



Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – CCBS

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação – PPGBC

Biologia da polinização e biologia reprodutiva de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa*: plantas exóticas presentes em áreas de dunas costeiras na Ilha do Maranhão, Brasil

Ingrid do Bom Parto Araújo Santana

São Luís/MA
2018

INGRID DO BOM PARTO ARAÚJO SANTANA

Biologia da polinização e biologia reprodutiva de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa*: plantas exóticas presentes em áreas de dunas costeiras na Ilha do Maranhão, Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências do Programa para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Maia Correia de Albuquerque
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Bezerra de Almeida Jr.

São Luís/MA
2018

INGRID DO BOM PARTO ARAÚJO SANTANA

Biologia da polinização e biologia reprodutiva de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa*: plantas exóticas presentes em áreas de dunas costeiras na Ilha do Maranhão, Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências do Programa para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Aprovada em: 29 / 08 / 2018
BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Patrícia Maia Correia de Albuquerque (Orientadora)

Prof. Dr. Eduardo Bezerra de Almeida Jr. (Coorientador)

Prof^a. Dr^a. Márcia Motta Maués (1º Examinador)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Prof^a. Dr^a. Márcia Maria Côrrea Rêgo (2º Examinador)
Universidade Federal do Maranhão

Santana, Ingrid do Bom Parto Araújo

Biologia da polinização e biologia reprodutiva de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa*: plantas exóticas presentes em áreas de dunas costeiras na Ilha do Maranhão, Brasil / Ingrid do Bom Parto Araújo Santana – São Luís: MA, 2018

f.:il

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Maia Correia de Albuquerque

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, 2018.

Dedico todo este trabalho e meus esforços a Deus e ao seu infinito amor, cuidado e paciência comigo. Sem Ele nada disso teria sido possível.

Dedico, também, a minha família que foram minha força, apoio, motivação e conforto em todos os momentos dessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, meu Senhor, meu Dono, meu Paizinho Amado e Redentor. Obrigada por tudo que faz e por todo o apoio e presença constante em toda esta pesquisa. Sua presença foi real e senti que estavas me guiando e direcionando tudo desde o princípio (desde a seleção para o mestrado). Não tenho palavras para Lhe agradecer, mas posso dizer que meu coração é só GRATIDÃO por tudo que fez, faz e ainda fará. Obrigada meu Deus Amado. Que meu amor por Ti só cresça.

Agradeço aos meus amados pais, Albertina Araújo Santana e José Domingos Santana, meus amores maiores neste mundo. Sou grata por todo apoio, companheirismo, dedicação a toda minha formação pessoal, moral e acadêmica, grande parte do que sou devo a vocês. Obrigada mãe por todas as vezes que acordava cedo para fazer o café, certificando-se que eu seria bem alimentada antes de sair; obrigada por nunca se opor em me ajudar, mesmo que não entendesse o que estava fazendo; obrigada por sempre me olhar nos olhos e sentir o que eu estava sentindo; enfim, obrigada por seu grande amor sem limites e sem medidas. Obrigada pai, por ser esse “engenheiro biólogo” que sempre se colocou à disposição para me ajudar e muitas vezes foi para Panaquatira comigo, como companheiro e segurança; obrigada por sua motivação constante, amor e carinho imenso por mim; obrigada por sempre gostar das comidas que faço, mesmo quando elas não são boas; obrigada por ver sempre o melhor de mim. Agradeço a vocês pais amados, por sempre acreditarem em mim, isso foi primordial, principalmente nos momentos em que nem eu mesma acreditava em mim. Amo vocês.

Agradeço ao meu amado e querido irmão Clayton Araújo Santana, você foi e é um presente de Deus para nós (nossa família). Você me ama com um simples olhar e me ensinou mais do que pode imaginar sem palavra alguma, somente com a sua existência. Obrigada por existir, ainda mais, obrigada por existir na minha vida e por ser meu irmão. Te amo.

Agradeço ao meu namorado Robert Machado Gomes pelo incentivo durante o processo de conclusão e construção da pesquisa. Seu carinho, apoio, paciência e cuidado foram fundamentais para a elaboração deste manuscrito. Muito obrigada.

Agradeço à minha orientadora Patrícia Albuquerque. Obrigada por aceitar o desafio de orientar uma pessoa que mal conhecia e por confiar em mim. Agradeço a senhora e também a sua mãe por me emprestarem e confiarem a mim a casa em Panaquatira para o andamento da pesquisa. Obrigada pela paciência em me ensinar muito sobre as abelhas, por sentar ao meu lado e me ensinar cada parte do corpo da abelha para que eu pudesse aprender a usar as chaves de identificação. Desse modo, aprendi bem mais do que com a pesquisa que fiz, aprendi a olhar esses insetos de forma diferente e a gostar de estudá-los também, muito grata por isso. Obrigada pela parceria e por todos os ensinamentos durante esses dois anos, os levarei sempre comigo.

Agradeço ao meu orientador Eduardo Bezerra de Almeida Jr. por toda a parceria e amizade. O senhor foi bem mais que um orientador, foi um amigo e muitas vezes até um pai, apesar de não ter idade para isso (risos). Obrigada por todos os ensinamentos (e foram muitos) e por me fazer ver a vida acadêmica de um outro ponto de vista. Obrigada por confiar em mim, mesmo em momentos em que eu já tinha perdido a fé em mim mesma, isso foi importante para me motivar a prosseguir. Obrigada por todos os conselhos, por

todas as conversas (sempre ajudavam a me desbloquear), por sempre estar disposto a me escutar e entender. Agradeço pela paciência, respeito e carinho que sempre teve por mim. Enfim não tenho palavras para lhe agradecer por tudo, meu coração é só gratidão, não só pela oportunidade que me deu em ser sua orientanda, mas em ser sua amiga. Ao mestre com carinho, meu muito obrigada.

Agradeço aos meus amigos de turma (2016) Ana Cássia, Gustavo, Luciana, Muryllo, Susane, Keila, Yure, Jardeane, Francisco, Leandro, Nathália, Beldo e Carlos, vivemos e aprendemos muitas coisas juntos, assim como também dividimos muitos momentos de preocupação e tensão, mas sempre partilhando apoio e motivação mútua. Obrigada pela parceria durante essa caminhada.

Agradeço aos meus amigos do Laboratório de Estudos Botânicos (LEB) pela amizade, pelo companheirismo, pela ajuda do decorrer da pesquisa e por tudo que aprendemos juntos. Obrigada Aline, Ana Cássia, Ariade, Aryana, Brenda, Bruna, Camila, Catherine, Flávia, Gabriela Amorim, Gustavo, Hynder, Ingrid Amorim, Jailson, Jéssica, Kauê, Luana, Luann, Luciana, Luciano, Maira, Mariana, Marina, Marlla, Michelle, Monielle e Stella.

Agradeço ao Laboratório de Estudos sobre Abelhas (LEA) por todo o suporte técnico e material para a realização da pesquisa. Agradeço também aos meus amigos de laboratório pela amizade, receptividade, concelhos e por toda a paciência em me ensinar muita coisa sobre as abelhas e sobre outros polinizadores. Obrigada Albeane, Carlos, Denilson, Edilene, Joana, Harryson, Luana, Luciano Chaves, Maira, Maria Antônia, Nelisnelson, Rafael, Remy e Robert.

Agradeço de maneira muito especial a todos que me ajudaram com as coletas de dados do mestrado. Obrigado Ana Cassia, Aryana, Bruno, Camila, Carlos, Catherine, Débora, Edilene, Fernando, Gustavo, Hander, Harryson, Ingrid Amorim, Joana, Luciana, Luciano Chaves, Luciano Mamede, Maira, Marina, Marla, Salomão, Rafael, Remy e Robert. Com vocês aprendi que uma pesquisa só é plenamente realizada em conjunto e que sempre precisamos uns dos outros. Obrigada não só por me ajudarem com as coletas e com o trajeto, mas por serem meus apoios e conselheiros nas horas de dificuldade. Obrigada por me incentivarem e me fazerem acreditar em mim mesma e no trabalho que estávamos fazendo. Obrigada pelo consolo e ombro amigo nas horas de dificuldade e por se alegrarem comigo nas horas de alegria. Enfim, obrigada por dedicarem seu tempo para me ajudar a realizar esta pesquisa, pois o tempo é nosso bem mais precioso e me sinto lisonjeada por terem dedicado parte do tempo de suas vidas para este trabalho. A vocês minha gratidão dedico.

Agradeço aos alunos de graduação e mestrado Alana, Elias, Gabriela Almeida, Joana, Lucas, Luciano Chaves, Thayrine e Prof^a Dr^a Mírian Nunes Morales pela ajuda com a identificação dos visitantes florais coletados nesta pesquisa. A colaboração de vocês foi essencial e sou muito grata por terem aceitado trocar seus conhecimentos comigo e pela disposição em ajudar com este estudo. A todos o meu muito obrigada.

Agradeço a seu Evaldo, supervisor técnico da garagem da UFMA, pela disponibilização do meio de transporte para irmos para a área de coleta. Sou muito grata por não medir esforços para nos ajudar na realização dessa pesquisa. Obrigada também pelos conselhos, pela amizade e parceria desenvolvida durante esses dois anos. Agradeço também a todos

os motoristas da UFMA que sempre eram corteses e educados, e sempre se preocuparam em fazer o melhor para nos ajudar e nos atender, em especial agradeço a Adilson e Denys que com frequência nos levavam para área de coleta. A todos o meu muito obrigada, saibam que vocês foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa, assim como de muitas outras que desempenhamos no Laboratório de Estudos Botânicos.

Agradeço ao Seu José de Ribamar e a Dona Cleusa (tios da minha amiga Ingrid Amorim) que nos acolheram por duas vezes em sua casa em Panaquatira para que pudemos realizar a pesquisa. Aos senhores agradeço a hospitalidade, carinho, cuidado e atenção conosco. E agradeço também a minha amiga Ingrid Amorim, por fazer essa ponte entre nós e por alguns momentos nos emprestar seus tios para serem nossos tios também. A todos meu muito obrigada.

Agradeço a Seu Sebastião, pai do caseiro da casa da professora Patrícia, que nos concedeu água para banho e para outras atividades, pois no último mês de coleta, na casa onde ficávamos em Panaquatira faltou água e o Seu Sebastião nos fez essa grande gentileza. Ao senhor meu muito obrigada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBC) pela execução desse mestrado e por possibilitar excelentes professores que contribuíram grandemente para nossa formação acadêmica e profissional.

Agradeço a Ana Lúcia, secretária do PPGBC, pela disponibilidade, atenção e cortesia com a qual sempre nos tratava quando íamos pedir ajudar para algum assunto do mestrado.

Agradeço a Prof^a Dr^a Alana das Chagas Ferreira Aguiar, coordenadora do PPGBC, pela disponibilidade em nos ajudar sempre que lhe solicitamos e por buscar fazer o melhor pelo mestrado.

À FAPEMA pelo incentivo desta pesquisa por meio da concessão da bolsa de mestrado, desse modo possibilitando a execução desta pesquisa.

RESUMO

As espécies exóticas e invasoras estão entre as maiores ameaças à biodiversidade mundial. No Brasil, essas introduções estão relacionadas a atividades humanas, principalmente aos processos de degradação ambiental. Além desse aspecto, as espécies exóticas podem apresentar mecanismos que facilitam o seu estabelecimento no meio, tais como a reprodução sexual (polinização e produção de frutos) que tem grande relevância para a dispersão das mesmas pelo ambiente invadido. Desse modo, este trabalho teve como objetivo identificar as síndromes e as guildas dos visitantes florais de duas espécies de plantas exóticas presentes nas dunas, analisando os métodos de polinização mais eficientes. O estudo foi realizado em duas populações das plantas exóticas *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* que se encontram nas dunas da Praia de Panaquatira, localizada no município de São José de Ribamar, Maranhão, Brasil. Foram realizadas coletas mensais, das 6h às 18h, de todos os insetos visitantes florais encontrados em ambas as espécies de plantas exóticas, estes foram identificados e incorporados à Coleção do Laboratório de Estudos sobre Abelhas (LEACOL/UFMA). Ao todo foram coletados 537 indivíduos, 32 espécies e 34 morfoespécies de quatro ordens. Os grupos de visitantes florais mais frequentes em *C. urens* foram borboletas (213 indivíduos) e esfingídeos (136 indivíduos), enquanto em *C. retusa* o grupo frequente e dominante foram as abelhas (24 indivíduos). Como polinizador efetivo de *Cnidoscolus urens* foi identificado o díptero *Palpada vinetorum* e como polinizador potencial uma espécie de coleoptera da subfamília Bruchinae (Chrysomelidae), enquanto que para *Crotalaria retusa* o polinizador efetivo foi a abelha *Xylocopa frontalis*. As duas espécies botânicas se mostraram autocompatíveis e demonstraram que a polinização natural, em ambas, foi mais eficiente do que a autopolinização espontânea. Quanto a ocorrência das fenofases reprodutivas, *C. urens* apresentou todas as suas fases relacionadas positivamente com o período chuvoso. Enquanto *C. retusa* apresentou apenas as fenofases de botões florais e frutos verdes associados com esse período, isso possivelmente pode estar relacionado com a predação das flores e dos frutos desta planta por larvas de *Utetheisa* sp. (Lepidoptera). Ambas as plantas apresentam estratégias de reprodução que lhes confere vantagens na área invadida, frente a isso pode inferir que *C. urens* e *C. retusa* tem conseguido uma boa adaptação nesse ecossistema de dunas costeiras, sendo este um fato preocupante para a conservação das espécies nativas, pois a longo prazo estas plantas exóticas podem sobrepor ou ocupar o nicho das plantas nativas.

ABSTRACT

Exotic and invasive species are among the greatest threats to global biodiversity. In Brazil, these introductions are related to human activities, mainly to environmental degradation processes. In addition to this aspect, exotic species can present mechanisms that facilitate their establishment in the environment, such as sexual reproduction (pollination and fruit production) that has great relevance for the dispersion of the same by the invaded environment. The objective of this work was to identify the syndromes and guilds of floral visitors of two species of exotic plants present in the dunes, analyzing the most efficient pollination methods. The study was carried out in two populations of the exotic plants *Cnidoscolus urens* and *Crotalaria retusa* that are found in the dunes of Praia de Panaquatira, located in the municipality of São José de Ribamar, Maranhão, Brazil. Monthly collections, from 6am to 6pm, of all the floral visiting insects found in both species of exotic plants, were identified and incorporated into the Coleção do Laboratório de Estudos sobre Abelhas (LEACOL / UFMA). In total, 537 individuals, 32 species and 34 morphospecies were collected from four orders. The most frequent flower visitor groups in *C. urens* were butterflies (213 individuals) and sphingids (136 individuals), whereas in *C. reusa* the frequent and dominant group were bees (24 individuals). As an effective pollinator of *Cnidoscolus urens*, the Diptera *Palpada vinetorum* was identified and as a potential pollinator a Coleoptera species of the subfamily Bruchinae (Chrysomelidae), while for *Crotalaria retusa* the effective pollinator was the *Xylocopa frontalis* bee. The two botanical species showed to be self-compatible and demonstrated that natural pollination in both was more efficient than spontaneous self-pollination. As for the occurrence of reproductive phenophases, *C. urens* presented all its phases positively related to the rainy season. While *C. retusa* presented only the floral and floral bud phenophases associated with this period, this may possibly be related to the predation of flowers and fruits of this plant by larvae of *Utetheisa* sp. (Lepidoptera). Both plants present strategies of reproduction that confers them advantages in the invaded area, in front of this can infer that *C. urens* and *C. retusa* has managed a good adaptation in this ecosystem of coastal dunes, being this a worrying fact for the conservation of the native species, because in the long run these exotic plants may overlap or occupy the niche of native plants.

Sumário

CAPÍTULO I.....	11
1.1 Introdução	12
1.2 Revisão Bibliográfica	14
1.2.1 Espécies de plantas exóticas e a invasão biológica	14
1.2.2 Susceptibilidade do ambiente a invasão biológica	14
1.2.3 Plantas exóticas em ambientes de dunas	16
1.2.4 Interação planta exótica-polinizador	18
1.3 Objetivo geral	20
1.4 Objetivos específicos	20
Referências.....	21
CAPÍTULO II.....	25
Resumo	28
Introdução	28
Materiais e Métodos.....	30
Área de estudo	30
Seleção e descrição das plantas exóticas	30
Coleta dos dados (<i>Visitantes Florais, Síndromes Florais e Registro das Fenofases</i>)	32
Tratamentos para Polinização	32
Análise dos Dados	33
Resultados	34
Visitantes florais	34
Tratamentos para Polinização	36
Registro das Fenofases	37
Discussão	38
Agradecimentos	43
Referências.....	43
DADOS SUPLEMENTARES.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
ANEXO	55

CAPÍTULO I

1.1 Introdução

Na literatura científica existem muitos termos para se referir às espécies exóticas, tais como: alienígena, não nativa, não indígena e alóctone, porém todos estes, de acordo com Moro et al. (2012), são considerados sinônimos pelo fato de apresentarem conceitos muito similares.

