

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

JÉSSICA LUIZA SOUZA E SILVA

EFEITOS DA DENSIDADE POPULACIONAL E DA ATRATIVIDADE  
FLORAL SOBRE A FREQUÊNCIA DE VISITANTES FLORAIS DE *Jatropha*  
*mutabilis* (POHL) BAILL. (EUPHORBIACEAE): UMA ESPÉCIE MONÓICA

RECIFE

2014

JÉSSICA LUIZA SOUZA E SILVA

EFEITOS DA DENSIDADE POPULACIONAL E DA ATRATIVIDADE  
FLORAL SOBRE A FREQUÊNCIA DE VISITANTES FLORAIS DE *Jatropha*  
*mutabilis* (POHL) BAILL. (EUPHORBIACEAE): UMA ESPÉCIE MONÓICA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Dra. Ariadna Valentina Lopes  
Coorientador: Dr. Oswaldo Cruz Neto

Área de concentração: Ecologia Vegetal  
Linha de Pesquisa: Biologia Floral e da Reprodução

RECIFE

2014

Catálogo na fonte  
Elaine Barroso  
CRB 1728

**Silva, Jéssica Luiza Souza e**

**Efeitos da densidade populacional e da atratividade floral sobre a frequência de visitantes florais de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae): uma espécie monóica. / Recife: O Autor, 2014.**

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

**Orientadora: Ariadna Valentina Lopes**

**Coorientador: Oswaldo Cruz Neto**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Biologia Vegetal, 2014. Inclui referências e anexos**

- 1. Fertilização de plantas 2. *Jatropha* 3. Catimbau (Buíque, PE) I. Lopes, Ariadna Valentina (orient.) II. Cruz Neto, Oswaldo (coorient.) III. Título**

**571.8642**

**CDD (22.ed.)**

**UFPE/CCB-2017- 494**

JÉSSICA LUIZA SOUZA E SILVA

“EFEITOS DA DENSIDADE POPULACIONAL E DA ATRATIVIDADE FLORAL  
SOBRE A FREQUÊNCIA DE VISITANTES FLORAIS DE *Jatropha mutabilis* (POHL)  
BAILL. (EUPHORBIACEAE)”

APROVADA EM: 27 /02 /2014

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Oswaldo Cruz Neto (Coorientador)  
Pós-Doutorando do Departamento de Botânica – UFPE

---

Dra. Laís Angélica de Andrade Pinheiro Borges (1º Titular - externo)  
Departamento de Ciências Biológicas, Campus II (Areia) – UFPB.

---

Dr. Mauro Guida dos Santos (2º Titular - interno)  
Departamento de Botânica – UFPE

RECIFE  
2014

## AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo aquele que é a inteligência suprema, Deus, que se fez presente em todos os momentos da minha vida, pela força nos momentos difíceis, por ter feito sido a causa primária de todas as coisas e ter me permitido estudar um pouquinho delas.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dra. Ariadna Valentina Lopes, por ter sido uma excelente orientadora e acima de tudo uma amiga, paciente e que compartilhou o seu conhecimento me fazendo crescer um pouco mais. Você é um exemplo.

Ao meu coorientador desde a iniciação científica, Oswaldo Cruz Neto, por ter me ensinado bastante e dessa forma ter contribuído para o meu desenvolvimento, por ter sido essa pessoa sempre prestativa e atenciosa que é.

À minha família, pelo incentivo inicial de sempre batalharem para manter meus estudos, por terem me apoiado nas minhas decisões, por serem exemplos. Em especial, aos meus avós (Maria Luiza e Severino Marques), a quem amo muito e devo muito por boa parte da minha criação. Aos meus pais (Sirlene e Manoel) que são essenciais na minha vida e que mesmo com dificuldades sempre me proporcionaram tudo o que podiam. Às minhas tias (Albenia, Albaneide e Ane) que me influenciaram bastante, de uma maneira positiva, no que eu sou hoje. Às minhas irmãs (Juliana e Cristiane) por terem me dado às sobrinhas mais lindas e amorosas (Yasmim, Laís, Nicolly e Maria Clara) e ao meu irmão (Felipe). Eu amo vocês, obrigada por tudo!

À Marcela Woolley, por ter me ajudado a escolher essa área linda que é a Botânica, a Biologia Floral e Reprodutiva, por ter sido companheira de campo em todos os momentos deste trabalho. Obrigada!

Aos integrantes do Laboratório de Biologia Floral e Reprodutiva pelo convívio, especialmente, Elivania Barral, Ana Carolina, Shirlei Mestre, Sheila Milena, Marcela Tomaz, Isabelle Fernandes, Luanda Augusta, os momentos de descontração com vocês sempre serviram de estímulo para continuar.

Aos ajudantes de campo, Dona Zefinha, Sr. Valdecí, Sr. Cícero, Genivaldo, o Catimbau, sem vocês teria sido mais difícil.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da UFPE, pelo suporte à minha formação.

A Hildebrando por ter sido sempre muito atencioso, prestativo e eficiente.

À CAPES e ao ICMBio/CNPq (processo: nº 552054/2011-9) pelo apoio financeiro, através da bolsa de estudo e do projeto para o PARNA Catimbau, respectivamente.

## RESUMO

A polinização representa um dos principais mecanismos responsáveis pela manutenção da biodiversidade. Sua eficácia é determinada tanto pela organização dos indivíduos em uma população vegetal como pela organização da oferta dos recursos para os polinizadores. Com isso, a densidade de plantas e a oferta de recursos associadas com a maneira que esses recursos são distribuídos interferem no padrão de forrageamento dos visitantes. A maior densidade de indivíduos pode favorecer o fluxo polínico entre populações, porém suas flores podem ficar mais susceptíveis ao fluxo de pólen incompatível e dessa forma atuar diretamente no sucesso reprodutivo das plantas. Deve haver um balanço entre a atratividade floral e as taxas de visitação às flores, para assegurar a eficiência do sucesso reprodutivo. O objetivo do trabalho foi entender como a distribuição de indivíduos e de flores de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) interfere na atratividade dos seus visitantes florais. O estudo foi desenvolvido com uma população da espécie em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco. Especificamente, foi testado se aumentos na densidade de indivíduos em floração e, por consequência, na atratividade floral interferem positivamente no número de visitas às flores de *J. mutabilis*. Os indivíduos de *J. mutabilis* receberam mais visitas nas flores masculinas do que femininas (82,30% e 17,69%, respectivamente), sendo o visitante mais frequente em ambas, a abelha *Trigona spinipes*. A maior quantidade de indivíduos em floração numa parcela recebe maior quantidade de visitas ( $r = 0,41$ ,  $p < 0,05$ ), bem como, inflorescências com maior quantidade de flores abertas em um dia apresentaram ( $\rho = 0,39$ ,  $p < 0,05$ ). A caatinga é um ambiente extremo que sofre com a limitação de recursos florais, logo a elevação de flores em *J. mutabilis*, aumenta as chances de polinização, permitindo a manutenção das espécies de plantas e visitantes florais.

