCHMID, R. Reproductive versus extra-reproductives nectaries–historical perspective and terminological recommendations. The **Botanical Review**, n. 54, p. 179–232. 1988.
- SINGH, S. P. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. **Environmental Conservation**, n. 25, p.1–2. 1998.
- SINGH, S. P. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. **Environmental Conservation**, n. 25, p.1–2. 1998.
- SUNDERLAND, T.; APGAUA, D.; BALDAUF, C.; BLACKIE, R.; COLFER, C.; CUNNINGHAM, A. B.; ICKOWITZ, A. Global dry forests: a prologue. **International Forestry Review**, n.17, pp. 1-9. 2015.
- TABARELLI M., DA SILVA M. J. C., GASCON C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity Conservation**, n.13, p. 1419–1425. 2004.
- TABARELLI, M.; GASCON, C. Lessons from Fragmentation Research: Improving Management and Policy Guidelines for Biodiversity Conservation. **Conservation Biology**, n.19, p. 734–739. 2005.
- TRAVIS, J. M. J. Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. Proceedings of the Royal Society of London B, **Biological Sciences** n. 270 p. 467–473. 2003.

WEBER M. G.; KEELER K. H. The phylogenetic distribution of extrafloral nectaries in plants. **Annals of Botany**, n. 111, p.1251-1261. 2013.

WIRTH, R. et al. Plant-herbivore interactions at the forest edge. **Progress in Botany**, n. 69, p. 423-448. 2008.

WIRTH, R.; MEYER, S. T.; ALMEIDA, W. R.; ARAÚJO, M. V.; BARBOSA, V. S.; LEAL, I. R. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. **Journal of Tropical Ecology**, n.23, pp. 501-507. 2007.

ZIMMERMAN, J. G. Über die extrafloralen Nektarien der Angiospermen. **Beihefte zum Botanischen Zentralblatt**, n. 49, p. 99–196. 1932.

Influência de perturbações antrópicas e mudanças climáticas sobre plantas com nectários extraflorais numa floresta tropical sazonalmente seca

Daniela Q. A. Reis¹, Emília C. Arruda² & Inara R. Leal³

¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Laboratório de Interação Planta-Animal – LIPA, Centro de Biociências – CB, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rua Prof. Nelson Chaves, s/n, Cidade Universitária CEP: 50.670-90, Recife, PE, Brasil.

²Departamento de Botânica, Laboratório de Anatomia Vegetal - LAVEG, Centro de Biociências – CB, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rua Prof. Nelson Chaves, s/n, Cidade Universitária CEP: 50.670-90, Recife, PE, Brasil.

³Departamento de Botânica, Laboratório de Interação Planta-Animal – LIPA, Centro de Biociências – CB, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rua Prof. Nelson Chaves, s/n, Cidade Universitária CEP: 50.670-90, Recife, PE, Brasil.

*Autor para correspondência: telefone: 55-81-21267814, e-mail: irleal@ufpe.br

Resumo

Florestas Secas são ecossistemas expostos às perturbações antrópicas crônicas (PAC) e estão entre os mais ameaçados por mudanças climáticas devido às previsões de aumento de temperatura e redução de precipitação. Apesar de parecerem gradativos, os efeitos podem ser também bastante deletérios para a biota deste ecossistema. Neste estudo, foi investigado se o aumento da PAC e a redução da precipitação afetam a comunidade e populações de plantas com NEFs e os atributos morfo-anatômicos destas glândulas de duas espécies da Caatinga. O estudo foi realizado no Parque Nacional do Catimbau, onde os indivíduos com NEFs presentes em 19 parcelas ao longo de dois gradientes independentes de PAC e de precipitação foram marcados e suas espécies identificadas. Para análise anatômica foram coletadas amostras de glândulas de *Poincianella microphylla* e *Pityrocarpa moniliformis*. Foram encontradas 28 espécies pertencentes a 5 famílias. A composição de espécies variou apenas ao longo do gradiente de precipitação. As abundâncias de *Senegalia bahiensis* e *Senna velutina* aumentaram com a precipitação enquanto *Po. microhylla* e *Sapium glandulosum* diminuíram. Em relação aos atributos morfológicos, apenas a largura do tecido secretor e o comprimento e largura das glândulas de *Pi. moniliformis* foram relacionados positivamente com a precipitação e não com o gradiente de perturbação. Nossos resultados indicam que a disponibilidade de água é um fator chave para a Caatinga uma vez que o nível de precipitação local tem uma influência mais forte sobre comunidades e populações de plantas com NEF que a PAC.

Palavras-chave: caatinga, florestas tropicais sazonalmente secas, mudanças climáticas, nectário-extrafloral, perturbação antrópica crônica.

Abstract

Dry forests are exposed to chronic anthropogenic disturbances (CAD) and are one of the ecosystems most threatened by climate changes due to future previsions involving increasing in temperature and decreasing in rainfall. Besides the effects seem to be gradual, they can be seriously deleterious for the biota of this ecosystem. In this study was investigated if an increasing in CAD and a reduction in rainfall level affect the community and population of EFN-bearing plants and the morph-anatomical characters of these glands in Caatinga. The study was carried out at the National Park of Catimbau (Pernambuco, Brazil), where individuals with EFNs were found in 19 plots through two independent gradients of CAD and rainfall where species were marked and then identified. For the morph-anatomical analyses were collected glands surveys of *Poincianella microphylla* and *Pityrocarpa moniliformis*. It was found 28 species belonging to 5 families. Species composition changed only through the rainfall gradient. The abundances of *Senegalia bahiensis* and *Senna velutina* were positively related to the rainfall, as *Po. microhylla* and *Sapium glandulosum* were negatively related. In relation to the morphological attributes only the width of secretory tissue and the lenght of glands of *Pi. moniliformis* were positively related with the rainfall and not with the disturbance gradient. The results indicate that water availability is a key factor for Caatinga once the rainfall level has stronger influence on communities and populations of plants bearing EFNs than PAC do.

Keywords: caatinga, chronic human disturbance, climatic changes, extrafloral-nectary, seasonally dry tropical forests.

Introdução

Perturbações antrópicas são responsáveis pela acentuada diminuição da cobertura florestal no globo, causando a perda e fragmentação de habitat, amplamente reconhecidos como as maiores causas da perda de biodiversidade em todo o mundo (Veldman et al. 2009; Ahrends et al. 2010; Laurance et al. 2011). No entanto, áreas remanescentes de muitos ecossistemas são usadas pelas populações humanas e, então, estão expostas às perturbações antrópicas crônicas (PAC) (sensu Singh 1998). São exemplos de perturbação crônica o corte seletivo de plantas, a coleta de produtos florestais não madeireiros, a caça e a criação de animais domésticos de forma extensiva (Singh 1998; Martorell and Peters 2005). Embora os efeitos dessas perturbações sejam aparentemente gradativos, eles podem ser também bastante deletérios para a biota destes ecossistemas (Alvarez-Yépiz et al. 2008; Martorell and Peters 2005, 2008).

Como outras florestas secas no mundo, a Caatinga abriga uma população humana densa que depende fortemente dos seus recursos naturais (Davidar et al. 2010; Sunderland et al. 2015). Além disso, também possui outros fatores como vegetação baixa, clima adequado para a criação de animais e disponibilidade de forragem natural (Milles et al. 2006) que favorecem o estabelecimento da agricultura, o aumento dos rebanhos e a criação dos animais de forma extensiva (Murphy and Lugo 1986; Leal et al. 2005; Reid et al. 2008). Dessa forma, a Caatinga está sob forte pressão de perturbações crônicas, mas os estudos sobre como este tipo de perturbação altera sua biota estão apenas começando (Leal et al. 2014; Ribeiro et al. 2015). Já foi observado, por exemplo, que a coleta de lenha e o sobre pastejo de animais domésticos criados extensivamente é capaz de reduzir a diversidade taxonômica e filogenética da comunidade de plantas lenhosas (Ribeiro et al. 2015, 2016). Além disso, serviços prestados pelas formigas para as plantas, como dispersão de sementes (Leal et al. 2014)

e proteção de plantas contra herbívoros (Leal et al. 2015) também são reduzidos à medida que as perturbações crônicas aumentam.

Além das PAC, a biota da Caatinga está sendo também ameaçada por mudanças climáticas globais. Segundo previsões feitas pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas, a região da Caatinga enfrentará um aumento da temperatura e também uma redução da precipitação em 2100 em comparação ao final do século XX (Magrin et al. 2014). Portanto, mudanças climáticas podem futuramente intensificar os efeitos negativos das perturbações e ambos podem atuar, até mesmo em sinergismo, causando efeitos complexos sobre a biodiversidade (Travis 2003; Ponce-Reyes et al. 2013; García-Valdés et al. 2015). Isso pode intensificar a perda de determinados grupos taxonômicos e funcionais (Ponce-Reyes et al. 2013; García-Valdés et al. 2015). Assim, a Caatinga mostra ser um bom exemplo para analisar os potenciais efeitos de perturbações crônicas e mudanças climáticas em biotas de florestas secas, tendo em vista que está sob sérias ameaças destes dois fatores de degradação (Leal *et al.* 2014b; Magrin et al. 2014; Ribeiro et al. 2015).