Por este motivo, os termos espécie exótica e espécie invasora vem gerando grande discordância na comunidade científica, pois em alguns casos são considerados sinônimos e outras vezes não. Parte dessa confusão deve-se ao fato de que ambos os termos, de certa forma, sobrepõem-se (KUNTSCHIK, 2006; VALÉRY et al., 2008).

No entanto, para este trabalho será usada a definição proposta por CDB (1992) e Fuller et al. (1999) que consideram espécies exóticas àquelas que são introduzidas (natural ou acidentalmente) fora de sua área de distribuição natural e possuem a capacidade de se dispersarem para ecossistemas diferentes do seu original. Para espécies invasoras será ponderado o conceito proposto por Pyšek et al. (2004) que afirmam serem estas as espécies que, além de estarem fora de sua área natural de distribuição, conseguem se estabilizar nesse novo ambiente e mantêm uma população viável e autônoma, conseguindo se dispersar para longe do local da sua introdução de modo a se estabelecer de forma abundante no novo habitat.

Além disso, as espécies invasoras têm como característica fundamental a capacidade de gerar grande pressão sobre as espécies nativas, podendo interferir – positiva ou negativamente – no ambiente em que se instalam (DAVIS; THOMPSON, 2000). Esse fenômeno recebe o nome de invasão biológica (também conhecida como contaminação biológica) que é o processo de introdução, estabelecimento e dispersão de uma espécie para um novo ambiente, diferente do seu ecossistema de origem, causando efeitos negativos à biota nativa (MACK, 1996; VERMEIJ, 1996; ZILLER, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2003).

Mundialmente, a invasão biológica tem gerado muitos problemas econômicos e ecológicos, estando entre as principais causas de extinção de espécies nos últimos séculos (MARCHANTE et al., 2014). Esses dados são muito preocupantes, mas a maioria dos países ainda não manifestou interesse para esse enorme e alarmante problema (ZILLER; GALVÃO, 2003). No Brasil, existem muitas espécies exóticas que se tornaram invasoras e estão constantemente sendo relacionadas com sérios problemas ambientais (ZILLER, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2003; LEÃO et al., 2011).

Em se tratando de invasões por plantas, existem muitos fatores que tornam o ambiente mais suscetível à invasão, dentre os quais, destaca-se a antropização, considerada um dos mais graves pelo fato de levar o ambiente a degradação devido a constantes impactos (CASTILLO; MORENO-CASASOLA, 1996).

Dentre os ambientes que comumente vem sofrendo impactos, principalmente relacionados às atividades humanas, destacam-se as dunas costeiras (VIANA; KLEINERT, 2005). As dunas consistem de depósitos arenosos que se originaram na época holocênica do período Quaternário, há aproximadamente 30.000 anos (dunas altas de areia branca) e 10.000 anos (dunas de areia amarela), e ambas resultaram da ação dos ventos que sopraram as partículas de areia a partir da costa litorânea (BRITTO; NOBLICK, 1984).

Os ecossistemas dunares apresentam grande fragilidade, devido à redução e/ou destruição da sua cobertura vegetal e a remoção de areia desses locais (VIANA; KLEINERT, 2005). Além da fragilidade dos ambientes para a introdução das plantas exóticas, a capacidade invasora das mesmas é outro fator que confere vantagem no processo de invasão biológica. Esta capacidade é definida como um conjunto de características que potencializam o sucesso no estabelecimento, dispersão e persistência no novo ambiente (ZILLER, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2002). A polinização é uma dessas características e pode conferir às espécies exóticas benefícios em relação às nativas, acarretando desequilíbrios no ecossistema invadido (PITELLI, 2007).

Neste contexto, saber qual a contribuição relativa da reprodução sexual, (polinização e produção de frutos) para a dispersão e o estabelecimento das plantas exóticas é de crucial importância para criar estratégias de controle eficientes (ALBERT et al., 2015). Desse modo e em virtude de ainda serem poucos os estudos realizados em áreas de dunas com o intuito de quantificar os eventos de invasão biológica (CARBONI; SANTORO; ACOSTA, 2010), este trabalho se propõe em contribuir para a compreensão dos fatores que favorecem o sucesso desses processos. Podendo servir, futuramente, como subsídio para estabelecer possíveis formas para manejo e controle destas espécies exóticas.

1.2 Revisão Bibliográfica

1.2.1 Espécies de plantas exóticas e a invasão biológica

Para ser categorizada como invasora, a espécie exótica passa antes pelo processo de naturalização, no qual consegue se reproduzir de forma consistente no local onde foi introduzida, de modo a se estabelecer formando uma população “auto-perpetuante” e sem a necessidade da intervenção humana direta, passando a ser denominada de espécie naturalizada (RICHARDSON et al., 2000; ZILLER, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2002).

Diante disso, para que a naturalização da espécie seja possível é necessário a ocorrência de alguns fatores, tais como: mudanças fisiológicas da espécie exótica para se adequar ao clima do novo ecossistema no qual se instalou, assim como também características biológicas (tipo e taxa de reprodução), ecológicas (ausência de predadores e competidores naturais) e da susceptibilidade do ambiente à invasão por novas espécies, podendo essa última está atrelada às intervenções que este ambiente sofreu (por exemplo, degradação ambiental) (LONSDALE, 1999; RICHARDSON et al., 2000).

É interessante ressaltar que o processo de naturalização pode ser apenas um degrau para uma espécie se tornar invasora. Porém, muitas espécies naturalizadas podem nunca se dispersar para longe do local de sua introdução, jamais chegando a categoria de invasoras (RICHARDSON et al., 2000). A diferença entre espécie naturalizada e espécie invasora é que a última tende a ocupar o espaço das espécies nativas (ou indígenas) produzindo alterações, muitas vezes negativas, nos processos ecológicos no novo ambiente (VERMEIJ, 1996; ZILLER, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2002).

Desse modo, de acordo Richardson et al. (2000) e Sakai et al. (2001), para que uma espécie chegue a categoria de invasora é preciso primeiramente superar as barreiras geográficas e ambientais sendo introduzida, acidental ou naturalmente, no novo ecossistema (espécie exótica), depois naturalizar-se no ambiente (espécie naturalizada), e por fim superar as barreiras reprodutivas e dispersa-se pela nova área (espécie invasora).

1.2.2 Susceptibilidade do ambiente a invasão biológica

De acordo com Lonsdale (1999) a invasão biológica pode ser analisada de duas formas: considerando as características individuais do ambiente e do invasor, sendo que no primeiro caso são estudados os fatores do ambiente que conferem vantagem ou

mesmo dificultam o processo de invasão biológica, enquanto que no segundo caso, são as espécies ou populações de invasores que são estudadas.

Do ponto de vista ambiental, o fato das espécies exóticas passarem à condição de espécies invasoras no ecossistema em que se instalaram, mostra a fragilidade dessa comunidade biológica ao processo de invasão. No entanto, esse fator também depende da capacidade invasora de cada espécie que é representada por inúmeros fatores que favorecem o estabelecimento, dispersão e persistência da espécie na comunidade invadida (ZILLER, 2000; ZILLER; GALVÃO, 2002).

É importante considerar, em relação a uma comunidade de plantas, que o aumento no número de recursos não utilizados pelas plantas nativas, confere uma maior susceptibilidade à invasão por plantas exóticas. Isso mostra que as comunidades mais susceptíveis à invasão são as que possuem características na disponibilidade dos recursos que variam no tempo e no espaço (DAVIS; GRIME; THOMPSON, 2000).

O fato de alguns recursos não serem aproveitados dentro da comunidade biológica sugere a apresentação do termo conhecido como “nicho vago”. Este termo refere-se a um nicho que não se encontra ocupado pelas espécies nativas de uma determinada comunidade e dessa forma pode estar suscetível a ser ocupado (invadido) por espécies exóticas (SHEA; CHESSON, 2002), este processo possibilita com que estas espécies se tornem abundantes e ocupem, de forma rápida, a área invadida (VAN KLEUNEN; DAWSON; MAUREL, 2015).

O nicho vago representa a suscetibilidade do ambiente, mas as espécies de plantas exóticas também podem apresentar características que as favoreçam no processo de invasão, tais como: possuir rápido desenvolvimento, apresentar habilidade de produzir sementes durante todo ciclo de vida e ter um ótimo desenvolvimento, assim como ter pouca ou nenhuma dependência de polinizadores específicos (VAN KLEUNEN; DAWSON; MAUREL, 2015). Todas essas características, associadas ao nicho vago, conferem um alto poder de invasão para essas plantas, favorecendo o seu estabelecimento na área invadida.

E neste contexto, pode-se inferir que, as espécies de plantas exóticas podem até possuir mecanismos e características que proporcionam o sucesso na invasão, porém, estes só serão viáveis se o ambiente também estiver suscetível, assim como também se o mesmo for semelhante ao habitat de origem destas espécies (PLUCÊNIO; SÁ DECHOUM; CASTELLANI, 2013).

Dentre os ambientes suscetíveis à invasão, os ecossistemas de floresta parecem ser os menos vulneráveis, uma vez que são raras as espécies exóticas que são adaptadas para viver na sombra. Além do que, dificilmente a teoria do nicho vago se aplica nessas áreas, pois as mesmas apresentam grande diversidade biológica, principalmente quando se trata de florestas tropicais e subtropicais. No entanto, comunidades vegetais de pequeno porte, abertas e com maior grau de perturbação ambiental, tais como formações herbáceo-arbustivas (por exemplo, as áreas de Dunas) são mais propensas à invasão que formações florestais (ZILLER, 2000).

1.2.3 Plantas exóticas em ambientes de dunas

Atualmente, a perda de biodiversidade está entre as maiores crises já documentada no planeta Terra. Previsões futuras, dessa perda, são alarmantes, principalmente para os países com alta diversidade. Já são 47 mil as espécies avaliadas quanto ao risco de extinção em escala global, destas, 36% correm riscos reais de desaparecerem caso as ameaças provocadas ao meio ambiente não sejam controladas. Com relação às plantas ameaçadas de extinção a problemática é ainda pior, pois de 12 mil espécies avaliadas, 70% estão ameaçadas (CDB, 2010).

Entre as principais causas para a perda da biodiversidade pode-se listar: conversão de habitats naturais em atividades humanas (avanço das fronteiras agrícolas); espécies invasoras; mudanças climáticas; super exploração; poluição etc. (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Depois da perda de habitats por degradação ambiental, as espécies invasoras são consideradas atualmente como a segunda maior ameaça à biodiversidade mundial (POORTER; ZILLER, 2004; LAMBERTINI et al., 2011; LUQUE et al., 2014; SIMBERLOFF, 2014).

Os distúrbios ambientais tem sido uma das grandes causas para a invasão biológica e os ecossistemas litorâneos sujeitos a estes eventos e a uma alta pressão de propágulos, tendem a abrigar também um grande número de espécies exóticas (DEL VECCHIO; PIZZO; BUFFA, 2015). Na Europa, as dunas costeiras já estão entre os principais habitats que mais sofrem invasão por espécies exóticas (CHYTRY et al., 2008). E em todo o mundo os ecossistemas costeiros têm sido considerados constantemente ameaçados pela invasão biológica (SANTORO et al., 2012).

Marchante; Freitas; Hoffmann (2010) em trabalho realizado nas dunas do Litoral de Portugal e Alberio; Comparatore (2014) em estudo desenvolvido nas dunas

costeiras de Buenos Aires (Argentina), verificaram o processo de invasão da espécie *Acacia longifolia* (Andrews) Willd., e comprovaram que a mesma vem provocando alterações estruturais na comunidade vegetal nativa de modo a diminuir a riqueza de espécies indígenas.

Em outra pesquisa realizada por Carboni; Santoro; Acosta (2010), na Costa Centro-Oeste da Itália (Roma), foi relatada a ocorrência da planta exótica *Carpobrotus* aff. *acinaciformis* L. Bolus que também vem contribuindo para a diminuição da riqueza de plantas nativas, pois apresenta altos valores de cobertura vegetal.

Além dos estudos acima mencionados, Muñoz-Vallés; Gallego-Fernández; Cambrollé (2014), pesquisando nas dunas costeiras localizadas ao Sudoeste da Espanha, relataram que os grandes índices de cobertura vegetal (80-100%) da espécie *Retama monosperma* (L.) Boiss. vem provocando mudanças no ambiente e na comunidade de plantas nativas.

No Brasil, os relatos da introdução de espécies vegetais exóticas invasoras estão relacionados a atividades humanas. Estas espécies, em muitos casos, podem ser inseridas no ambiente de forma natural ou acidental e uma vez sendo descoberto seu potencial econômico, passam a ser cultivadas e exploradas economicamente (ZENNI; ZILLER, 2011).

Entre as espécies que foram introduzidas intencionalmente em áreas de dunas no Brasil pode-se mencionar as espécies do gênero *Pinus*, que foram alocadas para estabilização de dunas costeiras e para o reflorestamento com fins econômicos (BECHARA, 2003). Algumas outras espécies foram introduzidas em ecossistemas dunares com fins ornamentais em outras partes do mundo, tais como as espécies dos gêneros *Agave* na Espanha (BADANO; PUGNAIRE, 2004), *Carpobrotus* na Califórnia (AU, 2000) e *Chrysanthemoides* na Austrália (WEISS; NOBLE, 1984).

Além destes acima supracitados, pode-se mencionar ainda para o Brasil o estudo realizado por Sanches et al. (2007) que relataram a ocorrência da amendoeira *Terminalia catappa* L. no Parque Estadual da Serra do Mar, Ubatuba (SP), mostrando que a mesma está se estabelecendo de forma gradativa no ambiente e pode causar ameaças a conservação do ecossistema natural, podendo ocupar a área das dunas.

Para o estado do Maranhão há apenas o trabalho de Santana e Figueiredo (dados não publicados) realizado nas praias de São Marcos e Araçagi (São Luís), que trabalharam com a espécie exótica invasora *Crotalaria retusa* L., encontrada amplamente

em áreas de dunas no estado do Maranhão. Neste trabalho os autores relatam o alto potencial invasor dessa espécie na área, o que pode estar impossibilitando a ocupação desse ambiente por plantas nativas. Além do trabalho acima citado, não existem outros trabalhos que listem ou analisem espécies exóticas e/ou espécies invasoras para áreas de dunas no Estado do Maranhão, assim como também para nenhum outro ecossistema do estado.

1.2.4 Interação planta exótica-polinizador

A reprodução é um estágio crucial para o processo de introdução e naturalização das espécies de plantas exóticas (MOODLEY et al., 2016). No entanto, a invasão biológica pode afetar, direta e indiretamente, as interações entre as espécies de plantas nativas e seus respectivos polinizadores (MORALES; TRAVESET, 2009). E apesar disso, a maioria dos trabalhos acerca de espécies invasoras concentram-se nos efeitos vegetativos diretos destas sobre a flora nativa (MITCHELL et al., 2009).

A polinização conceitualmente se refere a todos os processos ecológicos que interferem na reprodução de uma determinada espécie de planta, desde o processo de reprodução das flores até a fecundação dos óvulos (MURCIA, 2002). Sabendo-se da importância da polinização para as plantas exóticas, pode-se afirmar que uma espécie vegetal que de modo espontâneo se autopoliniza e seja autocompatível pode produzir sementes sem o auxílio de um polinizador (PROCTOR; YEO; LACK, 1996). Considerando, deste modo, a autopolinização (processo que ocorre quando há polinização na mesma flor ou em flores diferentes do mesmo indivíduo) como uma excelente estratégia para reprodução de espécies colonizadoras, principalmente de ambientes degradados (BROWN; BURDON, 1987).

Segundo Rodger; Van Kleunen; Johnson (2013) a autopolinização pode favorecer a invasão por plantas exóticas, pois, em parte, mitiga a limitação na oferta de pólen para as mesmas, favorecendo a autofecundação e a introdução dessas plantas em outros ambientes. Ou seja, a autopolinização pode vir a aumentar o potencial invasor destas espécies vegetais.