Palavras-chave: Caatinga. Frequência de visitas. Atratividade floral.

## ABSTRACT

Pollination is one of the main mechanisms responsible for the maintenance of biodiversity. Its effectiveness is determined both by the individual organization in a plant as for organizing the supply of resources to pollinators population. Thus, the density of plants and the supply of resources associated with the way these resources are distributed interfere with standard forreagemento visitors. The highest density of individuals can promote pollen flow between populations, but their flowers can become more susceptible to incompatible pollen flow and thus act directly on reproductive success of plants. There must be a balance between floral and atravidade rates visitação to flowers, to ensure the efficiency of reproductive success. The objective was to understand how the distribution of individuals and flowers of *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) interferes with the attractiveness of their floral visitors. The study was conducted with a population in the Caatinga in Paque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco. Specifically, it was tested whether increases in density on flowering and therefore the attractiveness / floral display positively affect the number of visits to flowers of *J. mutabilis*. Individuals of *J. mutabilis* received more visits in male flowers than female (82.30 % and 17.69%, respectively), being the most frequent visitor to both, bee *Trigona spinipes*. The largest amount of flowering individuals receive a portion higher amount of hits ( $r = 0.41$ ,  $p < 0.05$ ), as well as larger amount of inflorescences with open flowers present in a day ( $\rho = 0.39$ ,  $p < 0.05$ ). The calabash is an extreme environment which suffers, then the high limitation of floral features flowers in *J. mutabilis*, increases the chances of pollination, allowing the maintenance of the species of plants and pollinators.

Key words: Caatinga. Frequency of visits. Floral display

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Botões florais (A), flor masculina (B) e flor feminina (C) de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                                                           | 53 |
| <b>Figura 2.</b> Indivíduo reprodutivo (A) e parcela (B) de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                                                                              | 54 |
| <b>Figura 3.</b> Frequência média de visitantes florais de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em flores masculinas e femininas, em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco. (média e desvio padrão; t: -2,40, p; 0,02)..... | 55 |
| <b>Figura 4.</b> Frequência dos visitantes de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em flores masculinas e femininas, em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                                                          | 56 |
| <b>Figura 5.</b> Visitantes florais e quantidade de visitas às flores masculinas e femininas de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                                          | 57 |
| <b>Figura 6.</b> Correlação entre o número de visitas e a quantidade de indivíduos por parcelas de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                                       | 58 |
| <b>Figura 7.</b> Número de visitas relacionado à densidade de flores por inflorescência de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                                               | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Tipo e quantidade de flores, frequência de vistas de <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) por indivíduo e por parcela em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco..... | 60 |
| <b>Tabela 2.</b> Espécies de visitantes florais e tipos de flores visitadas em <i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.....                    | 61 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 APRESENTAÇÃO.....                                                                                                                               | 10 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....                                                                                                                      | 12 |
| 2.1 Distribuição de indivíduos e atratividade floral.....                                                                                         | 12 |
| 2.2 Sistema de polinização e reprodução em <i>Jatropha</i> (Euphorbiaceae).....                                                                   | 14 |
| 2.3 Representatividade de Euphorbiaceae na Caatinga.....                                                                                          | 15 |
| 3 REFERÊNCIAS .....                                                                                                                               | 17 |
| 4 MANUSCRITO.....                                                                                                                                 | 29 |
| Efeitos da densidade populacional e atratividade floral sobre a frequência de visitantes<br>florais de <i>Jatropha mutabilis</i> (Euphorbiaceae). |    |
| 5 CONCLUSÕES.....                                                                                                                                 | 62 |
| 6 ANEXOS.....                                                                                                                                     | 63 |

## 1 APRESENTAÇÃO

Interações ecológicas entre plantas e polinizadores representam um dos principais processos responsáveis pela manutenção da biodiversidade. Nessas interações, as plantas fornecem "recompensas", ou recursos (principalmente néctar e/ou pólen), aos agentes polinizadores, os quais promovem, em contrapartida, o fluxo polínico. Além do tipo de recurso ofertado, características florais como morfologia e simetria, coloração, odor, horário da antese e compreendem os sinais utilizados pelas plantas para atrair agentes polinizadores (FAEGRI & PIJL 1971; ENDRESS 1994; PROCTOR et al., 1996; NEAL et al. 1998).

Polinizadores e visitantes florais forrageiam de maneira a obterem a máxima eficiência, de forma que utilizem menor tempo na procura de alimento (EMLEN 1966; MACARTHUR & PIANKA 1966). Na natureza, os recursos estão distribuídos de maneira não uniforme, no espaço e no tempo (WIENS 1976), influenciando diretamente na escolha do local de forrageamento pelos animais (PYKE 1977;1984). A eficácia na polinização é determinada pela organização dos indivíduos em uma população vegetal e oferta de recursos alimentares (KLINKHAMER et al., 2001). Com isso, a densidade dos indivíduos das plantas e a oferta de recursos, como o pólen e néctar, associadas à maneira como estes recursos florais estão distribuídos em um indivíduo e na população, que constituem o que se denomina atratividade ou *display* floral (FEINSINGER et al., 1991; HODGES, 1995; KLINKHAMER et al., 2001), interferem de maneira direta no padrão de forrageamento dos visitantes florais (SHYKOFF & BUCHELI, 1995; HODGES, 1995) de espécies de plantas hermafroditas (SIH & BALTUS, 1987; ROBERTSON, 1992; AIZEN, 1997; GALLOWAY et al., 2002; GRINDELAND et al., 2005; METCALFE & KUNIN, 2005; ELLIOTT & IRWIN, 2009; DAUBER et al., 2010), de regiões temperadas (ZIMMERMAN, 1981; KUNIN, 1993; MUSTAJEÄRVI et al., 2001; CRESSWELL & OSBORN, 2004; ELLIOTT & IRWIN, 2009). Estudos sobre o mesmo tema, com enfoque em espécies monóicas ou dióicas são escassos (ECKHART, 1991; SHYKOFF & BUCHELI, 1995; VAUGHTON & RAMSEY, 1998). Do mesmo modo, poucos são os estudos com esta abordagem em regiões tropicais (FEINSINGER et al., 1991; VAUGHTON & RAMSEY, 1998), não havendo registro de estudos para ecossistemas áridos ou semiáridos.