Os nectários extraflorais (NEFs) são estruturas secretoras de néctar não envolvidas diretamente com a polinização, apesar de poderem ser encontrados em estruturas florais (Elias 1983; Koptur 1992; Díaz-Castelazo et al. 2005; Byk and Del-Claro 2011). Essas estruturas secretoras são conhecidas por mediar interações mutualísticas envolvendo a atração de formigas, que reduzem a herbivoria, em troca do néctar rico em carboidrato (Rudgers and Gardener 2004). Plantas com NEFs possuem uma diversidade filogenética muito grande e apesar de serem frequentemente associadas ao grupo das plantas pioneiras, recentemente foi observado que essas espécies podem ser prejudicadas por perturbações antrópicas em áreas de Caatinga (Leal et al. 2015). Isso ocorreria porque habitats perturbados são mais estressantes às plantas, fazendo com

que estas aloquem recursos para outras funções fisiológicas, reduzindo consequentemente a secreção de néctar (Heil et al. 2000; Leal et al. 2015).

Adicionalmente, espécies de formigas visitantes de NEFs são bastante sensíveis às mudanças na taxa de secreção dos nectários, reduzindo ou cessando sua visita quando em baixas taxas de secreção (Heil et al. 2000; Kersh and Fonseca 2005), o que pode afetar o estabelecimento das espécies com NEFs devido à perda da interação. Dessa forma, é provável que, sob diferentes condições de estresse ambiental, diferentes espécies de plantas com NEFs estejam presentes.

Outros fatores que podem influenciar a interação das plantas com NEFs e formigas associadas e, consequentemente, o estabelecimento dessas plantas são os atributos morfológicos e anatômicos das glândulas (Díaz-Castelazo et al. 2005). Isso se deve ao fato da morfologia afetar diretamente as taxas de secreção e a acessibilidade do néctar, que, por sua vez, influenciam a atratividade das plantas às formigas. Diferenças nos atributos dos NEFs das plantas podem determinar quais espécies recebem a maioria das visitas de formigas e, consequentemente, a proteção mais eficiente contra os herbívoros (Apple and Feener 2001).

Sendo assim, o objetivo desse estudo é entender como as perturbações antrópicas, incluindo mudanças climáticas, afetam as plantas com NEFs em áreas de Caatinga, tanto no nível da comunidade, quanto das populações. Mais especificamente, foram avaliados os efeitos do aumento da perturbação crônica e da redução da precipitação (principal previsão de mudança climática para a Caatinga, IPCC 2014) sobre (1) a riqueza da comunidade de plantas com NEFs, (2) a composição de espécies de plantas com NEFs, (3) a abundância das diferentes espécies de plantas com NEFs, (4) a variações dos atributos dos NEFs (localização, distribuição e tipos de glândulas) de todas as espécies, e por fim, (5) a variação dos atributos dos NEFs de duas espécies

selecionadas. Nossa hipótese geral é que plantas com NEFs sejam influenciadas negativamente pelo aumento da perturbação antrópica e pela diminuição da precipitação nos diferentes níveis de organização acima citados.

Materiais e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Nacional do Catimbau, que abrange os municípios de Buíque, Ibirimir e Tupanatinga, e está situado entre o agreste e o sertão de Pernambuco (Santos et al. 2013). O Parque ocupa uma área de aproximadamente 60 mil ha, com as coordenadas geográficas de 8°24'00'' e 8°36'35'' ao sul e 37°09'30'' e 37°14'40'' ao oeste. O clima predominante na região é o semiárido do tipo Bsh, com transição para o tropical chuvoso do tipo As' de acordo com escala de Köppen (SNE 2002). A precipitação anual no Parque varia entre 480 e 1100 mm, com grande irregularidade no regime interanual (SNE 2002). A temperatura média anual é em torno de 23°C (SNE 2002).

A alta diversidade da vegetação do Parque pode ser explicada pela interação do clima com o solo, o relevo, a altitude e com processos geológicos que foram estabelecidos nos períodos Terciário e Quaternário (Nogueira et al. 1994). Extensos chapadões com solos arenosos e profundos são comuns no Parque que podem ser caracterizados por diferentes ambientes com flora e vegetação distintas (Nogueira et al. 1994; SNE 2002). De forma geral, a vegetação tem predominância de indivíduos arbustivos, representados principalmente pelas famílias Leguminosae, Euphorbiaceae, e Boraginaceae. O estrato herbáceo é rico em Cactaceae e Bromeliaceae, mas também abrange outras famílias, como Malvaceae, Sterculiaceae, Asteraceae e Leguminosae,

Coleta de dados

Este estudo foi realizado em 19 parcelas do sistema de parcelas permanentes do PELD-Catimbau (www.ufpe.br/pelddcatimbau) estabelecido desde 2013. O PELD ou Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração é uma iniciativa do Governo Federal visando a escolha de áreas para o desenvolvimento de pesquisas científicas no país com temas relacionados à Ecologia de Ecossistemas. Ao total são 20 parcelas de 1.000 m² (50 m x 20 m) estabelecidas ao longo de dois gradientes não correlacionados, de precipitação e de perturbação antrópica crônica. Para o gradiente de perturbação crônica foi calculado um índice de perturbação levando em conta dois indicadores de acessibilidade humana (a distância para estrada mais próxima e a distância para fazenda mais próxima) e a pressão de pastejo de caprinos da espécie *Capra hircus* (Bovidae) (comprimento das trilhas dentro das parcelas), o animal doméstico criado extensivamente mais comum na região. O gradiente de precipitação foi estabelecido em 2013 de acordo com as médias de pluviosidade referentes a cada área na base de dados do WorldClim (www.worldclim.org) e varia de 510 a 940 mm/ano.

Para análise da riqueza, composição de espécies e abundância de plantas com NEFs utilizamos, inicialmente, a base de dados da vegetação lenhosa do PELD-Catimbau. A base inclui plantas com altura maior que um metro e mais de três centímetros de diâmetro acima do solo. Além disso, em visitas preliminares ao Parque coletamos alguns espécimes com NEFs aparentes para identificação *a posteriori*. Também em campo, usamos a presença de formigas sobre as plantas com NEFs e a acumulação de néctar como evidências da presença dos NEFs (Leal et al. 2015). As identificações foram feitas no Centro de Referência para Recuperação de áreas Degradadas (CRAD-Univasf) e no Herbário Geraldo Mariz - UFP. A presença, o tipo de NEF, a topologia e modo de distribuição da glândula foram confirmados na *World List*

of Plants With Extrafloral Nectaries (<http://biosci-labs.unl.edu/Emeriti/keeler/extrafloral/Cover.htm>).

Medição dos atributos dos NEFs

Para avaliar se os atributos anatômicos e morfológicos dos NEFs variam ao longo dos gradientes de precipitação e perturbação, selecionamos como espécies focais as duas espécies com NEFs mais abundantes no Parque *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R.W.Jobson (Fabaceae), popularmente conhecida como canzenzo, e *Poincianella microphylla* (Mart. ex G.Don) L.P.Queiroz (Fabaceae), popularmente conhecida como catingueira de porco. Para cada uma dessas espécies foi coletado um ramo de três indivíduos em apenas 14 parcelas dos gradientes onde os indivíduos estavam presentes por questões logísticas. Estas parcelas foram selecionadas previamente para estarem bem distribuídas ao longo dos dois gradientes estudados.

Posteriormente, para *Po. moniliformis*, foram cortados uma glândula de cada ramo e para *Pi. microphylla* diversos folíolos. As amostras foram fixadas em FAA 50% (formaldeído, ácido acético e etanol 50%) e desidratadas em série etanol-butanol 50-100%-butanol puro (Johansen 1940). Durante o processamento as amostras foram incluídas e emblocadas em parafina e depois seccionadas transversal e longitudinalmente em micrótomo rotativo no Departamento de Microscopia do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste - CETENE (Reichertt-Jung and Autocut 2004). As secções foram coradas com azul de astra 1% e safranina 1% (Kraus et al. 1998) e posteriormente foram montadas sobre lâminas e lamínulas em Bálsamo do Canadá (Purvis et al. 1964). Para *Pityrocarpa moniliformis* os atributos dos NEFs que consideramos mais importantes para analisar se existe variação em relação aos gradientes de precipitação e perturbação antrópica foram (a) largura do tecido secretor,

(b) espessura do tecido secretor, (c) número de células do tecido secretor e (d) espessura da cutícula, (e) comprimento da glândula e (f) largura da glândula. Para *Poincianella microphylla*, medimos (a) largura da cabeça, (b) espessura da cabeça, (c) número de células da cabeça, (d) largura do pescoço, (e) comprimento do pescoço, (f) número de células do pescoço e por fim, (g) espessura da cutícula. As características escolhidas para serem medidas nas duas espécies estudadas não são as mesmas porque os NEFs possuem tipos morfológicos distintos. Essas características das glândulas selecionadas para o estudo estão envolvidas diretamente na produção e secreção do néctar e na forma como ele é disponibilizado para as formigas visitantes. Foram feitas imagens dos NEFs para medições desses atributos no microscópio Leica DM500 com auxílio do *software* Leica. Os atributos mencionados anteriormente foram medidos com o *software* ImageJ.