É interessante ressaltar que para uma planta exótica obter um bom sucesso reprodutivo, além de todas as características já citadas anteriormente, não deve possuir dependência de polinizadores específicos (VAN KLEUNEN; DAWSON; MAUREL,

2015). Uma vez que plantas que apresentem esse tipo de dependência são menos propensas a invadir novas áreas (BOSSARD; RANDALL; HOSHOVSKY, 2000).

De acordo com Anderson et al. (2015), mesmo as espécies exóticas que são dióicas, e precisam estritamente do auxílio de um polinizador para serem fecundadas, podem apresentar características próprias que aumentem o seu potencial de invasão, tais como grande produção de sementes.

Existem na literatura científica alguns trabalhos que estudaram como a invasão por espécies de plantas exóticas podem afetar diretamente as comunidades de plantas nativas. Entre estes, pode-se mencionar o estudo desenvolvido por Traveset et al. (2015), em algumas das ilhas de Galápagos, onde observaram que a introdução dessas plantas vem afetando a estrutura da rede de interação planta-polinizador no decorrer do tempo e do espaço. Uma vez que estas espécies vegetais influenciam no sucesso reprodutivo de algumas espécies nativas e afetam o funcionamento da comunidade biológica.

A contribuição de King; Sargent (2012) ratifica a argumentação acima citada, pois em seu experimento realizado com duas espécies de plantas a *Lythrum salicaria* L. (exótica) e a *Decodon verticillatus* L. Elliot (nativa) comprovaram que as plantas exóticas também podem vir a interferir na visita dos polinizadores para as plantas indígenas. Uma vez que nas áreas sem a presença de *L. salicaria*, o polinizador tinha preferência pela espécie *D. verticillatus*, porém nas áreas com a exótica essa preferência não era evidente. Os pesquisadores perceberam que em ambientes com invasão os movimentos intraespecíficos (a visita do polinizador a várias espécies de plantas) eram maiores em relação às áreas sem invasão. E o inverso ocorria com os movimentos interespecíficos (a visita do polinizador a vários indivíduos da mesma espécie).

A invasão também pode, em alguns casos, favorecer algumas plantas nativas, como relatado por McKinney; Goodell (2011), entre *Lonicera maackii* (Rupr.) Herder (arbusto exótico) e *Hydrophyllum macrophyllum* Nutt. (herbácea nativa), onde o florescimento da primeira favoreceu a segunda, uma vez que suas flores atraíram mais polinizadores, ajudando na polinização da espécie nativa aumentando a sua guilda de visitantes florais. Ao mesmo tempo, a presença de *L. maackii* levou a um decréscimo no número de visitantes florais para a espécie herbácea também nativa *Geranium maculatum* L. Isso ocorria em virtude das folhas de *L. maackii* fazerem sombra sobre a espécie *G. maculatum*.

1.3 Objetivo geral

Identificar as guildas dos visitantes florais e polinizadores das plantas exóticas *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* presentes nas dunas, assim como analisar os sistemas de polinização quanto a sua eficiência.

1.4 Objetivos específicos

- Inventariar os visitantes florais de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* nas dunas da praia de Panaquatira, São José de Ribamar, MA;
- Identificar quais os polinizadores efetivos de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* presentes nas dunas da praia de Panaquatira, São José de Ribamar, MA;
- Analisar o sistema reprodutivo de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa*;
- Descrever a biologia reprodutiva de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa*.

Referências

- ALBERIO, C.; COMPARATORE, V. Patterns of woody plant invasion in an Argentinean coastal grassland. **Acta Oecologica**, v. 54, p. 65–71, 2014.
- ALBERT, A. et al. Strategies for a successful plant invasion: the reproduction of *Phragmites australis* in north-eastern North America. **Journal of Ecology**, v. 103, n. 1529–1537, 2015.
- AU, L. *Carpobrotus edulis* in Coastal California Plant Communities. **Restoration and Reclamation Review**, v. 6, p. 1–7, 2000.
- BADANO, E.I.; PUGNAIRE, F.I. Invasion of Agave species (Agavaceae) in Southeast Spain: Invader Demographic Parameters and Impacts on Native Species. **Diversity and Distributions**, v. 10, p. 493–500, 2004.
- BECHARA, F.C. **Restauração ecológica de restingas contaminadas por *Pinus* no Parque Florestal do Rio Vermelho**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 136pp., 2003.
- BRITTO, I.C.; NOBLICK, L.R. A importância de preservar as dunas de Abaeté e Itapoã. In: LACERDA L.D., ARAÚJO, D.S.D., CERQUEIRA, R., TURCQ. B. (Orgs.), *Restingas: Origem, Estruturas, Processos*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, p. 269-273, 1984.
- BOSSARD, C. C.; RANDALL, J. M.; HOSHOVSKY, M. C. (Ed.). *Invasive plants of California's wildlands*. Univ of California Press, 2000.
- BROWN, A. H. D.; BURDON, J. J. Mating systems and colonizing success in plants. In: **Symposium of the British Ecological Society**, 1987.
- CARBONI, M.; SANTORO, R.; ACOSTA, A. T. R. Are some communities of the coastal dune zonation more susceptible to alien plant invasion? **Journal of Plant Ecology**, v. 3, n. 2, p. 139–147, 2010.
- CASTILLO, S. A.; MORENO-CASASOLA, P. Coastal sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. **Journal of Coastal Conservation**, v. 2, n. 1, p. 13–22, 1996.
- CDB. Convenção da diversidade biológica, 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/cdbport_72.pdf>. Acesso em: 01/11/2018.
- CDB. Panorama da Biodiversidade Global 3. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas (MMA), 2010.
- CHYTRY, M., et al. Habitat invasions by alien plants: a quantitative comparison among Mediterranean, subcontinental and oceanic regions of Europe. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 448–458, 2008.
- DAVIS, M.A.; GRIME, J.P.; THOMPSON, K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. **Journal of Ecology**, v.88, n.3, p.528–534, 2000.

- DAVIS, M.A.; THOMPSON, K. Eight ways to be a colonizer; two ways to be an invader: a proposed nomenclature scheme for invasion ecology. **Bulletin of the Ecological Society of America**, v.81, n.3, p.226–230, 2000.
- DEL VECCHIO, S.; PIZZO, L.; BUFFA, G. The response of plant community diversity to alien invasion: evidence from a sand dune time series. **Biodiversity and conservation**, v.24, n.2, p.371–392, 2015.
- FULLER, P.L.; NICO, L.G.; WILLIAMS, J.D. Nonindigenous Fisher: Introduced into Inland Waters of the United States. Bethesda, MD, EEUU: **American Fisheries Society**, Special Publication 27, 622 pp., 1999.
- KING, V.M.; SARGENT, R.D. Presence of an invasive plant species alters pollinator visitation to a native. **Biol Invasions**, v.14, p.1809–1818, 2012.
- KUNTSCHIK, D.P. Plantas invasoras nos trópicos: esperando a atenção mundial? Abundância de sementes da palmeira invasora *Archontophoenix* cf. *cunninghamiana* na chuva e banco de sementes em um fragmento florestal em São Paulo, SP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP. 125 pp., 2006.
- LAMBERTINI, M. et al. Invasives: A Major Conservation Threat. **Science**, v. 333, n. 6041, p. 404–405, 2011.
- LEÃO, T.C.C. et al. Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. Recife, PE. 99 pp., 2011.
- LONSDALE, W.M. Global patterns of plant invasions and the concept of invisibility. **Ecology**, v.80, n.5, p.1522–1536, 1999.
- LUQUE, G.M. et al. The 100th of the world's worst invasive alien species. **Biological Invasions**, v.16, n.5, p.981–985, 2014.
- MACK, R.N. Predicting the identity and fate of plant invaders: emergent and emerging approaches. **Biological Conservation**, v.78, n.1, p.107–121, 1996.
- MARCHANTE, H., et al. Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal. **Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press**, 2014.
- MARCHANTE, H.; FREITAS, H.; HOFFMANN, J. H. Seed ecology of an invasive alien species, *Acacia longifolia* (Fabaceae), in Portuguese dune ecosystems. **American Journal of Botany**, v.97, n.11, p.1780–1790, 2010.
- MCKINNEY, A.M.; GOODELL, K. Plant–pollinator interactions between an invasive and native plant vary between sites with different flowering phenology. **Plant Ecol**, v.212, p.1025–1035, 2011.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC., 2005.
- MITCHELL, R.J. et al. New frontiers in competition for pollination. **Annals of botany**, v.103, n.9, p.1403–1413, 2009.

- MOODLEY, D. et al. The importance of pollinators and autonomous self-fertilisation in the early stages of plant invasions: *Banksia* and *Hakea* (Proteaceae) as case studies. **Plant Biology**, v.18, n.1, p.124–131, 2016.
- MORALES, C.L.; TRAVESET A. A meta-analysis of impacts of alien versus native plants on pollinator visitation and reproductive success of co-flowering native plants. **Ecol. Lett.**, v.12, p.1–13, 2009.
- MORO, M.F. et al. Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia? **Acta Bot. Bras.**, v.26, n.4, p.991–999, 2012.
- MUÑOZ-VALLÉS, S.; GALLEGU-FERNÁNDEZ, J.B.; CAMBROLLÉ, J. The role of the expansion of native-invasive plant species in coastal dunes: The case of *Retama monosperma* in SW Spain. **Acta Oecologica**, v. 54, p. 82–89, 2014.
- MURCIA, C. Ecología de la Polinización. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (eds) *Ecología Y Conservación De Bosques Neotropicales*. Universidad Nacional Autónoma, Libro Universitario Regional, Costa Rica, p. 493–530, 2002.
- PITELLI, R.A. Plantas exóticas invasoras. In: BARBOSA, L. M.; SANTOS JUNIOR, N. A. (orgs.). *A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais*. Sociedade Botânica do Brasil, São Paulo, p. 409–412, 2007.
- POORTER, M; ZILLER, S.R. Biological contamination in protected areas: the need to act and turn the tide of invasive aliens species. **IV Congresso de Unidades de Conservação Anais**, p. 118–128, 2004.
- PLUCÊNIO, R.M.; SÁ DECHOUM, M.; CASTELLANI, T.T. Invasão biológica em restinga: o estudo de caso de *Terminalia catappa* L. (Combretaceae). **Biodiversidade Brasileira**, n.2, p.118–136, 2013.
- PROCTOR, M.; YEO, P.; LACK, A. The natural history of pollination. Harper Collins, London, 479 pp., 1996.
- PYŠEK, P. et al. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. **Taxon**, v.53, n.1, p.131–143, 2004.
- RICHARDSON, D.M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Diversity and distributions**, v.6, n.2, p.93–107, 2000.
- RODGER, J.G.; VAN KLEUNEN, M.; JOHNSON, S.D. Pollinators, mates and Allee effects: the importance of self-pollination for fecundity in an invasive lily. **Functional Ecology**, v.27, p.1023–1033, 2013.
- SANCHES, J.H.; MAGRO, T.C.; DA SILVA, D.F. Distribuição espacial da *Terminalia catappa* L. em área de restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Picinguaba, Ubatuba/SP. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, INPE**, p. 1831–1838, 2007.
- SANTANA, I.B.A.; FIGUEIREDO, N. Padrões de agregação populacional e diversidade local no estabelecimento de uma espécie exótica invasora (*Crotalaria retusa* L.) nas restingas da Ilha de São Luís – MA. Monografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA. 31 pp., 2014.

SANTORO R.; JUCKER T.; CARBONI M.; ACOSTA A.T.R. Patterns of plant community assembly in invaded and non-invaded communities along a natural environmental gradient. **J Veg Sci**, v.23, p.483–494, 2012.

SAKAI, A.K. et al. The population biology of invasive species. **Annual review of ecology and systematics**, p. 305–332, 2001.

SHEA, K.; CHESSON, P. Community ecology theory as a framework for biological invasions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 17, n. 4, p. 170–176, 2002.

SIMBERLOFF, D. Biological invasions: What's worth fighting and what can be won? **Ecological Engineering**, v.65, p.112–121, 2014.

TRAVERSE, A. et al. Space, time and aliens: charting the dynamic structure of Galápagos pollination networks. **AoB PLANTS**, v.7, p.v068, 2015.

VALÉRY, L. et al. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. **Biological Invasions**, v. 10, n. 8, p. 1345–1351, 2008.

VAN KLEUNEN, M.; DAWSON, W.; MAUREL, N. Characteristics of successful alien plants. **Molecular Ecology**, v.24, n.9, p.1954–1968, 2015.

VERMEIJ, G.J. An agenda for invasion biology. **Biological conservation**, v.78, p.3-9, 1996.

VIANA, B.F.; KLEINERT, A.M.P. A community of flower-visiting bees (Hymenoptera: Apoidea) in the coastal sand dunes of northeastern Brazil. **Biota neotropica**, v.5, n.2, p.79–91, 2005.

WEISS, P.W.; NOBLE, I.R. Status of coastal dune communities invaded by *Chrysanthemoides monilifera*. **Australian Journal of Ecology**, v. 9, p.93–98, 1984.

ZENNI, R.D.; ZILLER, S.R. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 3, p. 431–446, 2011.

ZILLER, S.R.A. Estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 268 pp., 2000.

ZILLER, S.R.; GALVÃO, F. A degradação da Estepe Gramíneo-Lenhosa no Paraná por contaminação biológica de *Pinus elliotti* e *P. taeda*. **Floresta**, n.32, v.1, p.41–47, 2003.

CAPÍTULO II

**Guilda de visitantes florais e biologia reprodutiva das espécies exóticas
Cnidoscolus urens e *Crotalaria retusa* em vegetação de dunas costeiras**

Artigo a ser enviado para o periódico:

Arthropod-Plant Interactions

Guilda de visitantes florais e biologia reprodutiva das espécies exóticas *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* em vegetação de dunas costeiras

Ingrid do Bom Parto Araújo Santana¹; Eduardo Bezerra de Almeida Jr.¹; Patrícia Maia Correia de Albuquerque ¹

Ingrid do Bom Parto Araújo Santana
ingrid.bpas@gmail.com

¹ Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação

Resumo

As estratégias reprodutivas, tais como autopolinização e uma guilda de polinizadores generalistas, são importantes fatores para a introdução e naturalização das plantas exóticas. À vista disso, este trabalho propôs identificar quais os visitantes florais e a guilda de polinizadores de *Cnidoscolus urens* (L.) Arthur e *Crotalaria retusa* L., espécies exóticas presentes nas áreas de dunas da praia de Panaquatira, Maranhão, descrevendo os métodos de polinização mais eficientes para ambas as espécies. Para tanto, foi realizada a coleta dos visitantes florais das duas espécies botânicas e classificando-os, de acordo com o comportamento durante as visitas às flores, em polinizador ou pilhador. Foi descrito como polinizador legítimo de *C. urens* o díptero *Palpada vinetorum* e como possível polinizador um espécime de coleoptera da família Chrysomelidae, observando-se também outras espécies, totalizando 81% de todos os visitantes florais de ambas as espécies. *C. retusa* apresentou como polinizador efetivo a abelha *Xylocopa frontalis* e uma riqueza menor (19%) de visitantes florais. Ambas as espécies são autogâmicas e em *C. urens* a polinização cruzada foi o mecanismo mais eficiente para produção de frutos, enquanto que em *C. retusa* a autopolinização contribui mais para o sucesso reprodutivo. Por fim, verificou-se que ambas as espécies botânicas se reproduzem com sucesso, sendo este um fator que permite o seu estabelecimento e a formação de populações viáveis e autônomas nas áreas de dunas costeiras.

Palavras-chave: Polinização; Visitantes florais; Dípteras; Coleópteras; Abelhas; Invasão biológica

Introdução

As regiões costeiras apresentam espécies vegetais em comum com outros ecossistemas (Freire 1990), tais como *Cnidoscolus urens* (L.) Arthur e *Crotalaria retusa* L. que são comumente encontradas nesses ambientes (Santos-Filho et al. 2011; Santos-Filho et al. 2015 Amorim et al. 2016; Araújo et al. 2016; Amorim 2017, Lima e Almeida Jr. 2018), porém não sendo nativas, podendo assim ser consideradas espécies exóticas para esses ecossistemas. *C. urens* é nativa da Costa do Pacífico da América Central, sendo geralmente encontrada em clareiras e margens de florestas, assim como em margens de estrada, campos abandonados e áreas degradadas (Bawa 1982; Gillespie 1993). Enquanto *C. retusa* é nativa da Ásia ou da costa da África Oriental e pode ser encontrada em áreas quentes do globo (Riet-Correa et al. 2011).