O agente polinizador tende a selecionar plantas que apresentam um arranjo floral favorável para seu forrageamento, sem que haja gasto desnecessário de energia, ou seja, maiores quantidades de flores abertas tendem a ser mais atrativas, além de oferecer maior quantidade de recurso aos polinizadores, de forma que eles não precisarão forragear

intensivamente. As plantas, por sua vez, serão beneficiadas, tendo como resultado positivo a eficiência no fluxo polínico entre indivíduos de suas populações (KLINKHAMER et al., 2001).

A distribuição adensada de indivíduos de plantas e de flores tende a favorecer o fluxo polínico entre as populações (KEVAN & BAKER, 1983; MITCHELL, 1994). Flores que recebem muitas visitas estão susceptíveis ao fluxo de pólen incompatível (LARSON & BARRETT, 2000; ASHMAN et al., 2004; KNIGHT et al., 2005; BARROS, 2007; FREITAS et al., 2010; KARRON & MITCHELL, 2012). O mecanismo conhecido por limitação polínica já foi descrito para espécies da caatinga, como *Poincianella pyramidalis* (LEITE & MACHADO, 2009). Esse fator atua diretamente no sucesso reprodutivo das espécies de plantas, formação de frutos e sementes (KNIGHT et al., 2005; AIZEN & HARDER, 2007; HARDER & AIZEN, 2010). Deve, portanto, haver um balanço entre a atratividade floral e as taxas de visitação às flores, para assegurar a eficiência no sucesso reprodutivo das espécies de plantas (NATTERO, 2011; KARRON & MITCHELL, 2012).

O objetivo do manuscrito proposto nesta dissertação foi entender como a distribuição de indivíduos e de flores de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae), ocorrente em área de Caatinga, interfere na atratividade dos seus visitantes florais. Especificamente, foi testado se aumentos na densidade de indivíduos reprodutivos e, por consequência, na atratividade ou *display* floral, interferem positivamente no número de visitas às flores de *Jatropha mutabilis*.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Distribuição de indivíduos e atratividade floral

Segundo a teoria do forrageamento ótimo, proposta por MacArthur & Pianka (1966), os animais tendem a maximizar a eficiência do forrageio, consumindo alimentos mais lucrativos, ou seja, mais energético, com menos gasto de energia na captura e consumo. Alguns fatores que esses animais utilizam para a avaliação do recurso mais vantajoso são tempo de procura e captura, assim como energia proporcionada e gasta (EMLEN, 1966; MACARTHUR & PIANKA, 1966). Os recursos estão distribuídos em escala temporal e espacial, geralmente de maneira não uniforme (WIENS, 1976), influenciando na escolha do local de forrageamento pelos animais (PYKE, 1977; 1984).

Silva *et al.* (2013) corroboraram a teoria do forrageamento ótimo com formigas *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera, Formicidae, Attini). As formigas forragearam intensamente em áreas com maior disponibilidade de plantas pioneiras, uma vez que estas plantas apresentam folhas com baixas defesas química e física, sendo mais palatáveis. Aves frugívoras apresentaram dieta especialista, durante o período em que a frutificação foi elevada, e generalista, quando esses frutos estiveram escassos. Logo, a menor disponibilidade de alimento fez com que as aves frugívoras aumentassem a amplitude do nicho para suprir suas necessidades (FLEMING & WILLIAMS, 1990; GALETTI, 1993; RAGUSA-NETTO & FECCHIO, 2006; PAIVA *et al.*, 2013). A teoria do forrageamento ótimo também se aplica à polinização. Plantas investem em atributos reprodutivos que maximizam a frequência de visitantes florais (FAEGRI & PIJL, 1979; ENDRESS, 1994; PROCTOR *et al.*, 1996; JOLIVET, 1998; GUREVITCH *et al.*, 2009; SCHOONHOVEN *et al.*, 2005) e estes, por sua vez, são atraídos de acordo com a disponibilidade de recursos (RANDIS & WHITNEY, 2010).

A distribuição espacial dos recursos florais, como pólen e néctar, tem ação direta no padrão de forrageamento dos polinizadores (FAEGRI & PIJL, 1979; KLINKHAMER *et al.*, 2001; DE JONG & KLINKHAMER, 2005). Vários estudos já demonstraram que a variação da densidade de indivíduos e flores de uma população pode ainda influenciar o fluxo de pólen e o sucesso reprodutivo das plantas (FEINSINGER *et al.*, 1991; KUNIN, 1993; 1997; MUSTAJEÄRVI *et al.*, 2001). Aumentos na área de forrageamento podem potencializar o fluxo de pólen entre flores e indivíduos diferentes, da mesma espécie, causando um balanço positivo para a formação de frutos e sementes (KLINKHAMER *et al.*, 2001; GRINDELAND *et al.*, 2005; ROUBIK, 2000). Esses estudos, entretanto, foram realizados, em sua maioria,

experimentalmente em campo (KLINKHAMER & DE JONG, 1990; ROBERTSON, 1992; SCHMITT, 1983; SYKOFF & BUCHELI, 1995; OHASHI & YAHARA, 1998; MUSTAJEÄRVI et al., 2001; OHASHI & YAHARA, 2002; CRESSWELL & OSBORN, 2004; MITCHELL et al., 2004; GRINDELAND et al., 2005; ELLIOTT & IRWIN, 2009; KARRON & MITCHELL, 2012), com plantas hermafroditas (SIH & BALTUS, 1987; ROBERTSON, 1992; AIZEN, 1997; GALLOWAY et al., 2002; GRINDELAND et al., 2005; METCALFE & KUNIN, 2005; ELLIOTT & IRWIN, 2009; DAUBER et al., 2010) de florestas temperadas (ZIMMERMAN, 1981; KUNIN, 1993; MUSTAJEÄRVI et al., 2001; CRESSWELL & OSBORN, 2004; ELLIOTT & IRWIN, 2009). Estudos sobre o mesmo tema, com enfoque em espécies monóicas ou dióicas são escassos (ECKHART, 1991; SHYKOFF & BUCHELI, 1995; VAUGHTON & RAMSEY, 1998). Do mesmo modo, poucos são os estudos com esta abordagem em regiões tropicais (FEINSINGER et al., 1991; VAUGHTON & RAMSEY, 1998), não havendo registro de estudos para ecossistemas áridos ou semiáridos.