Análise de dados

Para avaliar o efeito das variáveis explanatórias aumento na perturbação e redução na precipitação sobre a riqueza de plantas com NEFs utilizamos regressões múltiplas e sobre a abundância das espécies encontradas usamos testes de correlação de Pearson para medir não só o grau de correlação como também ver se as direções da correlações das abundâncias das espécies são positivas ou negativas em relação aos preditores ambientais. Para analisar a influência das variáveis explanatórias sobre a composição de espécies com NEFs foi rodada uma análise de correspondência canônica (CCA). Em seguida, foi utilizado um teste ANOVA dois fatores para a significância do modelo e dos eixos da CCA utilizando 10.000 aleatorizações. Os mesmos testes foram usados para verificar perturbação e precipitação afetam (1) tipos de NEFs, (2) localização e (3) distribuição. Por fim, para avaliarmos se perturbação e precipitação afetam os atributos morfológicos das glândulas rodamos regressões múltiplas. Fizemos as regressões e

correlações no *software* Past3e as CCAs e a ANOVA dois fatores utilizando o pacote *vegan* no R versão 3.0.1.

Resultados

No total, nós encontramos 2.239 indivíduos ($117,63 \pm 62,99$ indivíduos por plot; média $\pm$ DP) pertencentes a 28 ($5,26 \pm 2,42$ espécies por plot; média $\pm$ DP) espécies de plantas com NEFs (Tabela 1). A família com maior número de espécies com NEFs foi Fabaceae (21), seguida por Euphorbiaceae (3), Capparaceae (2), Anacardiaceae (1) e Turneraceae (1) (Tabela 1). Entre as espécies, *Pityrocarpa moniliformis* (Fabaceae) foi a mais abundante, com 27% dos indivíduos, seguida por *Poincianella microphylla* (Fabaceae), com 19%, e por *Croton argyroglossus* (Euphorbiaceae), com 18%. Dentre essas espécies, foram encontrados oito tipos diferentes de NEFs (e.g. excluindo as variações do tipo elevado) (Tabela 1). O elevado foi o mais dominante encontrado em 12 espécies e seguidos pelos tipos tricoma glandular (3 espécies), embebido em fenda (1 espécie), estipado (1 espécie), globoso (1 espécie), incluso-côncavo (1 espécie), pulvinado (1 espécie), fenda (1 espécie). Os três tipos mais abundantes foram o tricoma glandular (40,2%), incluso-côncavo (28,0%), e os diferentes subtipos de elevado (24,0%).

A riqueza de espécies das plantas com NEFs não variou ao longo dos gradientes de perturbação e precipitação ($R^2=0,14$; $F=1,40$; $GL=2,16$; $P=0,27$), mas a composição de espécies variou com o modelo geral dos gradientes de perturbação e precipitação ($F=1,777$; $GL=2$; $P=0,01$) (Fig. 1a). Os primeiros dois eixos da CCA explicaram 32% e 24%, respectivamente, da variação na composição da comunidade de espécies com NEFs sob os gradientes de perturbação e precipitação. No entanto, quando os gradientes foram avaliados isoladamente, apenas a precipitação explicou a variação da composição

($F=2,00$; $GL=1$; $P<0,01$) enquanto a perturbação não influenciou a composição ($F=1,547$; $GL=1$; $P=0,10$). As ocorrências das espécies *Senna velutina*, *Sapium glandulosum*, *Croton nepetifolius*, *Senna rizzinii*, *Cynophala hastata* e *Chloroleucon foliosum* mostraram relação positiva com o gradiente de precipitação.

A variação dos NEFs segundo as localizações não foi explicada pelos gradientes de perturbação e precipitação ($F=1.36$; $GL=2$; $P>0.05$), sendo as porcentagens dos eixos 1 e 2 de 17% e 2%, respectivamente (Fig.1b). Quando avaliados separadamente, nem o gradiente de perturbação ($F=0,46$ $GL=1$; $P>0,05$) nem o de precipitação ($F=2,45$ $GL=1$; $P>0,05$) explicou a variação de acordo com a localização dos NEFs. Da mesma forma, a variação do modo de distribuição dos NEFs não foi explicada por perturbação nem por precipitação ($F=1.28$; $GL=2$; $P>0.05$), cujos eixos alcançaram 13% e 0,01%. No entanto, quando os gradientes foram testados isoladamente, verificou-se que existe uma tendência do gradiente de precipitação explicar a variação no modo de distribuição dos NEFs ($F=2,45$; $GL=1$; $P=0.069$) (Fig.1c) enquanto o índice de perturbação não se mostrou uma variável importante ($F=0.08$, $GL=1$, $P>0.05$). Por fim, a variação nos tipos de NEFs também não foi explicada pelos gradientes de perturbação crônica e precipitação ($F=1.55$; $GL=2$; $P>0.05$), sendo as porcentagens dos dois primeiros eixos foram de 15% e 0,6%. Em seguida, quando os gradientes foram testados isoladamente, a precipitação explicou a variação nos tipos de NEFs ($F=2.97$; $GL=1$; $P=0.04$), mas o índice de perturbação não ($F=0.13$; $GL=1$; $P>0.05$) (Fig. 1d). Isso mostra que espécies com NEFs do tipo estipado, elevado, pulvinado e embebido em fenda apresentaram relação direta com o aumento do gradiente de precipitação. O gradiente do índice de perturbação não explicou a variação dos tipos NEFs ($F=0.13$; $GL=1$; $P>0.05$).

Quanto às abundâncias, *Senegalia bahiensis* e *Senna velutina* aumentaram de acordo com o aumento do gradiente de precipitação, enquanto as espécies *Poincianella*

microphylla e *Sapium glandulosum* diminuíram (Fig.2a). Já a abundância de *Chamaecrista zygophylloides* diminuiu com o aumento do índice de perturbação (Fig.2b). As demais espécies não apresentaram mudanças significativas nas abundâncias ao longo dos gradientes de perturbação e de precipitação.

Os NEFs de *Pityrocarpa moniliformis* são uma estrutura conspícua, do tipo incluso-côncavo, localizado na raque entre o primeiro par de pinas (Fig. 3a). As células do tecido secretor são justapostas (sem espaços de ar), o que facilita a passagem do néctar secretado. O tecido vascular, com presença de tecidos xilemáticos e floemáticos está disposto adjacente e internamente ao tecido secretor (Fig. 3c). Possui tricomas tectores, a epiderme do tecido secretor é ondulada e formada por células piramidais (Fig. 3d). As médias e desvios padrões dos atributos da glândula estão disponíveis na tabela 2 e alguns desses valores foram relacionados com os gradientes de perturbação e precipitação. Por exemplo, a largura do tecido secretor mostrou uma relação positiva com os gradientes de perturbação e precipitação ($R^2=0,77$; $F= 7,08$; $P=0,04$) (Fig.4a) (Tabela 2). Da mesma forma, o comprimento da glândula foi relacionado positivamente com os gradientes de perturbação e precipitação ($R^2=0,83$; $F=9,81$; $P=0,02$) (Fig. 4b) (Tabela 2). Ainda, a largura da glândula foi relacionada positivamente apenas ao gradiente de precipitação ($P=0,03$) (Fig. 4c) (Tabela 2). Os demais atributos dos NEFs de *Pityrocarpa moniliformis* (espessura do tecido secretor, número de células do tecido secretor, espessura da cutícula) não apresentaram nenhuma relação com o índice de perturbação antrópica nem com o nível de precipitação (Tabela 2).

A espécie *Poincianella microphylla* possui um NEF pequeno do tipo tricoma glandular adesivo (Fig. 3f), disposto em grupo nas faces abaxiais dos folíolos (Fig. 3e). Não foi encontrada nenhuma relação entre os diferentes atributos dos NEFs de *Po. microphylla* (número de células da cabeça, comprimento da cabeça, largura da cabeça,

número de células do pescoço, comprimento do pescoço, largura do pescoço e espessura da cutícula) com o nível de precipitação ou com o índice de perturbação antrópica (Tabela 2).

Discussão

A riqueza de plantas com NEFs encontradas na área de estudo pode ser considerada intermediária quando comparada com outras florestas secas e decíduas (Pemberton 1990, Díaz-Castelazo et al. 2004, Leal et al. 2015). A dominância de Fabaceae, que neste estudo chegou a 75% das espécies com NEFs, já é bastante conhecida na literatura (Aguirre et al. 2013 e referências; Díaz-Castelazo et al. 2005), inclusive em outras áreas de Caatinga (como na região de Parnamirim, PE, onde somava 69% das espécies, Leal et al. 2015). Contudo, os valores encontrados para a Caatinga são ainda mais altos que os registrados para outros ecossistemas como Cerrado (Oliveira and Leitão-Filho 1987; Machado et al. 2008) e Amazônia (Morellato and Oliveira 1991). A família Fabaceae é a que possui maior abundância e diversidade de NEFs (Bentley and Elias 1983) e é normalmente uma das famílias que dominam as florestas tropicais sazonalmente secas juntamente com Bignoniaceae (Pennington et al. 2000) e isso explica sua alta representatividade neste estudo.