As áreas de vegetação costeira vêm sofrendo uma forte degradação ambiental devido a vários processos antrópicos, tais como: expansão urbana, especulação imobiliária, introdução de plantas exóticas na ornamentação, deposição de lixo, remoção clandestina de areia e queimadas (Weiss e Noble, 1984; Au, 2000; Badano e Pugnaire 2004; Barbosa et al. 2004; Fonseca-Kruel e Peixoto 2004; Rocha et al. 2007; Lima et al. 2017). Estes fatores tornam as comunidades herbáceo-arbustivas mais susceptíveis podendo, fortemente, favorecer a invasão por plantas exóticas e invasoras, devido ao

elevado grau de perturbação ambiental a qual estes ambientes encontram-se submetidos (Ziller 2000; Kim 2005).

A colonização por espécies exóticas é a primeira etapa do processo de invasão biológica, sendo estas as espécies que ocorrem fora de sua área de distribuição naturalmente conhecida e apresentam a capacidade de se dispersar para outros ambientes diferentes de seus ecossistemas originais (CDB 1992; Mack 1996; Vermeij 1996; Fuller et al. 1999). Quando estas espécies conseguem se reproduzir de modo a persistir nesses habitats invadidos em altas densidades populacionais passam a ser denominadas de espécies invasoras (Bjerknes et al. 2007).

Embora a invasão biológica seja considerada a segunda maior ameaça à biodiversidade mundial, ainda são poucos os estudos que abordam a ocorrência desses eventos em áreas de vegetação costeira (Lambertini et al. 2011; Rangel e Nascimento 2011; Luque et al. 2014; Simberloff 2014).

Além da susceptibilidade do ambiente, a invasão biológica pode ser facilitada quando as espécies exóticas apresentam características vantajosas para se reproduzir na nova área, sendo este um fator fundamental para a introdução e naturalização das mesmas (Richardson et al. 2000; Moodley et al. 2016).

Dentro das comunidades vegetais naturais as interações planta-polinizador são importantes para a sua dinâmica (Almeida Jr. et al. 2016) e a presença de plantas exóticas pode acarretar alterações no ciclo de vida das plantas nativas, como relatado por Traveset et al. (2015), que observaram como a introdução de plantas exóticas afeta a estrutura da rede de interação planta-polinizador no decorrer do tempo e do espaço, influenciando no sucesso reprodutivo de algumas espécies botânicas nativas e alterando o funcionamento da comunidade biológica. Essas mudanças podem ser prejudiciais ou benéficas para as comunidades nativas (McKinney e Goodell 2011; King e Sargent 2012). Prejudiciais, quando as plantas exóticas atraem polinizadores antes comuns somente a flora nativa, reduzindo os serviços de polinização prestados a essas (Brown et al. 2002; King e Sargent 2012). E benéficas, quando a presença das plantas exóticas aumenta o tamanho das populações de polinizadores pela maior oferta de recursos disponibilizados, podendo sustentar e aumentar o tamanho das populações de plantas nativas levando a um crescimento na sua guilda de polinizadores (Bjerknes et al. 2007; McKinney e Goodell 2011).

Desse modo, faz-se necessário estudar e conhecer os eventos de invasão biológica para se criar estratégias que visem a conservação da diversidade nativa dos ecossistemas invadidos. Frente a isso, neste trabalho, foram abordadas as seguintes questões: (1) Quais os visitantes florais e a guilda de polinizadores de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* presentes nas dunas da praia de Panaquatira? (2) Por serem espécies exóticas, elas compartilham a mesma guilda de polinizadores? (3) Qual sistema de polinização (cruzada ou autopolinização) é o mais eficiente para ambas as espécies? (4) A precipitação pluviométrica influencia a ocorrência e expressão dos eventos reprodutivos das plantas exóticas?

Materiais e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado nas dunas da Praia de Panaquatira (02°28'23"S; 44°03'13,8"W), localizada no município de São José de Ribamar, Maranhão, Brasil (Fig. 1). A área de estudo apresenta uma vegetação com predominância de espécies herbáceas, que podem ser eretas, cespitosas, reptantes e/ou rizomatosas, além de exibir algumas espécies arbustivas com alturas variadas e alguns elementos arbóreos que ocorrem de forma isolada (Lima et al. 2017).

De acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al. 2013), a Ilha do Maranhão apresenta um clima do tipo Aw, tropical quente (com temperatura variando de 23°C a 30°C) e semiúmido (com média de 84% de umidade relativa do ar). Apresenta um regime de chuvas que segue o padrão tropical, com um período chuvoso que vai de dezembro a junho e um período seco que se estende de julho a novembro (Feitosa e Trovão 2006). A precipitação pluviométrica anual varia de 1.250 a 2.000 mm (INMET 2018).

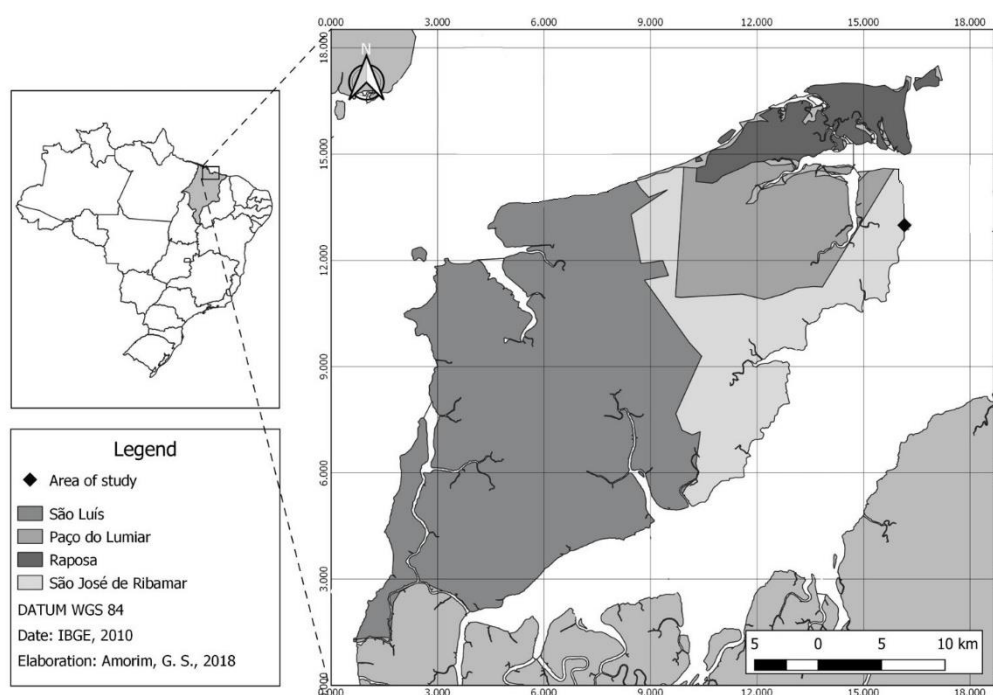


Fig. 1 Ilha do Maranhão e a localização da área de estudo (Praia de Panaquatira – São José de Ribamar, MA).

Seleção e descrição das plantas exóticas

Com base na florística realizada por Lima e Almeida Jr. (2018) na Praia de Panaquatira, foram analisadas as plantas herbácea-arbustivas presentes nas dunas da praia de Panaquatira, quanto a sua capacidade de invasão, de acordo com literatura especializada. Após essa análise, as espécies exóticas *Cnidocolus urens* (L.) Arthur (Euphorbiaceae) (Fig. 2A e 2B) e *Crotalaria retusa* L. (Fabaceae) (Fig. 2C e 2D) foram

selecionadas para o estudo por apresentarem um tamanho populacional (no mínimo 30 indivíduos) suficiente para amostragem.

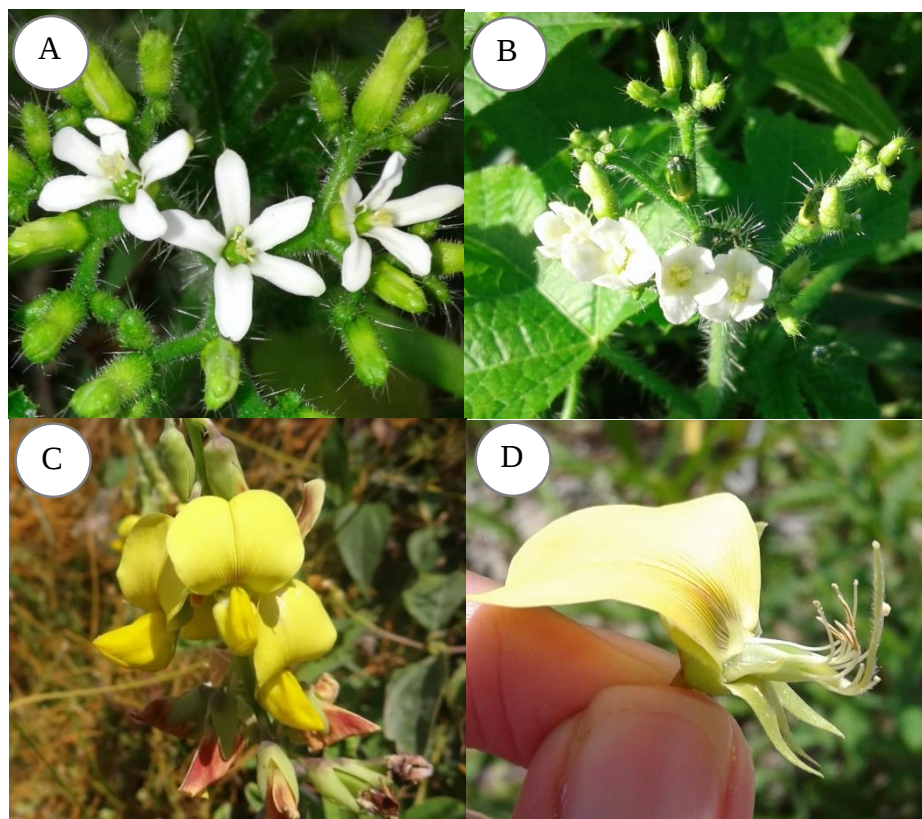


Fig. 2 Espécies exóticas presentes nas dunas da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar, MA. 2A flores pistiladas e 2B flores estaminadas de *Cnidoscolus urens*. 2C flor de *Crotalaria retusa*. 2D detalhe do gineceu e androceu de *C. retusa*

Cnidoscolus urens, conhecida popularmente como urtiga cansaço é um arbusto de pequeno porte, monoico, com inflorescências do tipo dicásio e que apresenta flores estaminadas e pistiladas de simetria actinomorfa, sésseis, com disco nectarífero proeminente e corola de cor branca e tubular com comprimento médio de 1cm; os filetes são livres entre si, com anteras de cor amarelo-esverdeadas e deiscência rimosa; o estilete é cilíndrico, terminal, com estigma apresentando 10 ramificações (Fig. 2A e B) (Araújo et al. 2012). No Brasil, ocorre nas regiões Norte (Rondônia), Nordeste (Alagoas, Bahia, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo) e Sul (Paraná) (Araújo et al. 2016; Lima e Almeida Jr. 2018; Re flora 2018).

Crotalaria retusa é um subarbusto ereto com inflorescências formando racemos terminais, flores hermafroditas papilionadas e corola de cor amarela com comprimento de 1,8-3,0cm (Fig. 2 C e D); androceu monadelfo (formando um tubo fendido aberto na base) com 10 estames que apresentam anteras dimorfas, sendo cinco longas e cinco arredondadas ambos os tipos possuem deiscência rimosa; estilete curvado e ovário subséssil circundado por um nectário (Flores 2004; São-Mateus 2013), apresentando como nomes vernaculares “xique-xique” (Braga 1960) e “guiso-de-

cascavel” (Soares e Souza 1976). No Brasil foi introduzida visando a recuperação de solos empobrecidos, sendo usada como adubo verde devido a capacidade de fixação de nitrogênio no solo, e também como cobertura vegetal no plantio direto (Boghossian et al. 2007). Apresenta registro de ocorrência para as regiões Norte (Pará), Nordeste (Bahia, Maranhão, Piauí), Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo) e Sul do Brasil (Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina) (Reflora 2018).

Coleta dos dados (Visitantes Florais, Síndromes Florais e Registro das Fenofases)

Os visitantes florais foram observados e coletados mensalmente de janeiro a dezembro de 2017, no ato da visitação às flores, ou recém-saídos delas, totalizando 288 horas de amostragem, sendo 144 horas para cada uma das populações de *C. urens* e *C. retusa*. O comportamento apresentado pelos visitantes florais foi classificado, quando possível, segundo Dafni et al. (2005), em pilhadores ou polinizadores.

As observações e coletas para as espécies botânicas foram divididas em intervalos de 1h ao longo do dia, começando às 6h e finalizando às 18h. Esta análise é importante para verificar o período do dia que apresentou maior concentração de visitação às flores. Todos os visitantes florais capturados foram depositados em câmaras mortíferas e sacrificados com acetato de etila (com exceção dos lepidópteros que eram levados a óbito por asfixia torácica), sendo acondicionados em sacos de papel, e posteriormente alfinetados, fixados a seco e etiquetados. Todos os indivíduos coletados foram levados para o Laboratório de Estudos sobre Abelhas (LEA) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), e após identificação foram incorporados à Coleção do Laboratório de Estudos sobre Abelhas (LEACOL/UFMA).

Os dados referentes à temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos a cada hora por meio de um termohigrômetro digital, posicionado à sombra na área de coleta a uma altura de 1m do solo (Oriani 2007; Santos 2013).

Foram marcados 20 indivíduos para cada uma das espécies para acompanhamento mensal, durante 12 meses, da ocorrência das seguintes fenofases: botões florais, flores abertas, frutos verdes e frutos maduros. Nestes acompanhamentos foram feitas a contagem total de todas as fenofases para se constatar em que período do ano ocorreu a maior expressividade do evento. Para verificar se as fenofases apresentaram relação com o período seco ou chuvoso foram analisados dados de precipitação pluviométrica anual obtidos no INMET (2018).

Tratamentos para Polinização

Para análise do sistema reprodutivo foram feitos testes de polinização controlado em campo, utilizando 30 botões florais para *C. urens* e 15 botões para *C. retusa*, distribuídos da seguinte forma: 1. polinização natural (controle positivo); 2. polinização cruzada manual (xenogamia); 3. autopolinização espontânea (transporte natural de pólen dos estames para o estigma da mesma flor, quando a flor é hermafrodita) 4. autopolinização manual (transferência manual de pólen dos estames para o estigma da mesma flor); 5. apomixia (controle negativo - avalia a produção de frutos sem que ocorra

fecundação do óvulo); 6. geitonogamia (transferência de pólen para flores de outra inflorescência da mesma planta).

A espécie *Cnidoscolus urens*, com flores diclinas, teve os seus botões femininos em pré-antese (pouco antes da abertura das flores) isolados nos tratamentos 2, 5 e 6 com sacos de organza para evitar o contato dos visitantes com as flores. Nos tratamentos 2 e 6, após a abertura dos botões, os sacos foram retirados para a realização dos testes, sendo ao final recolocados nas flores. No tratamento 3 foram ensacadas as inflorescências com botões masculinos e femininos em pré-antese. Para o tratamento 1, os botões femininos foram marcados e acompanhados até a formação ou não dos frutos. O tratamento 4 não pode ser realizado nesta espécie, por não ter flores monoclinas.

A espécie *Crotalaria retusa* possui flores andróginas, seus botões em pré-antese nos tratamentos 2, 4 e 5 foram emasculados (antes da deiscência das anteras, que ocorre antes da antese das flores) para realização dos testes, em seguida foram ensacados com sacos de organza. Para o tratamento 3, os botões em pré-antese foram ensacados sem passar pelo processo de emasculação. Para o tratamento 1, os botões foram marcados para acompanhamento até a produção ou não de frutos. O tratamento 6 foi realizado apenas em *C. urens*, pois o tratamento 4 não pode ser realizado na mesma, pelo fato desta não apresentar flores hermafroditas.

Foram também calculados o índice de autoincompatibilidade (ISI = divisão do percentual de frutificações resultantes de autopolinizações manuais pelo percentual de frutos oriundos de xenogamia) e a eficácia reprodutiva (RE = divisão do percentual de frutificações provenientes de polinização natural pelo percentual de frutificações formados por xenogamia) estabelecidos por Zapata e Arroyo (1978), e calculados de acordo com as modificações apresentadas por Oliveira e Gibbs (2000) e Freitas e Oliveira (2002).