A frequência de visitas dos polinizadores às flores depende, entre outros fatores, da taxa de produção e do volume de néctar (HODGES, 1995; KLINKHAMER et al., 2001; SHAFIR et al., 2003). Portanto, um maior volume de néctar deve resultar no aumento de visitas (ASWORTH & GALETTO, 2002; STOUT & GOULSON, 2002; SANMARTIN-GAJARDO & SAZIMA, 2005). Logo, flores que produzem maiores quantidades de néctar e se encontram adensadas nos indivíduos e/ou na população, tendem a apresentar maior atratividade aos polinizadores e receber maior quantidade de visitas (KLINKHAMER et al., 2001). Grindeland et al. (2005) encontraram para *Digitalis purpurea* L., maior frequência de visita em áreas com indivíduos adensados que apresentavam maior quantidade de flores abertas (atratividade/*display* floral).

Abelhas podem perceber e discriminar a localização das flores e de indivíduos em uma população (FAEGRI & PIJL, 1979). A variação na produção de néctar em um indivíduo interfere na frequência de visitas dos indivíduos mais próximos (KLINKHAMER et al., 2001). Neste caso, se a produção de néctar em flores de um indivíduo for baixa, o polinizador que visitou essas flores pode não visitar as flores de indivíduos vizinhos, mesmo que essas sejam ricas em néctar, além de diminuir níveis de geitonogamia (FAEGRI & PIJL, 1979; KLINKHAMER et al., 2001).

O sistema sexual do tipo monóico é caracterizado pela presença de flores unissexuais no mesmo indivíduo (FAEGRI & PIJL, 1979), sendo registrado em 5% das angiospermas

(CHALESWORTH, 2002). A moinoícia evoluiu inúmeras vezes a partir do hermafroditismo (BARRETT, 2002) ou do andromonoicismo (DE JONG et al., 2008), como meio de evitar ou reduzir a geitonogamia e a depressão endogâmica, que diminuem o *fitness* dos indivíduos de plantas e a manutenção das espécies (ASHMAN, 2006). Essas duas vias tem como base as mutações genéticas de esterilidade de sexo, resultando na produção de flores unissexuais (CHARLESWORTH & CHARLESWORTH, 1978a,b) ou indivíduos com flores hermafroditas e masculinas e, em seguida, de flores com sexos separados (DE JONG et al., 2008). A monoícia pode favorecer a polinização cruzada por reduzir as chances de limitação polínica (ASHMAN & STANTON, 1991; HARDER et al., 2000).

## 2.2 Sistemas de polinização, sexual e reprodutivo em *Jatropha* (Euphorbiaceae)

O gênero *Jatropha* (Euphorbiaceae) pertence à subfamília Crotonoideae, tribo Jatrophae (WEBSTER, 1994a; JUDD et al., 2009). É um gênero nativo do Brasil (SOUZA & LORENZI, 2012) e constituído por mais de 175 espécies, com hábitos arbóreo, arbustivo ou herbáceo (WEBSTER, 1994b), que apresentam distribuição pantropical (RODRÍGUEZ-ACOSTA et al., 2009; CORDEIRO & SECCO, 2014), contendo espécies que ocorrem em Cerrado, floresta Atlântica e/ou Caatinga (CORDEIRO & SECCO et al., 2014). O Brasil está representado por 13 espécies: *J. bornmuelleri*, *J. breviloba*, *J. catingae*, *J. curcas*, *J. elliptica*, *J. gossypifolia*, *J. hastifolia*, *J. isabellei*, *J. molissima*, *J. mutabilis*, *J. ribifolia*, *J. stigmatica*, *J. weddelliana*. Na Caatinga, este gênero de Euphorbiaceae é representado por apenas 7 espécies (CORDEIRO et al., 2014), das quais quatro (*J. curcas*, *J. molissima*, *J. mutabilis*, *J. ribifolia*) ocorrem no estado de Pernambuco (FIGUEIREDO et al., 2000; GOMES et al., 2006).

As flores de *Jatropha* são actinomorfas, unissexuais e agrupadas em inflorescências cimosas (WEBSTER, 1994b). As espécies do gênero *Jatropha* são monóicas, com as flores femininas mais próximas à base da inflorescência do que as masculinas. As flores femininas e masculinas são do tipo disco (ou "prato"), ambas oferecendo néctar como recurso floral; Em flores masculinas, além de néctar, o pólen também pode ser coletado por visitantes como recurso secundário (REDDI & REDDI, 1983; WEBSTER, 1994b; RAJU & EZRADANAM, 2002; SANTOS et al., 2005; SÁTIRO & ROQUE, 2008; ALAM et al., 2011). As flores dessas espécies apresentam corola de coloração diversificada, como por exemplo, amarela e vermelha, com estames amarelos ou brancos, e estigma amarelo ou amarelo-esverdeado (e. g.

REDDI & REDDI, 1983; RAJU & EZRADANAM, 2002; SANTOS et al., 2005; ALAM et al., 2011; LUO et al., 2011).

Estudos realizados por Machado & Lopes (2003, 2004) revelaram a predominância de espécies polinizadas por insetos (entomófilas), principalmente por abelhas, em áreas de Caatinga. Algumas espécies de *Jatropha* apresentam características florais que se enquadrem em duas diferentes síndromes de polinização: como ornitofilia, melitofilia (WEBSTER, 1994b; SANTOS et al., 2005; NEVES et al., 2011). As abelhas constituem o principal grupo de polinizadores dessas espécies, responsáveis pelo fluxo polínico, como registrado para *J. gossypifolia* (REDDI & REDDI, 1983), *J. curcas* (RIANTE et al., 2010), *J. molissima*, *J. mutabilis* e *J. ribifolia* (SANTOS et al., 2005; NEVES et al., 2011). Embora as espécies de abelhas sejam as mais frequentes, foram descritas visitas por morcegos (NEVES et al., 2011), borboletas, moscas (REDDI & REDDI, 1983; RAJU & EZRADANAM, 2002; RIANTE et al., 2010; NEVES et al., 2011), beija-flores (SANTOS et al., 2005; NEVES et al., 2011) e besouros (LUO et al., 2011).