Nesse estudo, a comunidade de plantas com NEFs mostrou respostas bem variadas em relação à perturbação e precipitação, mas o efeito da precipitação sempre foi mais forte. Apesar da riqueza não variar ao longo dos dois gradientes, observamos mudanças na composição de espécies de plantas com NEFs ao longo do gradiente de perturbação. A abundância de algumas espécies também foi relacionada com a precipitação, por exemplo, a abundância de *Senegalia bahiensis* e *Senna velutina* aumentou com a precipitação enquanto a de *Po. microhylla* e *Sapium glandulosum*

diminuiu. Por terem evoluído independentemente em diferentes linhagens dentro das angiospermas e até mesmo dentro das leguminosas, infere-se que essas espécies e seus NEFs possuem alta diversidade filogenética (Elias 1983; Bluthgen and Reinferath 2003; Marazzi and Sanderson 2010; Nogueira et al. 2012). Isso pode explicar as repostas tão variadas das espécies com NEFs na Caatinga.

A precipitação também influenciou a distribuição dos tipos de NEFs. As glândulas do tipo elevado (incluindo suas variações), que foram relacionadas positivamente com o aumento da precipitação, pertencem principalmente às espécies dos gêneros *Senna* spp. e *Senegalia* spp., ou seja, os gêneros das duas espécies com abundâncias relacionadas positivamente com a precipitação. O tipo elevado, quando comparado a outros tipos morfológicos, foi considerado o maior e com mais volume de néctar secretado, sendo também mais complexo que os demais em termos de estrutura e vascularização (Díaz-Castelazo et al. 2005). Sabendo-se que a atenção das formigas visitantes de plantas com NEFs pode variar com os atributos dos nectários e das características do néctar secretado (Apple and Feener 2001; Heil and McKey 2003), é razoável esperar que plantas com NEFs maiores, que provavelmente secretem mais néctar, sejam mais atrativas às formigas e, portanto, recebam maiores níveis de proteção contra potenciais herbívoros (Bentley 1976).

Ainda, alguns atributos morfológicos de *Pityrocarpa moniliformis* também foram influenciados pela precipitação, mostrando que quanto maior é a disponibilidade de água no ambiente, maior é o investimento em características das glândulas que estão diretamente relacionadas à secreção e à acessibilidade do néctar extrafloral. Variações associadas ao consumo de água pelos NEFs provavelmente tornam essas estruturas mais custosas em áreas com menor disponibilidade, como nas savanas em comparação a florestas úmidas, por exemplo (Nogueira et al. 2012). Apesar, dos atributos dos NEFs

de *Poincianella microhylla* não variarem em relação aos gradientes de perturbação e precipitação, essa espécie foi mais abundante à medida que a precipitação diminuiu, mostrando uma alta tolerância ao estresse hídrico. Seu NEF do tipo tricoma glandular é adesivo na parte superior, e por isso pode complicar a patrulha das formigas ao diminuir seu movimento sobre a planta, contudo ao mesmo tempo evita também o consumo das folhas pelos herbívoros, não exercendo assim diretamente seu papel enquanto NEF (Nogueira et al. 2012). Mais estudos, portanto, são necessários para entender o nível de interação mutualística com as formigas visitantes e se essa interação pode exercer alguma influência sobre o sucesso do estabelecimento dessa espécie.

Resultados preliminares de outros estudos em desenvolvimento no Parque Nacional do Catimbau têm chegado ao mesmo padrão aqui descrito, ou seja, que a precipitação é um fator mais importante que a perturbação na redução da riqueza da comunidade e dos serviços ecossistêmicos. Por exemplo, redução no nível de precipitação é um importante fator de impacto sobre a comunidade de plantas da Caatinga (e.g. riqueza e biomassa) mais forte que o aumento nas PAC (K. F. Rito dados não publicados). Da mesma forma, diminuições da precipitação tem um efeito mais negativo sobre os serviços de dispersão de sementes pelas formigas (e.g. número de interação com diásporos e taxas e distância de remoção) em comparação às perturbações crônicas (F. M. P. Oliveira dados não publicados). É amplamente aceito que a estrutura e composição da comunidade de plantas estão relacionadas a fatores ambientais (Moro et al. 2015). Mais precisamente, do ponto de vista fisiológico, variações na precipitação ou na temperatura afetam diretamente taxas metabólicas e de desenvolvimento, alterando processos fundamentais como fotossíntese, respiração, crescimento e composição de tecidos nas plantas (Hughes 2000). De modo geral, reduções da

disponibilidade de água resultam em estresse fisiológico que consequentemente pode ser fatal para indivíduos mais sensíveis (Santos et al. 2014; Figueiredo et al. 2015).

Em conclusão, plantas com NEFs da Caatinga são mais afetadas por precipitação que por perturbação crônica, tanto no nível da comunidade, como de populações e até em termos dos atributos morfo-anatômicos dos NEFs dos indivíduos estabelecidos ao longo do gradiente de precipitação. A disponibilidade de água é um fator chave na Caatinga, aparentemente não apenas para plantas com NEF, mas para um conjunto maior de organismos desta floresta seca. Isso não é totalmente surpresa, uma vez que a região está sob um regime climático semiárido. Contudo, a constatação de que a perturbação tem um efeito quase nulo sobre a comunidade de plantas com NEF é contrária a estudos prévios (Leal et al. 2015) da Caatinga. Estudos futuros devem abordar se existe um efeito sinérgico entre precipitação e perturbação, ou seja, se a comunidade de plantas com NEFs de áreas muito secas e mais perturbadas são mais empobrecidas que comunidades de áreas menos perturbadas e vice-versa. Também é importante verificar se a secreção das glândulas é de fato reduzida com a redução na precipitação e, principalmente, como as interações mutualísticas com as formigas visitantes estão sendo afetadas por todos esses fatores abióticos e bióticos.

Agradecimentos

Este estudo contou com o financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos nº 403770/2012-2, 490450/2013-0 e 470480/2013-0), com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, processos 88881.030482/2013-01) e com a Fundação de Amparo a Pesquisa à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE, processos 0738-2.05/12 e 0138-2.05/14). Agradecemos à CAPES pela bolsa de mestrado a D. Q. A. Reis. Agradecemos a todos os moradores do PARNA Catimbau

que nos ajudaram nas coletas de campo, a Fábria C. Melo pelo auxílio no uso do micrótomo e ao CETENE por permitir o acesso e o uso de equipamentos e material. Por fim, agradecemos a K. Pôrto por disponibilizar o banco de dados da equipe, a E. Ribeiro e J. Ribeiro pela ajuda com as análises estatísticas, a C. H. Félix, F. Siqueira, F. Oliveira e T. Menezes pela ajuda em campo e aos alunos S. Santos, M. Dias e F. Pereira do LAVEG-UFPE pela ajuda e disponibilidade no laboratório.

Referências

- Aguirre A, Coates R, Barragán GC, Campos-Villanueva A, Díaz-Castelazzo C (2013) Morphological characterization of extrafloral nectaries and associated ants in tropical vegetation of Los Tuxtlas, Mexico. *Flora* 208: 147-156
- Ahrends A, Burgess ND; Milledge SAH; Bulling MT; Fisher B, Smart JCR, Clarke G, Mhoro BE; Lewis SL (2011) Predictable waves of sequential forest degradation and biodiversity loss spreading from an African city. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107:14556-14561
- Alvarez-Yepiz JC, Martinez-Yrizar A, Burquez A, Lindquist C (2008) Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*: 256: 355–366.
- Apple JL, Fenner DH Jr (2001) Ant visitation of extrafloral nectaries of *Passiflora*: the effects of nectary attributes and ant behavior on patterns in facultative ant-plant mutualisms. *Oecologia* 127, 409-416
- Bentley B, Elias TS The biology of nectaries. New York: Columbia University Press. 1983 J
- Bentley BL (1976) Plants bearing extrafloral nectaries and the associated ant community: interhabitat differences in the reduction of herbivore damage *Ecology* 815-820
- Blüthgen N, Reifernath K (2003) Extrafloral nectaries in an Australian rainforest: structure and distribution. *Aust. J. Bot.* 51: 515–527.
- Davidar PS, Sahoo PC, Mammen P, Acharya JP, Puyravaud M, Arjunan JP, Garrigues K, Roessingh (2010) Assessing the extent and causes of forest degradation in India: Where do we stand? *Biological Conservation* 143: 2937-2944
- Díaz-Castelazo C, Rico-Gray V, Oliveira PS, Cuautle M (2004) Extrafloral nectary-mediated ant-plant interactions in the coastal vegetation of Veracruz, Mexico: Richness, occurrence, seasonality, and ant foraging patterns. *Ecoscience* 472-481
- Elias TS (1983) Extrafloral nectaries: their structure and distribution. In: Bentley B, Elias TS, eds. The biology of nectaries. New York: Columbia University Press, 174–203.