Análise dos Dados

Na avaliação do comportamento dos visitantes florais foram mensurados o número total de indivíduos, frequência e constância, obtidos através do *software* ANAFAU, desenvolvido pelo setor de Entomologia da ESALQ/USP (Silveira Neto et al. 2005); onde a frequência foi determinada através da porcentagem de indivíduos de cada espécie de visitante floral em relação ao total de insetos coletados, estabelecendo-se a classe de frequência de acordo com o intervalo de confiança da média de 5% de probabilidade, sendo as classes classificadas em: Pouco frequente (PF) – frequência menor que o limite inferior do IC da média a 5% de probabilidade; Frequente (F) – frequência entre os limites inferior e superior do IC da média a 5% de probabilidade; Muito frequente (MF) – frequência maior que o limite superior do IC da média a 5% de probabilidade (Silveira Neto et al. 2005).

A constância, que é a porcentagem de ocorrência das espécies de visitantes florais, seguiu a classificação proposta por Bodenheimer (1955): espécies constantes (W) = presentes em mais de 50% das coletas, acessórias (Y) = presentes em 25-50% das coletas e acidentais (Z) = presentes em menos de 25% das coletas.

Para análise estatística do número de frutos formados nos tratamentos de polinização para cada uma das espécies foi realizada a relação de comparação dos testes de Controle/Xenogamia, Controle/Autopolinização Espontânea, Autopolinização Espontânea/Autopolinização Manual (ou Geitonogamia no caso de *C. urens*) e Xenogamia/Autopolinização Manual (ou Geitonogamia), por meio do teste t Student no programa R versão 3.3.1 (R Core Team 2017).

O teste de Correlação de Spearman foi realizado para analisar a relação da precipitação pluviométrica com a produção de botões florais, flores, frutos (verdes e maduros), por meio do programa PAST Versão 2.17c (Hammer et al. 2001).

Resultados

Visitantes florais

Foram coletados um total de 537 indivíduos, distribuídos em 32 espécies e 34 morfoespécies pertencentes à quatro ordens de insetos (Coleoptera, Diptera, Hymenoptera e Lepidoptera). Do total de espécies, 62 foram encontradas visitando *Cnidoscolus urens* (496 indivíduos) e 12 em *Crotalaria retusa* (41).

Os visitantes florais coletados em *C. urens* foram: borboletas (21 espécies; 213 indivíduos), mariposas (20; 136), moscas (1; 71), besouros (4; 43), abelhas (8; 21) e vespas (4; 5) (Fig. 3A). Enquanto para *C. retusa* foram: abelhas (4 espécies; 24 indivíduos), mariposas (3; 11), borboletas (3; 3) e vespas (2; 3).

Os horários com maior número de visitas em *C. urens* ocorreram de 6h às 9h, tendo uma diminuição no horário da tarde, principalmente no período de 16h às 18h, apresentando as borboletas como visitantes florais mais frequentes (Fig. 3A). Em *C. retusa* o maior período de visitação foi no horário da tarde, principalmente no intervalo de 13h às 15h (Fig. 3B), tendo as abelhas como visitantes florais mais frequentes.

Os insetos predominantes na visitação das flores de *C. urens* foram: *Urbanus proteus* (Hesperiidae) (96 indivíduos no total anual), *Palpada vinetorum* (Syrphidae) (71), *Euptoietia hegesia* (Nymphalidae) (71) e *Agraulis vanillae* (Nymphalidae) (57) (Tabela 1). Além destes, outras quatro espécies também foram muito abundantes, porém não obtiveram valores significativos para constância, são elas: um coleóptero da subfamília Bruchinae (Chrysomelidae) (33 indivíduos no total anual), *Battus polydamas* (Papilionidae) (29), *Phoebis argante* (Pieridae) (15) e *Ascia monuste* (Pieridae) (14). Os demais visitantes florais pouco frequentes (PF) ou frequentes (F) encontram-se inventariados em Material Suplementar 1. Dentre os possíveis polinizadores desta planta, destaca-se *P. vinetorum*, pois mantém contato direto com as estruturas reprodutivas da planta em estudo.

C. urens apresentou ambas as flores (pistiladas e estaminadas) sendo amplamente visitada por muitos lepidópteros, no entanto, estes apresentaram um tamanho corporal maior em relação ao tamanho das flores desta planta (tais como: *Urbanus proteus*, *Agraulis vanillae* e *Battus polydamas*) e, portanto, não tocam nas estruturas reprodutivas no ato da coleta do néctar, que fica presente na base dentro da flor – abaixo do ovário nas flores pistiladas e na base da inserção dos filetes nas flores estaminadas –

por possuírem uma longa probóscide que impossibilita que o corpo do animal toque as estruturas reprodutivas da planta, comportando-se como pilhadores. Por outro lado, insetos como os coleópteros, coletados dentro das flores (estaminadas e pistiladas), mantinham contato direto com as anteras e o estigma da planta, considerados, portanto polinizadores potenciais.

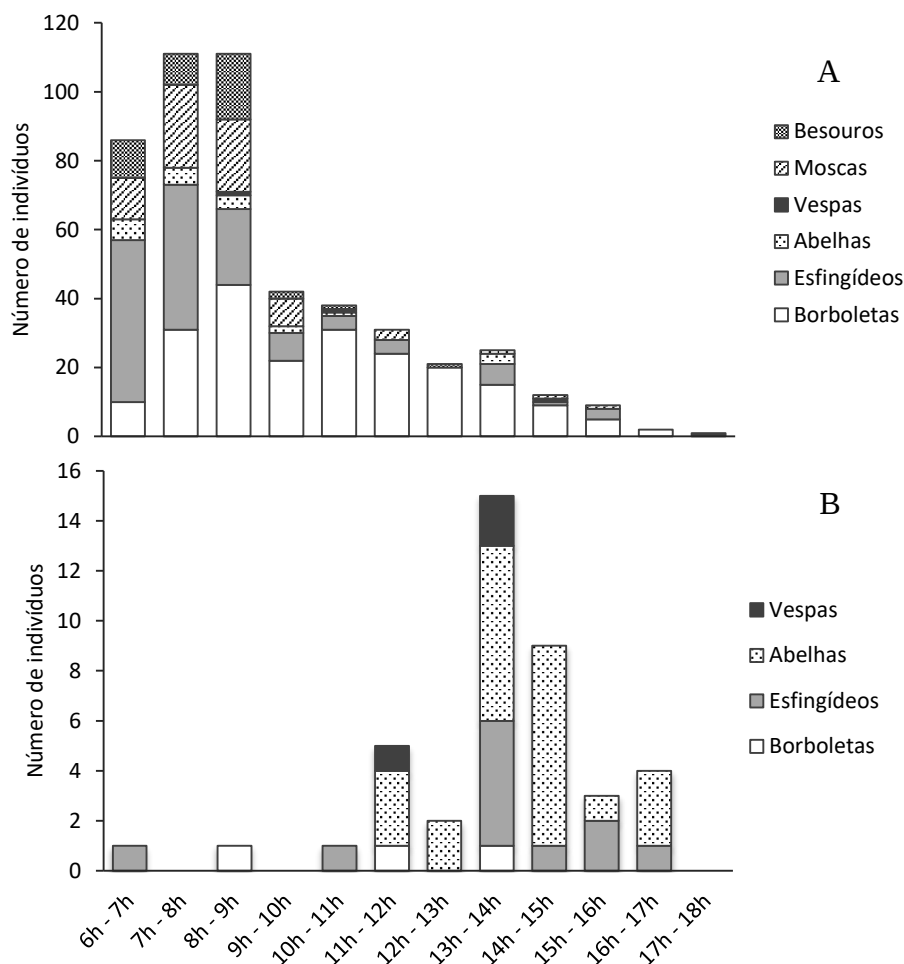


Fig. 3 Horários de atividade dos visitantes florais em *C. urens* (A) e *C. retusa* (B), nas dunas da Praia de Panaquatira, S. José de Ribamar, Maranhão, Brasil

Crotalaria retusa apresentou baixo número de visitas e de visitantes, entre os quais *Xylocopa frontalis* (Apidae), foi caracterizada como polinizador legítimo dessa planta, já que mantém contato direto com as estruturas reprodutivas. A espécie de lepidoptera, *Utetheisa* sp., também foi comumente encontrada visitando *C. retusa*, porém foi verificado que está coletava o néctar com a probóscide e não mantinha contato com o estigma ou o pólen, comportando-se assim como pilhador.

Tabela 1 Visitantes florais com maiores frequência e constância nas visitas em *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* nas dunas da Praia de Panaquatira, S. José de Ribamar, Maranhão, Brasil

Visitantes florais	<i>C. urens</i>			<i>C. retusa</i>		
	N ¹	Frequ. ²	Const. ³	N ¹	Freq. ²	Const. ³
LEPIDOPTERA – EREBIDAE						
<i>Utetheisa</i> sp.	2	PF	Z	9	MF	Y
LEPIDOPTERA – HESPERIIDAE						
* <i>Urbanus proteus</i> (Linnaeus, 1758)	96	MF	W	1	F	Z
LEPIDOPTERA - NYMPHALIDAE						
* <i>Agraulis vanillae</i> (Linnaeus, 1758)	57	MF	W	1	F	Z
* <i>Euptoieta hegesia</i> (Cramer, 1779)	71	MF	W	1	F	Z
LEPIDOPTERA – PAPILIONIDAE						
<i>Battus polydamas</i> (Linnaeus, 1758)	29	MF	Y	--	--	--
LEPIDOPTERA – PIERIDAE						
<i>Ascia monuste</i> (Linnaeus, 1764)	14	MF	Y	--	--	--
<i>Phoebis argante</i> (Fabricius, 1775)	15	MF	Y	--	--	--
HYMENOPTERA – APIDAE						
** <i>Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis</i> Olivier, 1789	--	--	--	21	MF	W
HYMENOPTERA – VESPIDAE						
<i>Polistes canadenses</i> (L. 1758)	1	PF	Z	2	MF	Z
COLEOPTERA - CHRYSOMELIDAE						
Bruchinae	33	MF	Y	--	--	--
DIPTERA – SYRPHIDAE						
* <i>Palpada vinetorum</i> (Fabricius)	71	MF	W	--	--	--

¹Número total de indivíduos coletados. ²Frequente (F); muito frequente (MF). ³Constante (W); acessória (Y); pouco constante (Z). *Espécies predominantes em *C. urens*. **Espécie predominante em *C. retusa*

Tratamentos para Polinização

Cnidoscolus urens apresentou um sistema reprodutivo misto, uma vez que houve formação de frutos em todos os tratamentos. Mostrou-se autocompatível, visto que resultou em produção de frutos nos tratamentos de geitonogamia e autopolinização espontânea. Assim como também foi muito eficiente na polinização cruzada, comprovada pelos testes do controle e xenogamia (Tabela 2).

Em *Crotalaria retusa* o sistema reprodutivo também foi misto, sendo que os tratamentos de controle positivo e autopolinização natural obtiveram os melhores resultados quanto a produção de frutos, demonstrando que a espécie é autocompatível e apresenta grande eficiência para polinização natural (80%).

Tabela 2 Eficácia reprodutiva de *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* nas dunas da Praia de Panaquatira, S. José de Ribamar, Maranhão, Brasil

Tratamento	<i>C. urens</i>		<i>C. retusa</i>	
	Flores/Frutos	Sucesso	Flores/Frutos	Sucesso
Controle (positivo)	30/28	84%	15/12	80%
Xenogamia	30/28	84%	15/9	60%
Autopolinização espontânea	30/24	80%	15/13	87%
Geitonogamia/ Autopolinização manual	30/29	96%	15/4	27%
Apomixia	30/22	73%	15/4	27%
ISI	--	1,04	--	0,44
RE	--	1	--	1,33

A análise do teste t Student em relação aos frutos produzidos para os tratamentos realizados em *C. urens* foi significativa apenas para Autopolinização Espontânea/Geitonogamia ($t=-2.04$, $p=0.047$). Para Controle/Xenogamia ($t=0$, $p=1$), Controle/Autopolinização Espontânea ($t=1.52$, $p=0.13$) e Xenogamia/Geitonogamia ($t=-0.58$, $p=0.56$) não houve significância. Em *C. retusa* esta análise foi significativa apenas para Autopolinização Espontânea/Autopolinização Manual ($t=4.02$, $p=0.0004$). Os demais tratamentos não apresentaram resultados significativos: Controle/Xenogamia ($t=1.18$, $p=0.24$), Controle/Autopolinização Espontânea ($t=-0.47$, $p=0.63$), Xenogamia/Autopolinização Manual ($t=1.88$, $p=0.66$).

Registro das Fenofases

C. urens apresentou maior expressividade de eventos reprodutivos, com o lançamento de botões, flores e frutos, entre os meses de janeiro a abril, mantendo baixos níveis de floração e frutificação durante os outros meses do ano (Fig. 4A). *C. retusa* teve os maiores valores para floração e frutificação entre os meses de janeiro a junho, e nos demais meses manteve padrões baixos dessas fenofases (Fig. 4B).

O teste de Correlação de Spearman dos dados de precipitação pluviométrica com as fenofases de *C. urens* foi significativa para todas as fenofases (botões florais, $p=0,002$; flores, $p=0,008$; frutos verdes, $p=0,003$; frutos maduros, $p=0,008$), mostrando que há uma estrita relação do período chuvoso com a floração e frutificação desta planta. Em *C. retusa* a relação da precipitação pluviométrica só foi significativa para produção de botões florais ($p=0,003$) e frutos verdes ($p=0,01$). Enquanto que para produção de flores ($p=0,05$) e frutos maduros ($p=0,75$) não foi registrado relação com o período chuvoso.

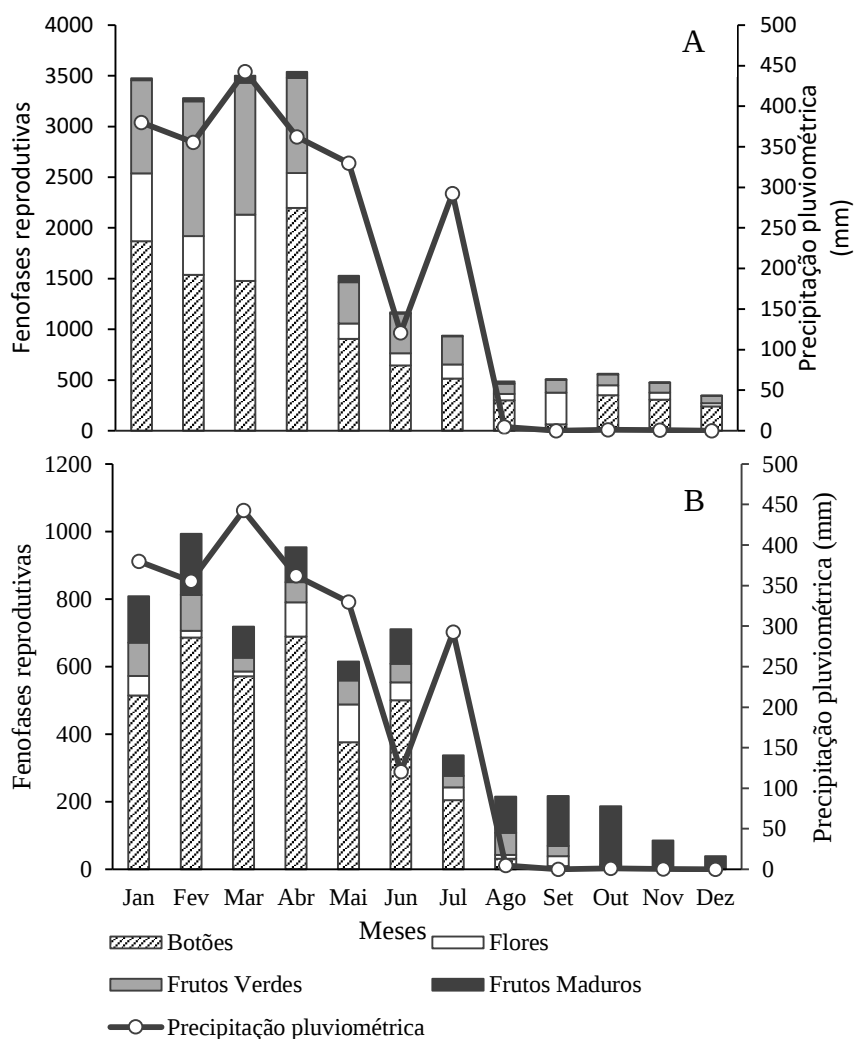


Fig. 4 Ocorrência das fenofases reprodutivas (botões florais, flores, frutos verdes e maduros) nas espécies *Cnidoscolus urens* (A) e *Crotalaria retusa* (B) em relação à precipitação pluviométrica (Praia de Panaquatira, 2017)

Discussão

As duas espécies de plantas exóticas não compartilham o mesmo nicho quanto a polinização, pois apresentaram guildas distintas de polinizadores. Isso pode estar relacionado a morfologia de suas flores e também aos horários de disponibilidade de recurso aos visitantes florais, mostrando que não competem entre si. Esta implicação é importante, porquanto mostra que ambas podem se desenvolver de maneira independente, não contribuindo e nem prejudicando no estabelecimento e permanência uma da outra na área invadida.