As espécies de *Jatropha* estudadas até o momento são autocompatíveis (geitonogâmicas) (SANTOS et al., 2005; MACHADO et al., 2006; NETO et al., 2010; NEVES et al., 2011), sendo descrita a formação de frutos por apomixia apenas em *J. curcas* (BHATTACHARYA et al., 2005; CHANG & WEI et al., 2007; JUHÁSZ et al. 2009; Machado et al., 2006). A frequente separação temporal entre flores masculinas e femininas, sendo a duração da fase masculina mais curta que a feminina, é comum em espécies que apresentam flores com sexos separados, onde o número de flores masculinas é superior ao das femininas (BAWA, 1980; BAWA & BEACH, 1981); esta última estratégia sendo comum também em espécies dióicas (e.g. LOPES & MACHADO, 1996). Logo, as flores das espécies de *Jatropha* podem apresentar dioícia temporal, como, *J. mutabilis* (NEVES et al., 2011). Este mecanismo é importante para a dispersão de pólen. A monoícia e a separação temporal de flores masculina e feminina favorecem o fluxo polínico entre indivíduos diferentes e, consequentemente, a ocorrência de xenogamia (BAWA, 1980; FREITAS et al., 2001).

### 2.3 Representatividade de Euphorbiaceae na Caatinga

Euphorbiaceae é uma das mais importantes famílias de angiospermas, com distribuição pantropical (SÁTIRO & ROQUE, 2008; CORDEIRO et al., 2014) sendo representada por 245 gêneros e, aproximadamente, 6.300 espécies (GOVAERTS et al., 2000; SECCO et al., 2012). As espécies distribuem-se nas regiões tropicais e subtropicais, com

exceção de alguns gêneros restritos a regiões extratropicais (WEBSTER, 1994). No Brasil, a família é uma das maiores em número de espécies (GIULIETTI et al., 2005), sendo representada por 63 gêneros, 911 espécies, sendo 629 endêmicas de algum ecossistema como o Pantanal, Pampas, floresta Tropical ou a Caatinga (CORDEIRO et al., 2014). A região nordeste do Brasil é considerada centro de diversidade da família (CORDEIRO & CARNEIRO-TORRES, 2006), abrigando 50 gêneros e 240 espécies, das quais 54 espécies estão presentes em Pernambuco (LUCENA & ALVES, 2010).

A família Euphorbiaceae é uma das três mais numerosas da Caatinga (ALVES, 1998; SAMPAIO et al., 2002; GIULIETTI et al., 2003; MACHADO & LOPES, 2003; SÁTIRO & ROQUE, 2008; LUCENA & ALVES, 2010), com 212 espécies (CORDEIRO et al., 2012). Em estudo recente (SIQUEIRA-FILHO et al., 2012) foram encontradas, nessa família, 22 espécies endêmicas, 11 raras e 1 exótica. A Caatinga é certamente a região brasileira com maior diversidade das espécies de Euphorbiaceae (ALVES, 1998). Na Caatinga arenosa do médio Rio São Francisco, Sátiro & Roque (2008) encontraram Acalyphoideae, Crotonoideae e Euphorbioideae como as subfamílias mais bem representadas, sendo *Cnidoscolus quercifolius* e *C. urnigerus* restritas à essa região.

Morfologicamente, Euphorbiaceae é uma das famílias mais diversificadas do grupo das angiospermas (WEBSTER, 1994a, 1994b). Suas flores apresentam ampla diversidade estrutural, variam em tamanho e cor, por exemplo, como consequência da adaptação a uma grande variedade de polinizadores (WEBSTER, 1994a). Essa família inclui diversas espécies de interesse econômico, como as da subfamília Crotonoideae (SMITH et al., 2004), por conterem terpenóides e flavonóides, com os quais estão sendo produzidos extratos antibacterianos (LENCINA et al., 2001; SILVA et al., 2011). *Euphorbia millii* (Euphorbioideae), por exemplo, é muito utilizada no nordeste brasileiro como cerca viva (SOUZA & LORENZI, 2012). *Ricinus communis* é uma espécie bastante cultivada, 85% da cultura em área nordestina (LIMA et al., 2008), devido à extração de óleo para a produção de biodiesel e fármacos (SOUZA & LORENZI, 2008). As espécies do gênero *Jatropha* são bastante aplicadas na medicina para o tratamento de alguns processos patológicos (HODGSON et al., 2000), incluindo *J. gossypifolia* (MARIZ et al., 2010), além de ornamentais (JUDD et al., 2009).

## 3 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J.; LACHER JR, T. E.; DA SILVA, J. M. C. The Caatinga. In: MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C. G.; ROBLES, G. P.; PILGRIM, J.; FONSECA, G. B. A.; BROOKS, T.; KONSTANT, W. R. (eds.) **Wilderness: earth's last wild places**. México: Cemex, Agrupación Serra Madre, S. C., 2002. p. 174-181.
- AIZEN, M. A. influence on local floral density and sex ratio on pollen receipt and seed output: empirical and experimental results in dichogamous *Alstromeria aurea* (Alstromeriaceae). **Oecologia**, v. 111, p. 404-412, 1997.
- AIZEN, M. A. & HARDER, L. D. Expanding the limits of the pollen-limitation concept: effects of pollen quantity and quality. **Ecology**, v. 88, p. 271-181, 2007.
- ALAM, N. C. N.; ABDULLAH, T. L. & ABDULLAH, N. A. P. Flowering and fruiting set under Malaysian climate of *Jatropha curcas* L. **American Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 6, n. 1, p. 142-147, 2011.
- ALVES, M. V. Checklist das espécies de Euphorbiaceae Juss. ocorrentes no semi-paraíba, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 12, n. 3, p. 485-495, 2011.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B. & ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- ANDRADE-LIMA, D. The Caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-153, 1981.
- ASHMAN, T. L.; KNIGHT, T. M.; STEETS, J. A.; AMARASEKARE, P.; BURD, M.; CAMPBELL, D. R.; DUDASH, M. R.; JOHNSTON, M. O.; MAZER, S. J.; MITCHELL, R. J.; MORGAN, M. T.; WILSON, W. G. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2408-2421, 2004.
- ASWORTH, T-L. The evolution of separate sexes: a focus on the ecological context. In: Harder, L. D. & Barrett, S. C. H. (eds). **Ecology and evolution of flowers**. Oxford: Oxford University Press, 2006. pp. 204-222.
- ASWORTH, L. & GALETTO, L. Pollinators and reproductive success of the wild cucurbit *Cucurbita maxima* ssp. *Andreana* (Cucurbitaceae). **Plant Biology**, v. 3, p. 398-404, 2002.