- Figueiredo KV, Oliveira MT, Arruda EC, Silva BC, Santos MG (2015) Changes in leaf epicuticular wax, gas exchange and biochemistry metabolism between *Jatropha mollissima* and *Jatropha curcas* under semi-arid conditions. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(6): 1-11
- Figueiredo KV, Oliveira MT, Arruda EC, Silva BC, Santos, MG (2015) Changes in leaf epicuticular wax, gas exchange and biochemistry metabolism between *Jatropha mollissima* and *Jatropha curcas* under semi-arid conditions. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(6): 1-11
- García-Valdés R, Svenning JC, Zavala MA, Purves DW, Araújo MB (2015) Evaluating the combined effects of climate and land-use change on tree species distributions. *Journal of Applied Ecology* 52:902–912
- Heil M, Fiala B, Baumann B, Linsenmair KE (2000) Temporal, spatial and biotic variations in extrafloral nectar secretion by *Macaranga tanarius*. *Functional Ecology* 14: 749-757
- Heil M, McKey D (2003) Protective ant–plant interactions as model systems in ecological and evolutionary research *Annu. Revi. of Ecol. Syst.* 34: 425–453
- Hughes L. (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in ecology & evolution* 15(2): 56-61
- Johansen D (1940) *Plant microtechnique*. McGraw, New York.
- Kersch MF, Fonseca CR (2005) Abiotic factors and the conditional outcome of an ant-plant mutualism. *Ecology* 86(8): 2117-2126
- Kraus JE, Sousa HC, Rezende MH, Castro NM, Vecchi C, Luque R (1998) Astra blue and basic fuchsin double staining of plant materials. *Biotechnic & Histochemistry* 73, 235-243
- Laurance WF, Camargo JL, Luizão RC, Laurance SG, Pimm SL, Bruna EM, ... Van Houtan KS (2011) The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biological Conservation* 144(1): 56-67.
- Leal IR, Silva JMC, Tabarelli M, Lacher TE (2005) Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil. *Conservation Biology* 19: 701–706
- Leal LC, Andersen AN, Leal IR (2014) Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174: 173–181
- Leal LC, Andersen AN, Leal IR (2014) Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174: 173–181
- Machado SR, Morellato LPC, Sajo MG, Oliveira PS (2008) Morphological patterns of extrafloral nectaries in woody plant species of the Brazilian cerrado *Plant Biology* 10(5): 660-67
- Magrin GO, Marengo JA, Boulanger JP, Buckeridge MS, Castellanos E, Poveda G, Scarano FR, Vicuña, S (2014) Central and South America. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1499-1566

- Marazzi B, Sanderson MJ (2010) Large-scale patterns of diversification in the widespread legume genus *Senna* and the evolutionary role of extrafloral nectaries. *Evolution* 64(12): 3570-3592
- Martorel C, Peters EM (2005) The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* 124:199–207
- Martorell C, Peters, EM (2009) Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. *Conservation Biology* 23: 377–387
- Melo Y, Córdula E, Machado SR, Alves M (2010) Nectary morphology of Leguminosae sensu lato in areas of dry seasonal Forest in Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 24(4), 1034-1045
- Milles L, Newton AC, DeFries RS, Ravilious IM, Blyth S, Kapos V, Gordon JE (2006) A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33: 491-505
- Morellato LPC, Oliveira PS (1991) Distribution of extrafloral nectaries in different vegetation types of Amazonian Brazil. *Flora* 185(1): 33-38
- Moro MF, Silva IA, Araújo FS, Lughadha ENI, Meagher TR, Martins FR (2015) The role of edaphic environment and climate in structuring phylogenetic pattern in seasonally dry tropical plant communities. *PLoS ONE* 10:e0119166.
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10: 58–62
- Murphy PG, Lugo AE (1986) Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 67-88
- Nogueira A, Guimarães E, Machado SR, Lohmann, LG (2012) Do extrafloral nectaries present a defensive role against herbivores in two species of the family Bignoniaceae in a Neotropical savannas? *Plant Ecology* 213(2): 289-301
- Nogueira MJS, Martins MLR, Soares ZML, Freitas Filho MR, Almeida MAG, Sampaio MAB, Carvalho GBS, Soares AMR, Gomes SCB, Silva EA (1994) Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da desertificação. Redimensionamento da Região semi-árida do Nordeste do Brasil. FUNCEME, Fortaleza.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHM, Wagner H (2015) *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira PS, Leitao-Filho HF (1987) Extrafloral nectaries: their taxonomic distribution and abundance in the woody flora of cerrado vegetation in Southeast Brazil. *Biotropica* 140-148
- Pemberton RW (1990) The occurrence of extrafloral nectaries in Korean plants. *The Korean Journal of Ecology* 13(4): 251-266
- Pennington RT, Prado DE, Pendry CA. (2000) Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27: 261-273.
- Ponce-Reyes R, Nicholson E, Baxter PWJ, Fuller RA, Possingham H (2013) Extinction risk in cloud forest fragments under climate change and habitat loss. *Diversity and Distributions* 19:518–529

- Purvis MJ, Collier DC, Walls D (1964) *Laboratories techniques in botany*. Butterworths, London
- Reid RS, Galvin KA, Kruska RS (2008) Global significance of extensive grazing lands and pastoral societies: an introduction, 45-91 in Galvin, K. A., Reid, R. S., Behnke Jr, R. H. & Hobbs, N. T. (orgs). *Fragmentation in semi-arid and arid landscapes: consequences for human and natural systems*. Springer, Dordrecht. 2008.
- Ribeiro EMS, Santos BA, Arroyo-Rodríguez V, Tabarelli M, Leal IR (2016) Phylogenetic impoverishment of plant communities following chronic human disturbances in the Brazilian Caatinga. *Ecology* (in press)
- Rudgers JA, Gardener MC (2004) Extrafloral nectar as a resource mediating multispecies interactions. *Ecology* 85:1495–1502
- Santos LL, Santos LL, Alves ASA, Oliveira LSD, Sales MF (2013) Bignoniaceae Juss. no Parque Nacional Vale do Catimbau, Pernambuco. *Rodriguésia* 64(3): 479-494
- Santos MG, Oliveira MT, Figueiredo KV, Falcao HM, Arruda EC, Almeida-Cortez J, Antonino AC. 2014. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 26:83–99
- Singh SP (1998) Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. *Environmental Conservation* 25:1–2
- Sociedade Nordestina de Ecologia (2002) *Projeto Técnico para a Criação do Parque Nacional do Catimbau/PE*. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco – SECTMA, Recife.
- Sunderland T, Apgaua D, Baldauf C, Blackie R, Colfer C, Cunningham AB, Ickowitz A (2015) Global dry forests: a prologue. *International Forestry Review* 17: 1-9
- Travis MJM (2003) Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 270:467–473.
- Veldman JW, Mostacedo B, Pena-Claros M, Putz FE (2009). Selective logging and fire as drivers of alien grass invasion in a Bolivian tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 258(7): 1643-1649

Tabela 1 – Aspetos morfológicos dos nectários extraflorais das espécies coletadas em áreas de Caatinga do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil.

Espécie	Família	Tipo	Localização	Distribuição	Referência
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	Fenda	Faces abaxial e adaxial	Individuais	Rickson & Rickson 1998
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Fabaceae	Elevado-plano	Pecíolo e raque	NI	Melo et al. 2010
<i>Chamaecrista zygophylloides</i> (Taub.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	NI	Pecíolo	NI	Presente trabalho
<i>Chloroleucon foliosum</i> (Benth.) G.P.Lewis	Fabaceae	Elevado-côncavo	Região mediana do pecíolo	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Croton argyroglossus</i> Baill.	Euphorbiaceae	Tricomas glandulares	Margem da folha	Isolados	Presente trabalho
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	Euphorbiaceae	Globoso	Pecíolo	Pairados	Silva, J. S.
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Capparaceae	NI	Base do pecíolo	NI	Word list of plant
<i>Cynophalla hastata</i> (Jacq.) J.Presl	Capparaceae	NI	Base do pecíolo	NI	Word list of plant
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Fabaceae	Embebido em fenda	Pedicelo floral	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Passiflora luetzelburgii</i> *Harms	Passifloraceae	NI	Pecíolo	Pairados	Presente trabalho
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	Elevado-côncavo	Base do pecíolo/raque	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Piptadenia viridiflora</i> (Kunth) Benth.	Fabaceae	Elevado-côncavo marrom	Pecíolo	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	Fabaceae	Incluso-côncavo	Raque entre primeiro par de pinas	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Poincianella microphylla</i> (Mart. ex G.Don) L.P.Queiroz	Fabaceae	Tricomas glandulares	Folíolos face abaxial	Agrupados	Melo et al. 2010
<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz	Fabaceae	Tricomas glandulares	Folíolos face abaxial	Agrupado	Melo et al. 2010