Cnidoscolus urens não apresentou uma síndrome de polinização característica, mas sim um sistema misto envolvendo diversos grupos de visitantes florais, sendo mais frequentes as lepidópteras *Agraulis vanillae*, *Euptoieta hegesia* e *Urbanus proteus*, porém estes apenas coletavam o néctar. A espécie de díptera *Palpada vinetorum*, além de ser um visitante muito frequente, foi visto nas flores estaminadas, coletando

pólen, e raramente nas flores pistiladas, sendo considerado um polinizador efetivo desta planta exótica. Larson et al. (2001) destacam que os dípteros da família Syrphidae possuem associações com flores, na coleta de néctar e/ou pólen, onde o néctar é comumente coletado pelos machos para lhes fornecer energia e o pólen é frequentemente coletado pelas fêmeas, usado para a maturação dos ovos (Hickman et al. 1995).

P. vinetorum não manteve fidelidade a *C. urens*, sendo observado visitando outras espécies vegetais na área de estudo. Cabe ressaltar que espécies de plantas exóticas apresentam, em sua maioria, polinizadores generalistas (Bartomeus et al. 2008) e isso lhes fornece vantagens para integralização em redes naturais de polinização (Lopezaraiza-Mikel et al. 2007). Este fato é de grande relevância para espécies exóticas, pois para se alcançar um bom sucesso reprodutivo não pode haver dependência de polinizadores específicos (van Kleunen et al. 2015). No entanto, este fato pode interferir de modo nocivo no estabelecimento e desenvolvimento das plantas nativas, levando a uma redução nas taxas de visitação e/ou a mudanças no comportamento dos polinizadores podendo afetar a produção de sementes das espécies nativas, devido a transferência de pólen heterospecífica que é o resultado da polinização por visitantes generalistas (Berjken et al. 2007).

A interação dos polinizadores com as plantas exóticas e como isso interfere na polinização das plantas nativas depende das circunstâncias e envolve muitos fatores (bióticos e abióticos) que precisam ser analisados a fundo para garantir se essas interferências são positivas ou negativas para a comunidade de plantas nativas das áreas invadidas.

Coleópteros também foram encontrados visitando as flores de *C. urens*, obtendo maior frequência um espécime da subfamília Bruchinae (Chrysomelidae) que foram encontrados dentro das flores, principalmente das estaminadas, não sendo observado que tipo de atividade esses insetos desempenhavam nas flores (se era cópula ou coleta de néctar e/ ou pólen). Porém estes coleópteros também podem ser apontados como possíveis polinizadores desta planta, pois mantinham contato com o pólen e o estigma. Muitas espécies de besouros são descritas como polinizadores, entre os quais encontram-se representantes da família Chrysomelidae (Gottsberger 2012), sendo relatadas visitando as espécies botânicas *Erythrina crista-galli* L. (Fabaceae) (Costa 2005), *Ocimum selloi* Benth. (Lamiaceae) (Schoeninger et al. 2012), *Dyckia brevifolia* Baker (Bromeliaceae) (Rogalski et al. 2009), *Lycopersicon esculentum* Mill. (Silva e Carvalho 2015) e *Turnera subulata* Sm. (Passifloraceae) (Rodríguez et al. 2015).

Para *Crotalaria retusa* não foi relatada nenhuma visita por *P. vinetorum* e nem por coleópteros, devido ao fato do néctar e pólen desta planta não estar facilmente acessível para estes insetos. *C. retusa* foi frequentemente visitada por abelhas, em especial por *X. frontalis*, o que deve estar relacionado ao formato de sua flor, pois os indivíduos da subfamília Faboidae apresentam uma morfologia floral com pétalas diferenciadas (Flores 2004; São-Mateus 2013). Após a antese, as estruturas reprodutivas e o pólen (a deiscência das anteras ocorre antes da antese floral) ficam inseridas no interior de pétalas diferenciadas denominadas de quilha, desse modo o visitante floral para coletar o néctar (que fica acumulado em uma câmara nectarífera) precisa forçar com a sua cabeça na base

das pétalas para coletá-lo. Diante disso, pode-se afirmar que *X. frontalis* é o polinizador legítimo de *C. retusa*, pois apresenta tamanho corporal adequado para exercer a polinização da mesma, além de apresentar frequência e rota de voo favorável para tal fim.

Albuquerque et al. (2007), em estudo desenvolvido nas dunas da praia de São Marcos, no Maranhão, também relatam visitação de *X. frontalis* em *C. retusa*. Jacobi et al. (2005) em trabalho realizado na Bahia, consideraram *X. frontalis* como polinizadora legítima e fiel desta planta. Diferente do que aconteceu no presente trabalho, visto que *X. frontalis* não se manteve fiel, pois no período da manhã era observada visitando as espécies *Canavalia rosea* (Sw.) DC e *Centrosema brasilianum* (L.) Benth., ambas também pertencentes a subfamília Faboidea e com a mesma morfologia floral de *C. retusa*, mostrando que mesmo sendo seu polinizador legítimo, *X. frontalis* apresenta um comportamento generalista, típico de polinizadores de espécies de plantas exóticas.

Gottsberger et al. (1988) e Verçosa et al. (2010) relatam *X. frontalis* como polinizador efetivo de *C. rosea*, diferentemente de *C. brasilianum* que, segundo Albuquerque et al. (2007), não recebeu visitas desta espécie de abelha mesmo que esta estivesse presente em sua área de estudo. É interessante considerar que estas duas espécies botânicas apresentam a morfologia floral de quilha invertida (flores ressupinadas), sendo assim o pólen destas ficou depositado no dorso do corpo da abelha. Enquanto que o pólen de *C. retusa* ficou armazenado na parte ventral do tórax da abelha (flores não ressupinadas), esse mecanismo evita a mistura de pólen de espécies diferentes, tornando assim a polinização cruzada mais eficiente para *C. retusa*.

Enquanto *C. retusa* foi frequentemente visitada por abelhas, *Cnidocolus urens* apresentou um número baixo de visitas melitófilas (4%), quando comparado com os seus outros visitantes florais, sendo visitada ocasionalmente por apenas oito espécies de abelhas. Esse baixo índice de visitação por abelhas pode estar relacionado a cor branca das pétalas de *C. urens*, visto que não está dentro do espectro de cores visíveis para a maioria dos Apoidea, que comumente preferem visitar as flores com coloração variando de azul a roxo (Binkenstein e Schaefer 2015). Gollan et al. (2011) relataram que flores de cor amarela também são comumente escolhidas por um maior número de espécies quando comparada com flores brancas, entretanto os autores também relatam que existem algumas abelhas que têm preferência por flores brancas em detrimento as amarelas, porém não listaram quais as plantas e nem se a flores brancas apresentavam néctar ou guia de néctar de cor contrastante.

Em comparação com outros trabalhos realizados com estas duas espécies de plantas exóticas, este trabalho se diferenciou quanto a riqueza e diversidade de espécies de polinizadores e visitantes florais para ambas as plantas. Araújo et al. (2012) em estudo realizado na Caatinga (Bahia), relataram a ocorrência para *C. urens* de sete polinizadores (dois beija-flores, quatro lepidópteros e um esfingídeo) e nenhum pilhador, descrevendo como polinizador efetivo o beija-flor *Chlorostilbon aureoventris* (d' Orbigny & Lafresnaye, 1838). Enquanto no presente estudo não houve relato de nenhuma visita por beija-flores, assim como também foi apresentado uma grande riqueza de visitantes florais pilhadores (Material Suplementar 1). Jacobi et al. (2005) descreveram como polinizadores da espécie *C. retusa* as abelhas *X. frontalis*, *X. grisescens* Lepeletier, 1841

e *Centris leprieuri* Spinola, 1841, diferentemente do presente estudo que relatou como polinizador efetivo somente *X. frontalis*. No entanto, *C. leprieuri* também possui relato de ocorrência para a área do estudo (Oliveira et al. 2010), mas não foi relatada visitando esta espécie exótica. Além dos polinizadores Jacobi et al. (2005) também menciona como pilhadores a abelha *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) e lepidópteros das famílias HesperIIDae e Pieridae. Frente a estas informações, pode-se observar a diferença na guilda de polinizadores e pilhadores da mesma espécie botânica em ambientes diferentes, demonstrando sua plasticidade e capacidade de atrair polinizadores generalistas.

Entre os testes de polinização, a polinização natural demonstrou-se eficiente em ambas as plantas, tendo destaque em *C. urens* (84%), que apresenta flores pistiladas que se abrem primeiro que as flores estaminadas, caracterizando o processo denominado de dicogamia do tipo protoginia, mecanismo este que pode ser considerado uma estratégia da planta para evitar a geitonogamia, elevando a probabilidade de fluxo gênico nesta espécie (Araújo et al. 2012). Em *C. retusa*, de todos os tratamentos, o que obteve maior sucesso foi o de autopolinização espontânea (87%), sendo este um fator importante para o estabelecimento desta espécie quando seus polinizadores forem ausentes no local da invasão.

Os testes de geitonogamia e autopolinização mostraram que ambas as espécies são autocompatíveis. Sendo este fato comprovado pelo valor de ISI para *C. urens* (1,04) e *C. retusa* (0,44), uma vez que apresentando um valor menor que 0,25 o sistema seria considerado autoincompatível (Oliveira e Gibbs 2000). Ser autocompatível é uma característica importante para espécies exóticas, pois assim estas conseguem ter uma ampla distribuição geográfica e um ciclo de vida anual, de modo a se manter e se estabelecer no ambiente quando os seus polinizadores são temporariamente ausentes (Jacobi et al. 2005). O RE também foi alto para ambas as espécies (*C. urens* = 1; *C. retusa* = 1,33), isso demonstra que o sistema de polinização é eficiente e que as duas espécies apresentam agentes polinizadores efetivos.

C. urens apresentou todas as suas fenofases relacionadas com a estação chuvosa a qual a área está sujeita, ocorrendo em grandes aglomerados populacionais nessa época, demonstrando sua total dependência aos maiores índices pluviométricos do ecossistema invadido e no período seco a maioria dos indivíduos da população perdem parte (ou em alguns indivíduos ocorre caducifolia total) de suas estruturas como folhas, flores e frutos. Diferente do que foi observado por Araújo et al. (2012), em que esta espécie ocorreu durante todo o ano e seu período de floração não foi correlacionado com a época chuvosa.

C. retusa apresentou somente as fenofases de botões florais e frutos verdes relacionadas com o período chuvoso. Foi observado uma baixa produção de flores e frutos maduros durante o ano todo, o que pode ser atribuído a presença de larvas de *Utetheisa* sp. (lepidóptera) que é apontada como predador de espécies deste gênero botânico (Tella 1955; Sourakov 2015). As marcas da predação foram observadas nos frutos e também nos botões florais na forma de pequenos orifícios. Desse modo pode perceber que essa atividade torna os frutos e botões florais inviáveis, diminuindo assim a eficácia reprodutiva da espécie.

Quanto as atividades diárias, os horários que apresentaram maior visitação à espécie *C. urens* ocorreram nas primeiras horas da manhã (até as 9h), provavelmente por este ser o período de maior concentração diurna de néctar nas flores, uma vez que estas começam a antese as 21h30 estando completamente abertas as 23h e seus botões florais já possuem néctar disponível cerca de 12h antes da antese (Araújo et al. 2012). Em *C. retusa* o pico de visitação foi maior no período da tarde, pois durante a manhã a flor se encontra fechada, começando a antese por volta das 11h, estando completamente aberta às 12h.

De forma geral, sobre os métodos naturais de polinização das duas espécies de planta exóticas, pode-se observar que *C. urens* depende em sua maioria da polinização cruzada e apresentou um número maior de visitas, tendo como polinizador efetivo a espécie *P. vinetorum*, sendo também considerado um espécime da subfamília Bruchinae como possível polinizador, esse aspecto tende a favorecer o fluxo gênico nessa população específica. Enquanto *C. retusa* apresentou um número menor de visitas e apenas um polinizador legítimo, a abelha *X. frontalis*, sendo está de extrema relevância para a polinização cruzada nesta espécie e para evitar grandes taxas de endogamia, aumentando, assim, o fluxo gênico nas populações desta planta. *C. retusa* também demonstrou grande capacidade de autopolinização, característica essa que, provavelmente, ajudou no processo de introdução e estabelecimento inicial na área invadida.

Frente ao exposto, pode-se considerar que tanto *C. urens* quanto *C. retusa* apresentam estratégias reprodutivas naturais para se manter e se estabelecer no meio, assim como apresentam polinizadores efetivos para promover um fluxo gênico dentro de suas populações naturais, podendo a longo prazo tornarem-se espécies invasoras. No entanto, fatores ecológicos como a predação por *Utetheisa* sp. observada em *C. retusa* tem levado a baixa produção anual de frutos para esta espécie. Outro fator que impossibilita o sucesso populacional é o fato desta planta exótica ser parasitada pela espécie botânica *Cassitya filiformis* L. que é observada formando grandes emaranhados populacionais cobrindo e parasitando *C. retusa* impedido seu crescimento e matando os indivíduos desta espécie. Contudo, *C. filiformis* não foi observada parasitando *C. urens*, assim como também não foram observados predadores para esta espécie, fatores estes que podem estar influenciando em um maior sucesso no seu estabelecimento na área, quando comparado com *C. retusa*.

As regiões de dunas apresentam uma composição vegetal nativa, característica desse ambiente que apresenta grande importância, tanto pela ação reguladora da distribuição de água, assim como também pela proteção das águas subterrâneas e contenção da areia (Freire 1990). O estabelecimento de plantas exóticas formando densas populações nessas áreas é preocupante para a conservação da flora nativa, pois pode acarretar na atração de polinizadores das espécies nativas, levando a decréscimo na visitação para estas espécies (Mustajarvi et al. 2001; Thompson 2001).

Diante disso, pode-se concluir que o estabelecimento das espécies botânicas *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* pode se tornar um fator preocupante para a sobrevivência e estabelecimento das plantas nativas, uma vez que pode levar a ocupação dos seus nichos, podendo ocasionar sua extinção local. Frente a isso, faz-se necessário a

promoção de medidas legais e educativas que levem a conservação das dunas costeiras de modo a evitar a invasão biológica que, em sua maioria, ocorre por processos de antropização e intensa degradação ambiental sobre as quais esses ecossistemas costeiros estão rotineiramente sujeitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMA pela concessão da bolsa de mestrado concedido a primeira autora, e às Dras Márcia Motta Maués e Márcia Maria Côrrea Rêgo pelas sugestões ao manuscrito. À Mírian Nunes Morales pela identificação da espécie de díptera e a Alana Cristina Cunha Bernardes, Elias Costa de Araújo Junior, Gabriela Almeida, Joana Viviane dos Anjos, Lucas Pereira Martins, Luciano Chaves e Thayrine Luane Martins pela colaboração com a pesquisa, a Gabriela Amorim pela elaboração do mapa da área de estudo e a Luana Mendes Carvalho pela foto da espécie botânica *Crotalaria retusa*.