- ASWORTH, T-L. & STANTON, M. L. Seasonal variation in pollination dynamics of the sexually dimorphic species, *Sidalcea oregana* ssp. *spicata* (Malvaceae). **Ecology**, v. 72, p. 993–1003, 1991.
- BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; LIMA, L. C. M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2003. p. 657-693.
- BARROS, E. C. O. **Fenologia da floração, polinização e sistema reprodutivo de duas espécies simpátricas de *Inga* na Amazônia Central**. Manaus: INPA, Universidade Federal do Amazonas, 2007. 84 p. Dissertação de mestrado.
- BARRETT, S. C. H. The evolution of plant sexual diversity. **Nature**, v. 3, p. 274-284, 2002.
- BHATTACHARYA, A.; DATTA, K. & DATTA, S. Floral biology, floral resource constraints and pollination limitation in *Jatropha curcas* L. **Journal of Biological Sciences**, Pakistan, v. 8, p. 456-460, 2005.
- BAWA, K. S. Evolution of dioecy in flowering plants. **Annual Review of Ecology Evolution and Systematic**, v. 34, p. 1138-1142, 1980.
- BAWA, K. S. & BEACH, J. H. Evolution of sexual systems in flowering plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 68, n. 2, p. 254-274, 1981.
- BERTIN, R. I. Incidence of monoecy and dichogamy in relation to self-fertilization in Angiosperms. **American Journal of Botany**, v. 80, p. 557–560, 1993.
- BEZERRA, E. S.; LOPES, A. V. & MACHADO, I. C. Biologia reprodutiva de *Byrsonima gardnerana* A. Juss. (Malpighiaceae) e interações com abelhas *Centris* (Centridini) no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, p. 95-108, 2009.
- CARVALHO, C. A. L. & MARCHINI, L. C. Plantas visitadas por *Apis mellifera* L. no Vale do rio Paraguaçu, Município de Castro Alves, Bahia. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 2, p. 333-338, 1999.
- CHANG-WEI, L.; KUN, L.; YOU, C.; YOUNG-YU, S. Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. **Forestry Studies in China**, v. 9, p. 114-119, 2007.
- CHARLESWORTH, B. & D. CHARLESWORTH. A model for the evolution of dioecy and gynodioecy. **The American Naturalist**, v. 112, p. 975–997, 1978a.
- CHARLESWORTH, D. Plant sex determination and sex chromosomes. **Heredity**, v. 88, p. 94-101, 2002.

- CHARLESWORTH, D. & B. CHARLESWORTH. Population genetics of partial male-sterility and the evolution of monoecy and dioecy. **Heredity**, v. 41, p.137–153, 1978b.
- CONSERVA, L. M.; PEREIRA, C. A. B.; TORRES, D. S. C.; CARUZO, M. B. R.; CORDEIRO, I.; SOARES, M. B. P.; COSTA, J. F. O.; SANTOS, R. R. Euphorbiaceae. In: LUCCHESI, A. M. **Plantas da caatinga**: perfil botânico, fitoquímica e atividade biológica. Recife: Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto do Milênio do Semi-Árido, 2006. v. 6, p. 211-252.
- CORDEIRO, I.; SECCO, R.; CARDIEL, J. M.; STEINMANN, V.; CARUZO, M. B. R.; RIINA, R.; LIMA, L. R. DE; MAYA-L, C. A.; BERRY, P.; CARNEIRO-TORRES, D. S.; PSCHIEDT, A. C.; SILVA, O. L. M.; MELO, A. L.; SALES, M. F.; SILVA, M. J.; OLIVEIRA, L. S. D.; SOUZA, S. M. A.; SODRÉ, R. C.; MARTINS, M. L. L. Euphorbiaceae. In: \_\_\_\_\_. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1130>> Acesso em: 11 jan. 2014.
- CORDEIRO, I.; SECCO, R. Jatropha. In: \_\_\_\_\_. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB17580>>. Acesso em: 11 jan. 2014.
- CORDEIRO, I.; SECCO, R.; CARDIEL, J. M.; STEINMANN, V.; CARUZO, M. B. R.; RIINA, R. G.; LIMA, L. R.; MAYA-L, C. A.; BERRY, P.; CARNEIRO-TORRES, D. S.; PSCHIEDT, A. C.; SILVA, O. L. M. Euphorbiaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB000113>>. Acesso em: 27 abr. 2012.
- CORDEIRO, I. & CARNEIRO-TORRES, D. S. Euphorbiaceae. In: BARBOSA, M. R. V. et al. (Orgs.). **Checklist das Plantas do Nordeste Brasileiro**: Angiospermas e Gymnospermas. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. v. 1, p. 71-74.
- CRESSWELL, J. E. & OBSBORN, J. L. The effect of patch size and separation on bumblebee foraging in oil seed rape: implications for gene flow. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, p. 539-46, 2004.
- DAUBER, J.; BIESMEIJER, J. C.; GABRIEL, D.; KUNIN, W. E.; LAMBORN, E.; MEYER, B.; NIELSON, B.; POTTS, S. G.; ROBERTS, S. P. M.; SÖBER, V.; SETTELE, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; STOUT, J. C.; TEDER, T.; TSCHULIN, T.; VIVARELLI, D.; PETANIDOU, T. Effects of patch size and density on flower