<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Euphorbiaceae	Estipado	Ápice do pecíolos	Pareados/Isol.	Word list of plant
<i>Senegalia bahiensis</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Fabaceae	Elevado	Raque	Isolados	
<i>Senegalia piauiensis</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Fabaceae	Elevado-plano	Raque	Isolados	Melo et al. 2010
		Elevado-			
<i>Senna acuruensis</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	digitiforme/Tricoma glandul.	Folha, pecíolo	Isolados/Agrop.	Word list of plant
		Elevado-			
<i>Senna cana</i> (Nees & Mart.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	digitiforme/Tricoma glandular	Folha, pecíolo	Isolados/Agrop.	Word list of plant
<i>Senna macranthera</i> var. <i>micrans</i> (Nees) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	Elevado-digitiforme	Raque	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	Elevado-digitiforme alaranjado	Raque entre pares de folíolos	Isolados	Melo et al. 2010
<i>Senna rizzinii</i> * (H.S.Irwin & Barneby)	Fabaceae	Elevado-digitiforme	Raque	Isolados	Presente trabalho
<i>Senna spectabilis</i> * (DC.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	Elevado-digitiforme	Raque	Isolados	Presente trabalho
<i>Senna splendida</i> * (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	Elevado-digitiforme	Raque/Entre par de folíolos terminais	Isolados	Melo et al. 2010
		Elevado-			
<i>Senna trachypus</i> * (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	digitiforme/Tricomas glandul.	Toda a raque/ par de folíolos terminais	Isolados/Arup.	Melo et al. 2010
<i>Senna velutina</i> * (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	Elevado-digitiforme	Raque	NI	Irwin, H.S. & Barneby,

R.C. 1985.

<i>Turnera cearensis</i> Urb.	Turneraceae	Pulvinados	Dentes da face abaxial da folha	NI	Gonzalez & Ocantos 2006
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Fabaceae	Elevado-plano	Pecíolo	Isolados	Melo et al. 2010

Tabela 2 - Resultados das regressões múltiplas demonstrando os efeitos da precipitação e do índice de perturbação sobre os atributos dos nectários extraflorais (NEFs) de *Pityrocarpa moniliformis* e *Poincianella microphylla* em áreas de Caatinga do PARNA Catimbau, Pernambuco, Brasil. Valores em negrito implicam em efeito significativo ($p \leq 0,05$).

Atributos dos NEFs	Média ($\pm$ DP)	Perturbação (valores-P)	Precipitação (valores-P)	Modelo Completo (valores-P)	R ²
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>					
Largura tecido secretor (μ m)	514,55 (89,99)	0,494	0,028	0,040	0,779
Espessura tecido secretor (μ m)	238,28 (162,38)	0,453	0,073	0,228	0,522
Nº de células do tecido secretor	13,34 (4,41)	0,242	0,064	0,134	0,633
Espessura da cutícula (μ m)	3,46 (0,34)	0,607	0,583	0,781	0,115
Comprimento (mm)	2,11 (0,75)	0,238	0,021	0,028	0,830
Largura (mm)	1,22 (0,27)	0,090	0,039	0,068	0,737
<i>Poincianella microphylla</i>					
Nº células da cabeça	29,63 (4,17)	0,759	0,778	0,090	0,031
Comprimento da cabeça (μ m)	55,60 (3,75)	0,684	0,735	0,893	0,036
Largura da cabeça (μ m)	89,57 (8,46)	0,270	0,995	0,564	0,173
Espessura da cutícula (μ m)	4,02 (0,34)	0,670	0,802	0,904	0,032
Nº células do pescoço	20,73 (2,62)	0,939	0,963	0,996	0,001
Comprimento do pescoço (μ m)	75,98 (5,94)	0,429	0,099	0,230	0,386
Largura do pescoço (μ m)	37,07 (3,36)	0,792	0,460	0,769	0,083