Referências

- Almeida Jr. EB, Silva ANF, Lima GP, Amorim GS, Guterres AVF, Santos-Filho FS (2016) Coco babaçu: descrição botânica da palmeira, importância ecológica e abundância regional. In: Maciel AP (Org.) Biocombustíveis de Babaçu: Ensaio técnico sobre oportunidades de produção de biocombustíveis a partir do Coco Babaçu. EDUFMA, Maranhão
- Albuquerque PMCD, Camargo JMFD, Mendonça JÂC (2007) Bee community of a beach dune ecosystem on Maranhão Island, Brazil. Brazilian Archives of Biology and Technology 50(6):1005–1018. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S151689132007000700012>
- Amorim GS, Amorim IFF, Almeida Jr EB (2016) Flora de uma área de dunas antropizadas na praia de Araçagi, Maranhão. Revista Biociências 22(2):18–29
- Amorim IFF (2017) Herbáceas em áreas de dunas da ilha do Maranhão: diversidade, riqueza e conservação. Dissertação, Universidade Federal do Maranhão
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes G, Leonardo J, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22(6):711–728. doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Araújo LDA, Leal AS, Quirino ZGM (2012) Fenologia e biologia floral da urtiga cansaço (*Cnidocolus urens* L., Euphorbiaceae). Revista Brasileira de Biociências 10(2):140–146
- Araujo ACM, Silva ANF, Almeida Jr. EB (2016) Caracterização estrutural e status de conservação do estrato herbáceo de dunas da Praia de São Marcos, Maranhão, Brasil. Acta Amazonica 46(3):247–258. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201504265>

- Arruda RCO, Viglio NSF, Barros AAM (2009) Anatomia foliar de halófitas e psamófilas reptantes ocorrentes na restinga de Ipitangas, Saquarema, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia* 60(2):333–352. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860200960207>
- Au L (2000) *Carpobrotus edulis* in Coastal California Plant Communities. *Restoration and Reclamation Review* 6:1–7
- Badano EI, Pugnaire FI (2004) Invasion of Agave species (Agavaceae) in Southeast Spain: Invader Demographic Parameters and Impacts on Native Species. *Diversity and Distributions* 10:493–500. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00086.x>
- Barbosa FAR, Scarano FR, Sabará MG, Esteves FA (2004) Brazilian LTER: ecosystem and biodiversity information in support of decision-making. *Environmental Monitoring and Assessment* 90(1–3):121–133. doi: <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.00000003571.10570.02>
- Bartomeus I, Vilà M, Santamaría L (2008) Contrasting effects of invasive plants in plant–pollinator networks. *Oecologia* 155(4):761–770. doi: <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0946-1>
- Bawa KS, Webb CJ, Tuttle AF (1982) The adaptive significance of monoecism in *Cnidioscolus urens* (L.) Arthur (Euphorbiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 85(4):213–223. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1982.tb00371.x>
- Binkenstein J, Schaefer HM (2015) Flower colours in temperate forest and grassland habitats: a comparative study. *Arthropod-Plant Interactions* 9(3):289–299. doi: <https://doi.org/10.1007/s11829-015-9369-9>
- Bjerknes AL, Totland Ø, Hegland JS, Nielsen A (2007) Do alien plant invasions really affect pollination success in native plant species? *Biological Conservation* 138(1–2):1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.015>
- Bodenheimer FS (1955) *Precis D.écologie Animale*. Paris Payot
- Boghossian MR, Peixoto PV, Brito MF, Tokarnia CH (2014) Aspectos clínico-patológicos da intoxicação experimental pelas sementes de *Crotalaria mucronata* (Fabaceae) em bovinos. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 27(4):149–156. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2007000400004>
- Braga R (1960) *Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará*. 2ª Ed. Fortaleza, Imprensa Oficial
- Brown BJ, Mitchell RJ, Graham SA (2002) Competition for pollination between an invasive species (purple loosestrife) and a native congener. *Ecology* 83(8):2328–2336. doi: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2328:CFPBAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2328:CFPBAI]2.0.CO;2)
- CDB (1992) Convenção da diversidade biológica. <http://www.mma.gov.br/informma/item/7513-conven%C3%A7%C3%A3o-sobre-diversidade-biol%C3%B3gica-cdb>. Accessed 05 April 2018

- Costa RACV (2005) Visitantes florais diurnos em corticeira do banhado (*Erythrina crista-galli* L. Leguminosae: Faboideae) em Santa Maria, RS. Monografia, Universidade Federal de Santa Maria
- Dafni A, Peter GK, Brian CH (2005) Practical pollination biology. Practical pollination biology
- Falkenberg DB (1999) Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, sul do Brasil. *INSULA Revista de Botânica* 28(1):1–30
- Feitosa AC, Trovão JR (2006) Elementos naturais da paisagem. Atlas Escolar do Maranhão: Espaço Geo-Histórico e Cultural. João Pessoa, Ed. Grafset
- Flores AS (2004) Taxonomia, números cromossômicos e química de espécies de *Crotalaria* L. (Leguminosae – Papilionoideae) no Brasil. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas
- Freire MSB (1990) Levantamento florístico do parque estadual das dunas do natal. *Acta botanica brasílica* 4(2): 41–59. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33061990000300006>
- Freitas CV, Oliveira PE (2002) Biologia reprodutiva de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae, Caesalpinioideae). *Revista Brasileira de Botânica*. 25(3): 311–321. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042002000300007>
- Fonseca-Kruel VS, Peixoto AL (2004) Etnobotânica na Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo, RJ, Brasil. *Acta bot. bras.* 18(1):177–190. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000100015>
- Fuller PL, Nico LG, Williams JD (1999) Nonindigenous Fisher: Introduced into Inland Waters of the United States. Bethesda, MD, EEUU: American Fisheries Society, Special Publication
- Gillespie LJ (1993) Euphorbiaceae of the Guianas: Annotated species checklist and key to the genera. *Brittonia* 45(1):56–94. doi: <https://doi.org/10.2307/2806862>
- Gollan JR, Ashcroft MB, Batley M (2011) Comparison of yellow and white pan traps in surveys of bee fauna in New South Wales, Australia (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila). *Austral Entomology* 50(2):174–178. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2010.00797.x>
- Gottsberger G, Camargo JMF, Gottsberger IS (1988) A bee-pollinated tropical community: The beach dune vegetation of Ilha de São Luís, Maranhão, Brazil. *Botanische Jahrbücher für Systematik* 109(4):469–500.
- Gottsberger G (2012) How diverse are Annonaceae with regard to pollination? *Botanical Journal of the Linnean Society* 169(1):245–26. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01209.x>
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST – Palaeontological statistics. [www. uv. es/~ pardomv/pe/2001_1/past/pastprog/past. pdf](http://www.uv.es/~pardomv/pe/2001_1/past/pastprog/past.pdf), accessed 05 April 2018 25(07):2009.

- Hickman JM, Lövei GL, Wratten SD (1995) Pollen feeding by adults of the hoverfly *Melanostoma fasciatum* (Diptera: Syrphidae). *New Zealand Journal of Zoology* 22(4):387–392. doi: <https://doi.org/10.1080/03014223.1995.9518057>
- INMET – Instituto de Meteorologia (2018). <http://www.inmet.gov.br/>. Accessed 04 April 2018
- Jacobi CM, Ramalho M, Silva M (2005) Pollination biology of the exotic rattleweed *Crotalaria retusa* L. (Fabaceae) in NE Brazil. *Biotropica* 37(3):357–363. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00047.x>
- Klein AS, Citadini-Zanette V, Santos R (2007) Florística e estrutura comunitária de restinga herbácea no município de Araranguá, Santa Catarina. *Biotemas* 20(3):15–26. doi: <https://doi.org/10.5007/%25x>
- Kim KD (2005) Invasive plants on disturbed Korean sand dunes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62(1–2):353–364. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.09.023>
- King VM, Sargent RD (2012) Presence of an invasive plant species alters pollinator visitation to a native. *Biol Invasions* 14:1809–1818. doi: <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0191-3>
- Larson BMH, Kevan PG, Inouye DW (2001) Flies and flowers: taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. *The Canadian Entomologist* 133(4):439–465. doi: <https://doi.org/10.4039/Ent133439-4>
- Lambertini M, Leape J, Marton-Lefèvre J, Mittermeier RA, Rose M, Robinson JG, Stuart SN, Waldman B, Genovesi P (2011) Invasives: A Major Conservation Threat. *Science* 333(6041):404–405. doi: [10.1126/science.333.6041.404-b](https://doi.org/10.1126/science.333.6041.404-b)
- Lima GP, Lacerda DMA, Lima HP, Almeida Jr. EB (2017) Caracterização fisionômica da Restinga da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar, Maranhão. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10(6):1910–1920
- Lima GP, Almeida Jr EB (2018) Diversidade e similaridade florística de uma restinga ecotonal no Maranhão, Nordeste do Brasil. *Interiencia* 43(4):275–282
- Luque GM, Bellard C, Bertelsmeier C, Bonnaud E, Genovesi P, Simberloff D, Courchamp F (2014) The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological Invasions* 16(5):981–985. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0561-5>
- Mack RN (1996) Predicting the identity and fate of plant invaders: emergent and emerging approaches. *Biological Conservation* 78(1):107–121. doi: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(96\)00021-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)00021-3)
- Martins SE, Rossi L, Sampaio PSP, Magenta e Mara AG (2008) Caracterização florística de comunidades vegetais de restinga em Bertioga, SP, Brasil. *Acta bot. bras.* 22(1):249–274. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000100024>

- McKinney AM, Goodell K (2011) Plant–pollinator interactions between an invasive and native plant vary between sites with different flowering phenology. *Plant Ecol* 212:1025–1035. doi: <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9882-y>
- Moodley D, Geerts S, Richardson DM, Wilson JR (2016) The importance of pollinators and autonomous self-fertilisation in the early stages of plant invasions: *Banksia* and *Hakea* (Proteaceae) as case studies. *Plant Biology* 18(1):124–131. doi: <https://doi.org/10.1111/plb.12334>
- Mustajarvi K, Siikamäki P, Rytönen S, Lammi A (2001) Consequences of plant population size and density for plant–pollinator interactions and plant performance. *Journal of Ecology* 89:80–87. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00521.x>
- Oliveira PE, Gibbs PE (2000) Reproductive biology of wood plants in cerrado community of Central Brazil. *Flora* 195:311–329
- Oriani A (2007) Morfoanatomia dos capítulos e biologia da polinização de *Syngonanthus elegans* (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae - Poales). Dissertação, Universidade Estadual Paulista
- R Development Core Team (2017) R: a language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing. www.r-project.org (Cons. 29/03/2017)
- Rangel ES, Nascimento MT (2011) Ocorrência de *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. (Apocynaceae) como espécie invasora de restinga. *Acta Botanica Brasilica* 25(3):657–663. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000300019>
- Reflora. Euphorbiaceae. In *Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB17495>. Accessed 20 April 2018
- Richardson DM, Pyšek P, Rejmánek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ (2000) Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions* 6(2):93–107. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Riet-Correa F, Carvalho KS, Dantas AFM, Medeiros RMT (2011) Spontaneous acute poisoning by *Crotalaria retusa* in sheep and biological control of this plant with sheep. *Toxicon* 58(6-7):606–609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.09.002>
- Rocha CFD, Bergallo HG, Van Sluys M, Alves MAS, Jamel CE (2007) The remnants of restinga habitats in the Brazilian Atlantic Forest of Rio de Janeiro state, Brazil: habitat loss and risk of disappearance. *Brazilian Journal of Biology* 6(2):263–273. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842007000200011>
- Rodríguez W, Vera A, Espinoza-Pernía J (2015) Florales de *Guaiaecum officinale*, *Peltophorum pterocarpum* y *Turnera*. *Anartia* 26:1–22
- Rogalski JM, Reis A, Reis MS, Hmeljevski KV (2009) Biologia reprodutiva da reófito *Dyckia brevifolia* Baker (Bromeliaceae), no Rio Itajaí-Açu, Santa Catarina, Brasil.

Revista Brasil. Bot 32(4):691–702. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042009000400008>

Santos SKD (2013) Visitantes florais e eficiência de polinização em *Jacquemontia bracteosa* Meisn (Convolvulaceae) em uma área no Semiárido brasileiro. Dissertação, Universidade Estadual de Feira de Santana

Santos-Filho FS, Almeida Jr. EB, Bezerra LFM, Lima LF, Zickel CS (2011) Magnoliophyta, restinga vegetation, state of Ceará, Brazil. Check List 7(4):478–485. doi: <http://dx.doi.org/10.15560/7.4.478>

Santos-Filho FS, Almeida Jr. EB, Lima PB, Soares CJDRS (2015) Checklist of the flora of the restingas of Piauí state, Northeast Brazil. Check List 11(2):1–10. doi: <http://dx.doi.org/10.15560/11.2.1598>

São-Mateus WMB (2013) Taxonomia de Papilionoideae (Leguminosae) da Mata Atlântica do Rio Grande do Norte, Brasil. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Schoeninger K, Somavilla A, Köhler A (2012) Comunidade de insetos visitantes florais de *Ocimum selloi* Benth (Lamiaceae) em Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Biotemas 25(1):55–63. doi: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n1p55>

Silva FF, Carvalho GA (2015) Espécies, número e frequência de visitantes florais em culturas agrícolas submetidas à aplicação de produtos fitossanitários. Arquivos do Instituto Biológico 82:01–07

Silveira Neto S, Haddad M, Moraes R, Lai Reyes AE (2005) ANAFAU – análise faunística. ESALQ, Piracicaba

Soares MGMC, Souza HM (1976) Crotalarias da Bahia. Boletim do Instituto Biológico da Bahia, Salvador 15(1):93–109

Sourakov A (2015) You are what you eat: native versus exotic *Crotalaria* species (Fabaceae) as host plants of the Ornate Bella Moth, *Utetheisa ornatrix* (Lepidoptera: Erebiidae: Arctiinae). Journal of natural history 49(39–40):2397–2415. doi: <https://doi.org/10.1080/00222933.2015.1006700>

Tella RD (1955) Dados bionômicos de *Utetheisa ornatrix* (L., 1758) (Lepidoptera, Arctiidae). Bragantia 14(11):109–115. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051955000100011>

Thompson JD (2001) How do visitation patterns vary among pollinators in relation to floral display and floral design in a generalist pollination system? Oecologia 126:386–394. doi: <https://doi.org/10.1007/s004420000531>

Traveset A, Chamorro S, Olesen JM, Heleno R (2015) Space, time and aliens: charting the dynamic structure of Galápagos pollination networks. AoB PLANTS 7(68):1–16. doi: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv068>

Van Kleunen M, Dawson W, Maurel N (2015) Characteristics of successful alien plants. *Molecular Ecology* 24(9):1954–1968. doi: <https://doi.org/10.1111/mec.13013>

Verçosa FC, Nascimento EC, Côrtes IMR (2010) Melitofilia em *Canavalia rosea* (Sw.) DC.(Leguminosae-Papilionoideae). *EntomoBrasilis* 3(3):73–76

Vermeij GJ (1996) An agenda for invasion biology. *Biological conservation* 78:3–9. doi: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(96\)00013-4](https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)00013-4)

Weiss PW, Noble, IR (1984) Status of coastal dune communities invaded by *Chrysanthemoides monilifera*. *Australian Journal of Ecology* 9:93–98. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1984.tb01347.x>

Zapata TR, Arroyo MTK (1978) Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica* 10(3): 221–230. doi: <https://doi.org/10.2307/2387907>