- visitation and seed set of wild plants: a pan-European approach. **Journal of Ecology**, v. 28, p. 188-196, 2010.
- ECKHART, V. M. The effects of floral display on pollinator visitation vary among populations of *Phacelia linearis* (Hydrophyllaceae). **Evolutionary Ecology**, v. 5, p. 370-384, 1991.
- ELLIOTT, S. E. & IRWIN, R. E. Effects of flowering plant density on pollinator visitation, pollen receipt, and seed production in *Delphinium barbeyi* (Ranunculaceae). **American Journal of Botany**, v. 96, n. 5, p. 912-919, 2009.
- EMLEN, J. M. The role of the and energy in food preference. **The American Naturalist**, v. 100, n. 916, p. 611-617, 1966.
- ENDRESS, P. K. **Diversity and evolutionary biology of tropical flowers**. Cambridge: Cambridge University Press. 1994.
- FAEGRI, K. & PIJL, L. V. D. **The principles of pollination ecology**. London: Pergamon Press, 1979.
- FEINSINGER, P., TIEBOUT, H. M. III & YOUNG, B. E. Do tropical bird-pollinated plants exhibit density-dependent interactions? Field experiments. **Ecology**, v. 72, p. 1953-1963, 1991.
- FIGUEIREDO, L. S., RODAL, M. J. N. & MELO, A. L. Florística e fitossociologia de uma área de vegetação arbustiva caducifolia espinhosa no município de Buíque-Pernambuco. **Naturalia**, v. 25, p. 205-224, 2000.
- FLEMING, T. H. & WILLIAMS, C. F. Phenology, seed dispersal, and recruitment in *Cecropia peltata* (Moraceae) in Costa Rican tropical dry forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, p. 163-178, 1990.
- FREITAS, L.; BERNADELLO, G.; GALETTO, L.; PAOLI, A. A. S. Nectaries and reproductive biology of *Croton sarcopetalus* (Euphorbiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 136, p. 267-277, 2001.
- FREITAS, L.; WOŁOWSKI, M. & SIGILIANO, M. I. Ocorrência de limitação polínica em plantas de Mata Atlântica. **Oecologia Australis**, v. 14, n.1, p. 251-165, 2010.
- GALLOWAY, L. F.; CIRIGLINO, T.; GREMSKIT, K. The contribution of display size and dichogamy to potential geitonogamy in *Campanula amreicana*. **International Journal of Plant Science**, v. 163, n. 1, p. 133-139, 2002.
- GALETTI, M. Diet of the Scaly-headed Parrot (*Pionus maximiliani*) in a semideciduous forest in Southeastern Brazil. **Biotropica**, v. 25, p. 419-425, 1993.

- GALETTO L. & G. BERNARDELLO. Rewards in flowers: Nectar. In: DAFNI A., KEVAN, P. G.; HUSBAND, B. C. (eds.). **Practical Pollination Biology**. [S.l.]: Enviroquest, 2005. 590 p.
- GARIGLIO, M. A. SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. [S.l.]: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p.
- GOMES, A. P. S.; RODAL, M. J. N. & MELO, A. L. Florística e fitogeografia da vegetação arbustiva subcaducifólia da Chapada de São José, Buíque, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n.1, p. 37- 48, 2006.
- GOVAERTS, R.; FRODIN, D. G. & RADCLIFFE-SMITH, A. **World checklist and bibliography of Euphorbiaceae (and Pandaceae)**. [London]: Royal Botanical Gardens Kew, 2000. 420 p. v 2.
- GRINDELAND, J. M.; SLETVOLD, N. & IMS, R. A. Effects of floral display size and plant density on pollinator visitation rate in a natural population of *Digitalis purpurea*. **Functional Ecology**, v.19, p.383-390, 2005.
- GIULIETTI, A. M.; NETA, A. L. B.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Org) **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. p. 47-60.
- GUREVITCH, J.; SCHEINER, G. A. & GORDON, A. Crescimento e reprodução de indivíduos. In: GUREVITCH, J.; SCHEINER, G. A.; GORDON, A. **Ecologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed. p. 155-184, 2009
- HARDER, L. D. & AIZEN, M. A. Floral adaptation and diversification under pollen limitation. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, v. 365, p. 529–543, 2010.
- HARDER, L. D.; BARRETT, S. C. H. & COLE, W. W. The mating consequences of sexual segregation within inflorescences of flowering plants. **Proceeding of the Royal Society B: Biological Science**, v. 267, p. 315–320, 2000.
- HODGES, S. A. The influence of nectar production on hawkmoth behaviour, self pollination and seed production in *Mirabilis multiflora* (Nyctaginaceae). **American Journal of Botany**, v. 82, p.197-204, 1995.

- HODGSON, N. C.; MANTHANER, R. A. & OSTBYE, T. The search for an ideal method of abdominal fascial closure: a meta-analysis. **Annals of Surgery**, v. 231, n. 3, p. 436-442, 2000.
- JOLIVET, P. Plant-feeding insects and arthropods of the geological past. In: JOLIVET, P. **Interrelationship between insects and plants**. New York: CRC Press. 11-26 p. 1998.
- DE JONG, T. J. & KLINKHAMER, P. **Evolutionary Ecology of Plant Reproductive Strategies**. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2005. 333 p.
- DE JONG, T. J., SHMIDA, A. & THUIJSMAN, F. Sex allocation on plants and the evolution of monoecy. **Evolutionary Ecology Research**, v. 10, p. 1087-1109, 2008.
- JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 632 p.
- JUHÁSZ, A. C. P.; PIMENTA, S.; SOARES, B. O.; MORAIS, D. L. B.; RABELLO, H. O. Biologia floral e polinização artificial de pinhão-mansão no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1073-1077, 2009.
- KARRON, J. D. & MITCHELL, R. Effects of floral display size on male and female reproductive success in *Mimulus ringens*. **Annals of Botany**, v. 109, p. 563-570, 2012.
- KEVAN, P. G. & BAKER, H. G. Insects as flower visitors and pollinators. **Annual Review of Entomology**, v. 28, p. 407-453, 1983.
- KNIGHT, T. M.; STEETS, J. A.; VAMOSI, J. C.; MAZER, S. J.; BURD, M.; CAMPBELL, D. R.; DUDASH, M. R.; JOHNSTON, M. O.; MITCHELL, R. J.; ASHMAN, T. L. . Pollen limitation of plant reproduction: pattern and process. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 36, p. 467-497, 2005.
- KINOSHITA, L. S.; TORRES, R. B.; FOMI-MARTINS, E. R.; SPINELLI, T.; AHN, Y. J.; CONSTÂNCIO, S. S. Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da mata do Sítio São Francisco, Campinas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 20, p. 313-327, 2006.
- KLINKHAMER, P. G. L. & de JONG, T. J. Effects of plant size, plant density and sex differential nectar reward on pollinator visitation in the protandrous *Echium vulgare* (Boraginaceae). **Oikos**, v. 57, p. 399-405, 1990.
- KLINKHAMER, P. G. L., DE JONG, T. J. & LINNEBANK, L. A. Small-scale patterns determine ecological relationships: an experimental example using nectar production rates. **Ecology Letters**, v. 4, p. 559-567, 2001.