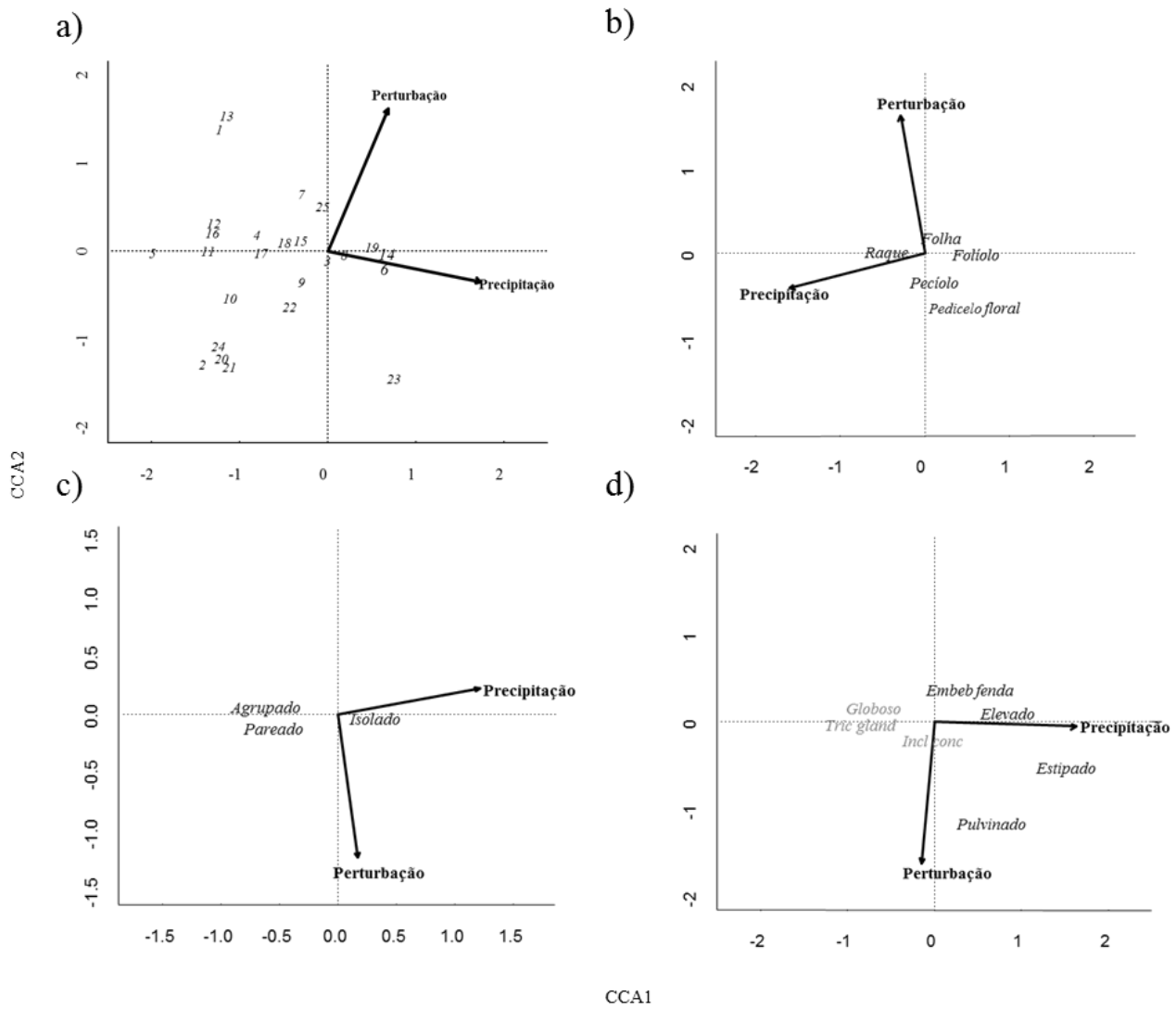


Fig. 1

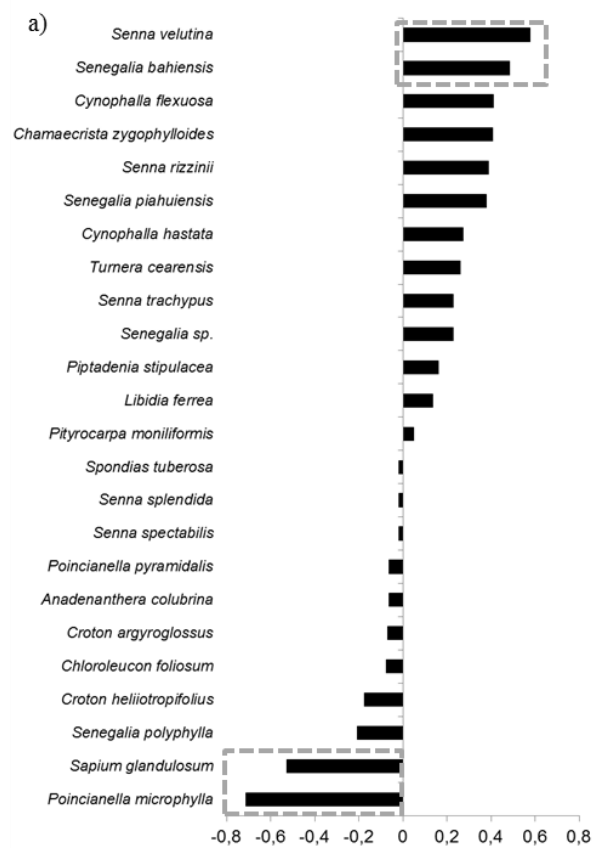


Fig. 2

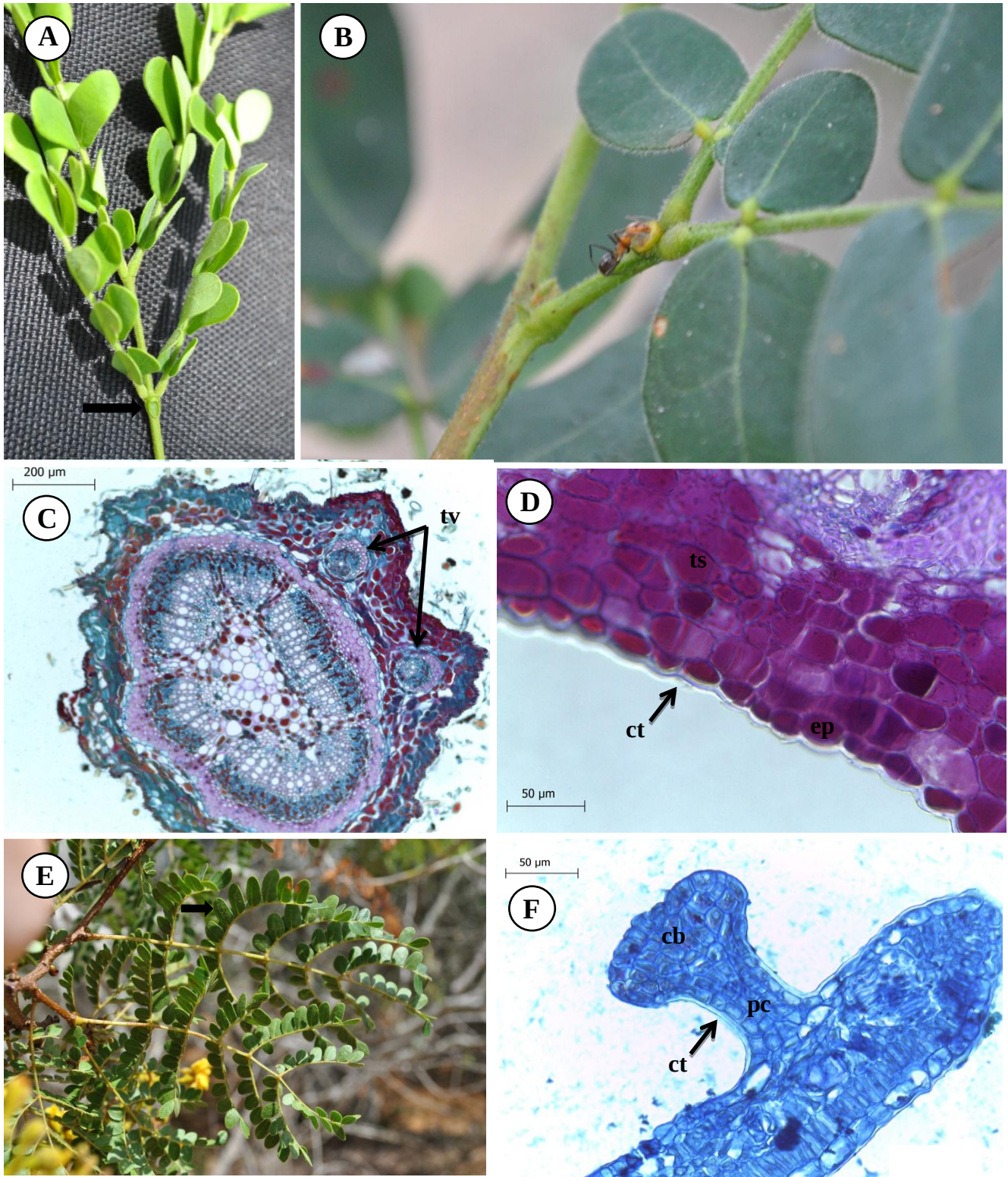
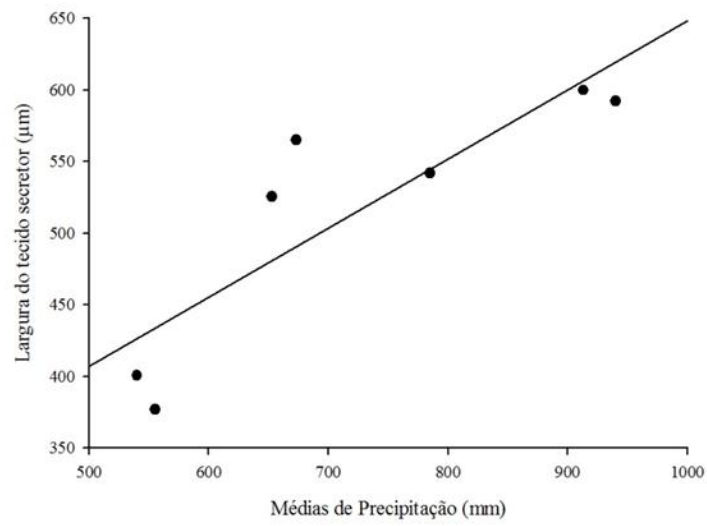
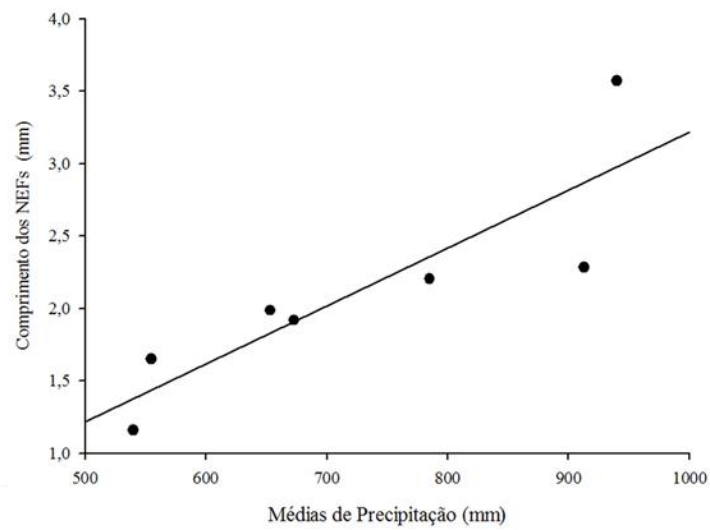


Fig. 3

a)



b)



c)

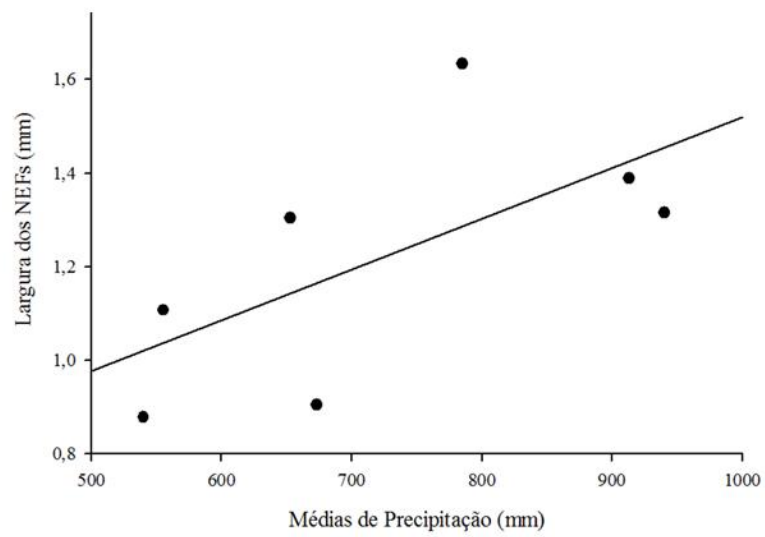


Fig. 4

ANEXOS

Oecologia – Manuscript Guidelines

Manuscript preparation

- The length of articles should not exceed 10 printed pages (equivalent to approximately 35 submitted pages) including all references, tables, figures, and figure legends. Views and Comments submissions must be limited to 3 to 5 printed pages. One printed page corresponds to approximately 3 submitted pages, 850 words text, or 3 illustrations with their legends, or 55 references. There will be a charge of 100 €, plus 19% VAT, for each page exceeding this limit. Editors typically return manuscripts prior to review that are likely to exceed the page limit.
- Manuscripts must be written in English and double-spaced throughout (including references) with at least 2.5 cm (1 inch) margins. Please write in the active voice using the past tense only for methods and results sections.
- Page numbers are optional but should not be included on tables and figures. Pages in Electronic Supplementary Material (ESM) should be numbered separately.
- Line numbers are required and should run consecutively throughout the text, from the abstract through the figure legends. Do not number lines in tables, figures or ESM.
- Use a normal, plain font (e.g. Times New Roman) for text. Genus and species names should be in italics. The common names of organisms should not be capitalized
- Abbreviations should only be used for terms repeated at least 3 times. Abbreviations should be defined at first mention in the abstract and again in the main body of the text and used consistently thereafter.
- Format dates as day-month-year with months abbreviated: e.g., 01-Jan-2008
- Use the equation editor of a word processing program or MathType for equations. (Note: If you use Word 2007, do not create equations with the default equation editor but use the Microsoft equation editor or MathType instead.) Symbols for parameters should be *italicized*.