Ziller SRA (2000) Estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

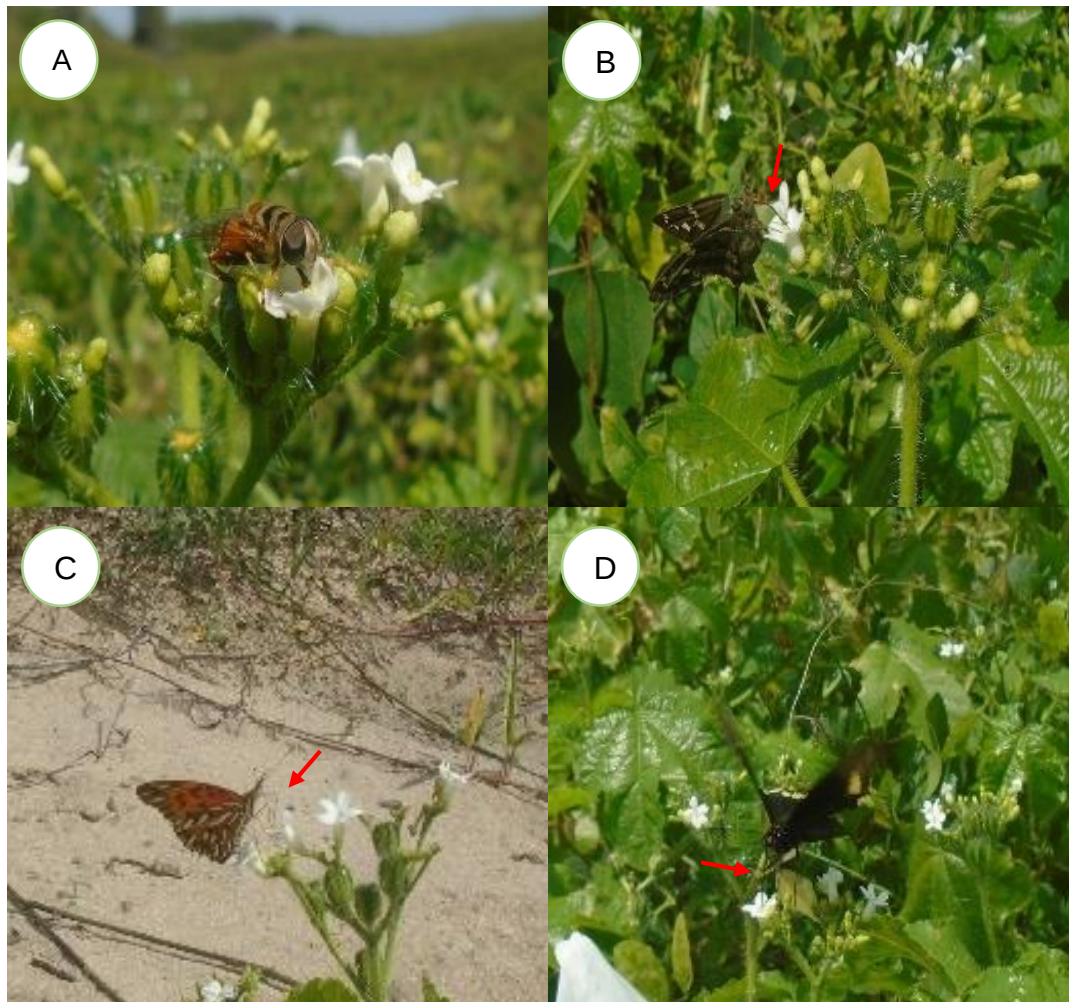
DADOS SUPLEMENTARES**1. Imagens de alguns visitantes florais de *Cnidoscolus urens*.**

Fig. 1S Visitantes florais coletando recurso disponibilizado por *C. urens* nas dunas da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar, MA. A. *Palpada vinetorum* – possível polinizador. B. *Urbanus proteus*. C. *Agraulis vanillae*. D. *Battus polydamas*. Detalhe da seta na cor vermelha apontando para a probóscide dos lepidópteros

Morfoespécie sp3	6	F	Y	--	--	--
Morfoespécie sp4	7	F	Y	--	--	--
Morfoespécie sp5	4	F	Z	--	--	--
Morfoespécie sp10	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp11	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp12	3	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp14	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp20	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp21	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp23	2	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp25	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp31	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp32	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp34	1	PF	Z	--	--	--
Morfoespécie sp37	1	PF	Z	--	--	--
HYMENOPTERA – APIDAE						
<i>Centris (Centris) aenea</i> Lepeletier, 1841	1	PF	Z	--	--	--
<i>Centris (Centris) decolorata</i> Lepeletier, 1841	5	F	Y	1	F	Z
<i>Epicharis (Epichares) bicolor</i> Smith, 1854	1	PF	Z	--	--	--
<i>Epicharis (Epichares) sp.</i>	5	F	Y	--	--	--
<i>Epicharis sp.</i>	3	PF	Z	--	--	--
<i>Eulaema (Apeulaema) nigrita</i> Lepeletier, 1841	2	PF	Z	--	--	--
<i>Exomalopsis sp.</i>	3	PF	Z	--	--	--
<i>Megachile (Holcomegachile) sp.</i>	--	--	--	1	F	Z
<i>Odyneropsis sp.</i>	1	PF	Z	--	--	--
<i>Xylocopa sp.</i>	--	--	--	1	F	Z
**Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis Olivier, 1789	--	--	--	21	SF	W
HYMENOPTERA – EUMENIDAE						
<i>Montezumia sp.</i>	2	PF	Z	--	--	--
<i>Zethus sp.</i>	1	PF	Z	--	--	--
HYMENOPTERA – SCOLIIDAE						
<i>Campsomeris sp.</i>	1	PF	Z	--	--	--
HYMENOPTERA – VESPIDAE						
<i>Polistes canadenses</i> (L. 1758)	1	PF	Z	2	MF	Z
COLEOPTERA – CHRYSOMELIDAE						
Bruchinae	33	MF	Y	--	--	--

Cassidinae	1	PF	Z	--	--	--
Hispinae	7	F	Z	--	--	--
COLEOPTERA – EROTYLIDAE						
Erotylidae 1	2	PF	Z	--	--	--
DIPTERA – SYRPHIDAE						
<i>*Palpada vinetorum</i> (Fabricius)	71	MF	W	--	--	--

¹Número total de indivíduos coletados. ²Pouco frequente (PF); frequente (F); muito frequente (MF); super frequente (SF). ³Constante (W); acessória (Y); acidental (Z). *Espécies predominantes em *C. urens*. **Espécie predominante em *C. retusa*

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o presente estudo, pode-se concluir que as espécies botânicas *Cnidoscolus urens* e *Crotalaria retusa* vem apresentando boas estratégias reprodutivas quanto a polinização natural no ambiente de dunas da Praia de Panaquatira. Além disso, apresentam também polinizadores efetivos eficientes (o díptero *Palpada vinetorum* e um coleóptero da subfamília Bruchinae para *C. urens*; *Xylocopa frontalis* para *C. retusa*) que as levam a se reproduzirem, favorecendo assim o seu estabelecimento nas áreas invadidas. Este fato é preocupante para as espécies nativas, uma vez que o estabelecimento dessas plantas exóticas, leva a ocupação do nicho das plantas nativas, podendo a longo prazo contribuir na extinção local das mesmas. Diante disso, é necessário a implantação de medidas legais que priorizem a preservação dos ecossistemas de vegetação costeira, uma vez que consistem de áreas ecologicamente importantes para a proteção dos aquíferos subterrâneos e contenção das dunas.

ANEXO

Normas da revista Arthropod-Plant Interactions

LANGUAGE

The journal *Arthropod-Plant Interactions* is published in English only. Therefore, submitted manuscripts must be in acceptable English language to be considered for review for publication. Those submitted not in that form will not be reviewed.

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in:

Medicine, biomedical and life sciences, chemistry, physics, engineering, business/economics, and humanities

- Edanz Editing Global

Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.

Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

<http://edanzediting.com/springer>

- Edanz Editing Global

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

ADDITIONAL REQUEST

Upon submission, the e-mail addresses of all authors will be requested. At the end of the submission process, the corresponding author will receive an acknowledgement e-mail and all co-authors will be contacted automatically to confirm their affiliation to the submitted work.

TITLE PAGE

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, and telephone number(s) of the corresponding author
- If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

Abstract

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

Keywords

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

TEXT

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

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

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

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

Footnotes

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

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

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

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

REFERENCES

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

- Journal article
Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>
Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:
Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329
- Article by DOI
Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>
- Book
South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London
- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) The rise of modern genomics, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

- ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

- EndNote style (zip, 2 kB)

TABLES

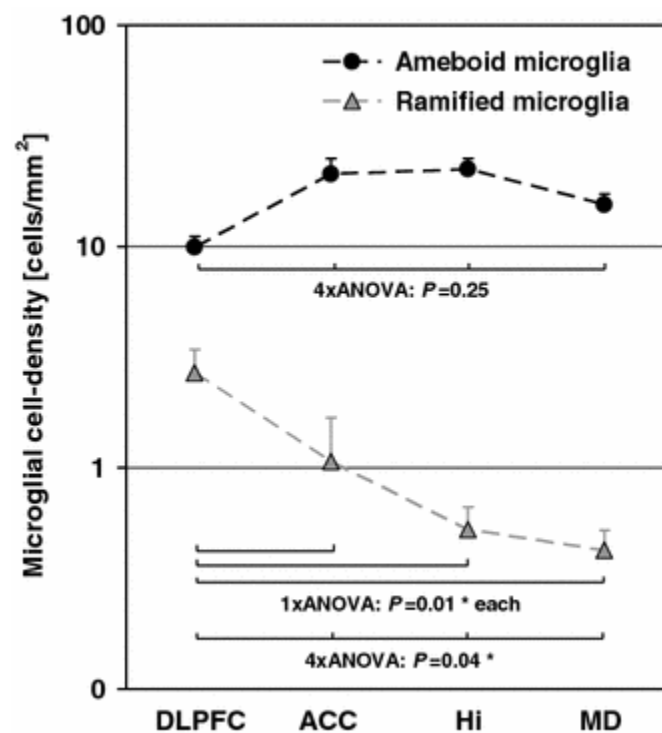
- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

Electronic Figure Submission

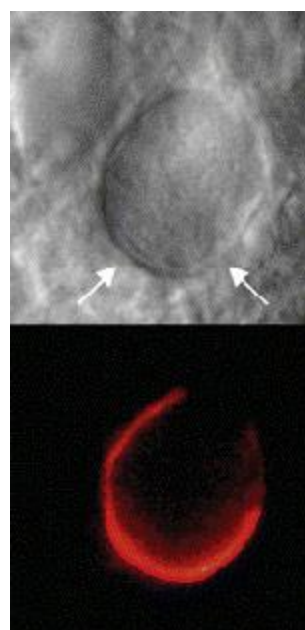
- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art



- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

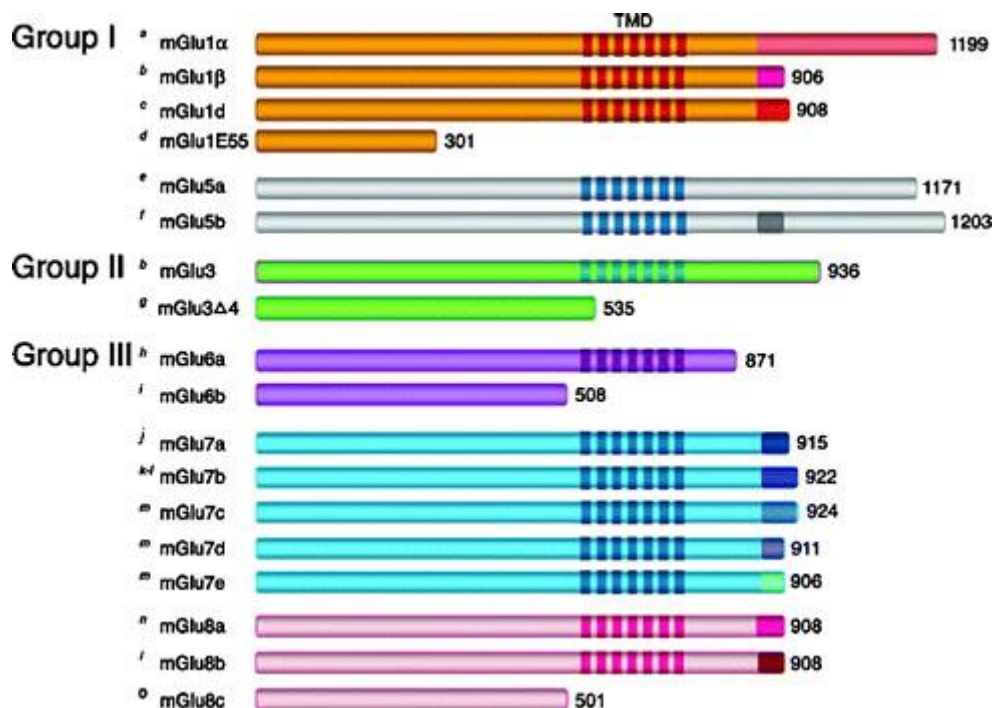
Halftone Art



- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Aspect ratio: 16:9 or 4:3
- Maximum file size: 25 GB
- Minimum video duration: 1 sec
- Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
- Refer to the supplementary files as "Online Resource", e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4".
- Name the files consecutively, e.g. "ESM_3.mpg", "ESM_4.pdf".

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.

Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:

- The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.
- The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”)).
- A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).
- No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions
- No data, text, or theories by others are presented as if they were the author’s own (“plagiarism”). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.

- Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, **before** the work is submitted.
- Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.
- Authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission. Changes of authorship or in the order of authors are **not** accepted **after** acceptance of a manuscript.
- Adding and/or deleting authors and/or changing the order of authors **at revision stage** may be justifiably warranted. A letter must accompany the revised manuscript to explain the reason for the change(s) and the contribution role(s) of the added and/or deleted author(s). Further documentation may be required to support your request.
- Requests for addition or removal of authors as a result of authorship disputes after acceptance are honored after formal notification by the institute or independent body and/or when there is agreement between all authors.

- Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. Sensitive information in the form of confidential proprietary data is excluded.

If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief's implementation of the following measures, including, but not limited to:

- If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.
- If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note. Please note that retraction means that the paper is **maintained on the platform**, watermarked "retracted" and explanation for the retraction is provided in a note linked to the watermarked article.
- The author's institution may be informed.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled "Compliance with Ethical Standards" when submitting a paper:

- Disclosure of potential conflicts of interest
- Research involving Human Participants and/or Animals
- Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is

inappropriate. Examples of potential conflicts of interests **that are directly or indirectly related to the research** may include but are not limited to the following:

- Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)
- Honoraria for speaking at symposia
- Financial support for attending symposia
- Financial support for educational programs
- Employment or consultation
- Support from a project sponsor
- Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships
- Multiple affiliations
- Financial relationships, for example equity ownership or investment interest
- Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)
- Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found

- here:

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

See below examples of disclosures:

Funding: This study was funded by X (grant number X).

Conflict of Interest: Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

RESEARCH DATA POLICY

A submission to the journal implies that materials described in the manuscript, including all relevant raw data, will be freely available to any researcher wishing to use them for non-commercial purposes, without breaching participant confidentiality.

The journal strongly encourages that all datasets on which the conclusions of the paper rely should be available to readers. We encourage authors to ensure that their datasets are either deposited in publicly available repositories (where available and appropriate) or

presented in the main manuscript or additional supporting files whenever possible. Please see Springer Nature's information on recommended repositories.

- List of Repositories
- Research Data Policy

General repositories - for all types of research data - such as figshare and Dryad may be used where appropriate.

Datasets that are assigned digital object identifiers (DOIs) by a data repository may be cited in the reference list. Data citations should include the minimum information recommended by DataCite: authors, title, publisher (repository name), identifier.

- DataCite

Where a widely established research community expectation for data archiving in public repositories exists, submission to a community-endorsed, public repository is mandatory. Persistent identifiers (such as DOIs and accession numbers) for relevant datasets must be provided in the paper

For the following types of data set, submission to a community-endorsed, public repository is mandatory:

AFTER ACCEPTANCE

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice, offprints, or printing of figures in color.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Copyright transfer

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.

- Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Online publication of color illustrations is free of charge. For color in the print version, authors will be expected to make a contribution towards the extra costs.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

OPEN CHOICE

Open Choice allows you to publish open access in more than 1850 Springer Nature journals, making your research more visible and accessible immediately on publication.

Benefits:

- Increased researcher engagement: Open Choice enables access by anyone with an internet connection, immediately on publication.
- Higher visibility and impact: In Springer hybrid journals, OA articles are accessed 4 times more often on average, and cited 1.7 more times on average*.
- Easy compliance with funder and institutional mandates: Many funders require open access publishing, and some take compliance into account when assessing future grant applications.

It is easy to find funding to support open access – please see our funding and support pages for more information.

*) Within the first three years of publication. Springer Nature hybrid journal OA impact analysis, 2018.

- Open Choice
- Funding and Support pages

Copyright and license term – CC BY

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

- Find more about the license agreement

ENGLISH LANGUAGE EDITING

For editors and reviewers to accurately assess the work presented in your manuscript you need to ensure the English language is of sufficient quality to be understood. If you need help with writing in English you should consider:

- Asking a colleague who is a native English speaker to review your manuscript for clarity.
- Visiting the English language tutorial which covers the common mistakes when writing in English.
- Using a professional language editing service where editors will improve the English to ensure that your meaning is clear and identify problems that require your review. Two such services are provided by our affiliates Nature Research Editing Service and American Journal Experts. Springer authors are entitled to a 10% discount on their first submission to either of these services, simply follow the links below.
 - English language tutorial
 - Nature Research Editing Service
 - American Journal Experts

Please note that the use of a language editing service is not a requirement for publication in this journal and does not imply or guarantee that the article will be selected for peer review or accepted.

If your manuscript is accepted it will be checked by our copyeditors for spelling and formal style before publication.