- Report values in equations, tables, figures and statistics with the number of digits that matches the precision of the data.
- Please always use Unicode (<http://www.unicode.org>) font for non-Roman characters. Use internationally accepted signs and symbols following the Standard International System of Units (SI, <http://physics.nist.gov/cuu/Units/units.html>) throughout the manuscript (in the text, tables and figures). Avoid complex units wherever possible (e.g. use “no. m⁻²” instead of “no. per 16 m²”). Units should use exponent notation and avoid multiplication and division symbols (e.g., “*”, “/”, “x”): i.e., “no. m⁻²” and not “no./m²”).
- Footnotes should not be used, except on the title page or in Tables.
- For indents, use tab stops or other commands, not the space bar.

Manuscript contents (in order)

- **Title page** The title should be concise and informative and less than 200 characters. Short titles (< 15 words) are best and are more often cited. The concept, problem or hypothesis to be tested should be clear from the title. The use of full taxonomic names in the title is discouraged; no taxonomic authorities should appear in titles. On the title page, include name(s) of author(s), the affiliation(s) of the author(s), and the e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author. A [declaration of authorship](#) is required to be included as a footnote on the title page.
- **Abstract** The abstract should include the following elements: introduction, hypothesis/objective, methods, results, conclusions and significance. It should not exceed 250 words in length. Each component should be restricted in length to 1-3 sentences. Allocate the greatest number of words to the results (~ 3 sentences) and less to each of the other sections (~1 sentence each). Include key quantitative data in the results. Do not repeat the title in the first sentence and avoid phrases such as ‘is discussed’ and ‘needs further research’. Write for a general audience; avoid jargon, undefined abbreviations and literature references.
- **Key words** Five key words should be supplied, indicating the scope of the paper and not repeating terms already used in the title. Each keyword should not contain more than two compound words, preferably only one.
- **Introduction**

- **Materials and methods** Some submissions, such as reviews, may depart from the typical format of Methods-Results-Discussion.
- **Results** Avoid “Results are shown in Figure 3”. Instead, say for example, “Biodiversity declined with the addition of nitrogen (Fig. 3).” Be specific: e.g., “positively correlated” instead of “correlated”. Refer to magnitudes of effects (e.g. give effect sizes and confidence intervals) rather than just *P*-values.
- **Discussion**
- **Acknowledgements** Please keep this section as short as possible. Acknowledgements of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full. Compliance with ethical standards may be stated in the cover letter rather than the acknowledgements section.
- **References** Literature citations in the text should be ordered chronologically and indicate the author's surname with the year of publication in parentheses, e.g. Carlin (1992); Brooks and Carlin (1992). If there are more than two authors, only the first author should be named, followed by "et al." For example, “Carlin (1992), Brooks and Carlin (2004, 2005), Jones et al. (2007) demonstrated...” OR “... well studied (Carlin 1992; Brooks and Carlin 2004, 2005; Jones et al. 2007)”. References at the end of the paper should be listed in alphabetical order by the first author's name. If there is more than one work by the same author or team of authors in the same year, a, b, etc. is added to the year both in the text and in the list of references. References should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Alphabetize the list of references by the last names of the first author of each work. If available, the Digital Object Identifier (DOI) of the cited literature should be added at the end of each reference. Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations (www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php). Reference examples:

Journal papers: name(s) and initial(s) of all authors; year; full title; journal title abbreviated in accordance with international practice; volume number; first and last page numbers

Savidge WB, Blair NE (2004) Patterns of intramolecular carbon isotopic heterogeneity within amino acids of autotrophs and heterotrophs. *Oecologia* 139:178-189 doi: 10.1007/s00442-004-1500-z

Chapter in a book: name(s) and initial(s) of all authors; year; title of article; editor(s); title of book; edition; volume number; publisher; place of publication; page numbers

Hobson KA (2003) Making migratory connections with stable isotopes. In: Berthold P, Gwinner E, Sonnenschein E (eds) Avian migration. Springer, Berlin, pp 379-391

Book: name and initial(s) of all authors; year; title; edition; publisher; place of publication

Körner C (2003) Alpine plant life, 2nd edn. Springer, Berlin

Theses: name and initial(s) of author; year; type (e.g., “Master thesis” or “PhD dissertation”); department; institution; place of publication.

Wilson JA (2004) Habitat quality, competition and recruitment processes in two marine gobies. PhD dissertation, Department of Zoology, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

- **Tables** Each table should be submitted on a separate page, with the title (heading) above the table. Tables should be understandable without reference to the manuscript text. Restrict your use of tables to essential material. All tables must be cited in the manuscript text and numbered consecutively with Arabic numerals. Provide dimensions or units for all numbers. Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table heading. Tables will be printed with horizontal separation lines only (one below the table’s header, one below the column headers, and one at the end of the table); no vertical lines will be printed. Use tab stops to align columns and center numbers around decimals when appropriate. Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). The number of decimals presented should be sensible and match the precision of the data. Acceptable file formats for tables include Microsoft Word (.doc), Rich Text Format (.rtf) and Excel (.xls).
- **Figure legends** All figure legends (captions) should be assembled onto a separate page(s) preceding the figures. Each caption should be brief but sufficient to explain the figure without reference to the text. All figures must be cited in the manuscript text and numbered consecutively with Arabic numerals. Please [click here](#) for journal-specific instructions and examples.

- **Figures** Each figure should appear on a separate page, with its figure number but without the figure legend. Figure preparation is critical. Please [click here](#) for journal-specific instructions and examples.
- **Electronic Supplemental Material (ESM)** ESM are on-line appendices and may consist of information that is more convenient in electronic form (e.g. sequences, spectral data); large quantities of original data that relate to the manuscript (e.g. maps, additional tables and illustrations); and any information that cannot be printed (animations, video clips, sound recordings). Submit your material in PDF format; .doc or

.ppt files are not suitable for long-term viability. Figures embedded within the ESM text are fine. If spreadsheets are to be interactive, they should be submitted as .xls files (Microsoft Excel), otherwise submit as PDF. Always use MPEG-1 (.mpg) format for audio, video and animation. It is possible to submit multiple files in a .zip or .gz file. Name the ESM files consecutively, e.g. "ESM3.mpg". ESM must be numbered and referred to as "Online Resource". The manuscript text must make specific mention of the ESM material as a citation, similar to that of figures and tables, e.g., ". . . as shown in the animation (Online Resource 3)". ESM is not subject to copyediting and will be published as received from the author. Authors should format the ESM material exactly as they want it to appear; manuscript title, authors, and contact information for the corresponding authors should be included. Do not include line numbers. ESM will be available in color at no additional charge. Reference to ESM will be included in the printed version.

After acceptance

- **Proofs of accepted manuscripts** The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Authors of manuscripts accepted for publication are informed by e-mail that a temporary URL has been created from which they can obtain their proofs. Proofreading is the responsibility of the author. Authors should make their proof corrections (formal corrections only) on a printout of the pdf file supplied, checking that the text is complete and that all figures and tables are included. Substantial changes in content (e.g. new results, corrected values, title and authorship) are not allowed without the approval of the responsible editor. In such a case please contact the Editorial Office that handled the review before returning the proofs to the publisher. After online publication, corrections can only be made in exceptional cases and in the form of an Erratum which will be hyperlinked to the paper. ESM will not be included in proofs (because ESM is not copy edited and will be made available exactly as it was provided by the authors).
- **Copyright Transfer Statement** If a manuscript is accepted after review the "Copyright Transfer Statement" must be signed and returned to the publisher

prior to publication. Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws. See Springer's "[Instructions for Authors](#)" for more information.

- **Online First** Accepted papers will be published online about one week after receipt of the corrected proofs. Papers published online can be cited by their DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.
- **Reprints** Twenty-five reprints (offprints) of each contribution are supplied free of charge. If you wish to order additional offprints you must return the order form which is provided with the proofs and return it together with the corrected proofs.
- **Springer Open Choice** In addition to our traditional publication process, Springer also provides an alternative open-access publishing option: *Springer Open Choice*. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular article, and in addition is made freely available through Springer's online platform SpringerLink. To publish via Springer Open Choice, complete the relevant order form and provide the required payment information. Payment must be received in full before free access publication. Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author [Springer Open Choice](#)

Once a paper has been accepted for publication in *Oecologia*, authors are invited to send photographs that highlight their work and might be appropriate to be featured on the cover of *Oecologia*. High resolution digital images of the photographs should be sent electronically to Carlos Ballare (ballare@ifeva.edu.ar), the Editor-in-Chief in charge of choosing *Oecologia* cover photos. Please include a full listing of the photographer who produced the image, including their institution or company and their e-mail address.