- KUNIN, W. E. Sex and the single mustard: population density and pollinator behavior effects on seed-set. **Ecology**, v. 74, p. 2145–2160, 1993.
- KUNIN, W. E. Population size and density effects in pollination: pollinator foraging and reproductive success in experimental arrays of *Brassica kaber*. **Journal of Ecology**, v. 85, p. 225–234, 1997.
- LARSON, B. M. H. & BARRETT, S. C. A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 69, p. 503-520, 2000.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M. & SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2003.
- LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. In: Leal, I. R. **Conservação internacional do Brasil** (ed.). [S.l.]: Megadiversidade, 2005. p.139-146. v.1
- LEITE, A. V. & MACHADO, I. C. Biologia reprodutiva da “catingueira” (*Caesalpinia pyramidalis* Tul., Leguminosae-Caesalpinioideae), uma espécie endêmica da Caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 1, p.79-88, 2009.
- LIMA, C. B.; FILHO, S. V. S.; SANTOS, M. A.; OLIVEIRA, M. Desenvolvimento da mamoneira, cultivada em vasos, sob diferentes níveis de salinidade da água em latossolo vermelho-amarelo eutrófico. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 5, p. 50-56, 2008.
- LIMA, J. L. S. **Plantas forrageiras de Caatinga: usos e potencialidades**. Petrolina: Associação de Plantas do Nordeste, 1996. 44 p.
- LOPES, A. V. & MACHADO, I. C. Floral biology and reproductive ecology of *Clusia nemorosa* (Clusiaceae) in northeastern Brazil. **Plant Systematics and Evolution**, v. 213, p. 71-90, 1998.
- LUCENA, M. F. A. & ALVES, M. Notas taxonômicas para Euphorbiaceae s. l. do Nordeste do Brasil. **Hoehnea**, v. 37, n. 1, p. 71-85, 2010.
- LUO, C. W.; HUANG, Z. Y.; CHEN, X. M.; LI, K.; CHEN, Y.; SUN, Y. Y. Contribution of diurnal and nocturnal insects to the pollination of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) in southwestern China. **Entomological Society of America**, v. 104, n. 1, p. 149-154, 2011.
- MACARTHUR, R. H. & PIANKA, E. R. On optimal use of patchy environment. **The American Naturalist**, v. 100, p. 603-609, 1966.

- MACHADO, I. C. & LOPES, A. V. Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 515-563.
- MACHADO, I. C. & LOPES, A. V. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. **Annals of Botany**, v. 94, p. 365-376, 2004.
- MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. & SAZIMA, M. Sexual systems and a review of the breeding system studies in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. **Annals of Botany**, v. 97, p. 277-287, 2006.
- METCALFE, D. B. & KUNIN, W. E. The effects of plant density upon pollination success, reproductive effort and fruit parasitism in *Citrus landanifer* L. (Cistaceae). **Plant Ecology**, v. 185, n. 1, p. 41-47, 2006.
- MILET-PINHEIRO, P. & SCHLINDWEIN, C. Comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) e plantas em uma área do Agreste pernambucano, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, n. 4, p. 625-636, 2008.
- MITCHELL, R. J. Effects of floral traits, pollinator visitation, and plant size on *Ipomopsis aggregata* fruit production. **American Naturalist**, v. 143, p. 870-889, 1994.
- MITCHELL, R. J.; KARRON, J. D.; HOLMQUIST, K. G.; BELL, J. M. The influence of *Mimulus rigens* floral display size on pollinator visitation patterns. **Functional Ecology**, v. 18, p. 116-124, 2004.
- M. M. A. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite - Monitoramento do bioma Caatinga**. [S.l.]: Centro de Sensoriamento Remoto, 2010. 58 p.
- MUSTAJÄRVI, K.; SIIKAMÄKI, P., RYTKÖNEN, S., LAMMI, A. Consequences of plant population size and density for plant-pollinator interactions and plant performance. **Journal of Ecology**, v. 89, p. 80-87, 2001.
- NETO, V. B.; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B.; ZUFFO, M. C. R.; ALVAREZ, R. C. F. Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, 2010.
- OHASHI, K. & YAHARA, T. Effects of variation in flower number on pollinator visits in *Cirsium purpuratum* (Asteraceae). **American Journal of Botany**, v. 85, n. 2, p. 219-224, 1998.

- OHASHI, K. & YAHARA, T. Visit larger displays but proportionally fewer flowers: counterintuitive behavior of néctar-collecting bumble bees achieves an ideal free distribution. **Functional Ecology**, v. 16, p. 492-503, 2002.
- PAIVA, L. V.; REGUSA-NETTO, J. & FRANÇA, L. F. Disponibilidade de alimento e abundância de *Ortalis canicollis* durante a estação seca em matas no Pantanal Sul, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 8, n. 1, p. 31-40, 2013.
- PYKE, G. H. Optimal foraging theory: a critical review. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 15, p. 523-575, 1984.
- PYKE, G. H., PULLIAM, H. R. & CHARNOV, E. L. Optimal foraging: a selective review of theory and tests. **The Quarterly Review of Biology**, v. 52, p. 137-154, 1977.
- PROCTOR, M.; YEO, P. & LACK, A. 1996. **The natural history of pollination**. Harper Collins Publishers, London.
- QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. [S.l.]: Royal Botanic Gardens, Kew and Associação Plantas do Nordeste; [Feira de Santana, BA]: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.
- RAGUSA-NETTO, J. & FECCHIO, A. Plant food resources and the diet of a parrot community in a gallery forest of the Southern Pantanal (Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 1021-1032, 2006.
- RAJU, A. J. S. & EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behavior in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395- 1398, 2002.
- RANDS, S. A. & WHITNEY, H. M. Effects of pollinator density-dependent preferences on fieldmargin visitations in the midst of agricultural monocultures: a modeling approach. **Ecological Modelling**, v. 9, n. 221, p. 1310-1316, 2010.
- REDDI, E. U. B. & REDDI, C. S. Pollination ecology of *Jatropha gossypifolia* (Euphorbiaceae). **Proceedings of the Indian Academy of Science Plant Science**, v. 92, n. 2, p. 215-231, 1983.
- RIANTI, P.; SURYOBROTO, B. & ATMONWIDI, T. Diversity and effectiveness of insect pollinators of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Journal of Bioscience**, v. 17, n. 1, p. 38-42, 2010.
- ROBERTSON, A. W. The relationship between floral display size, pollen carryover and geitonogamy in *Myosotis colensi* (Kirk) Macbride (Boraginaceae). **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 46, p. 333-349, 1992.

- RODAL, M. J. N. et al. Fitossociologia do componente lenhoso de um refúgio vegetacional no município de Buíque, Pernambuco. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, p. 517-526, 1998.
- RODRÍGEZ-ACOSTA, M.; VEJA-FLORES, K.;GANTE-CBRERA, V. H.; JIMÉNEZ-RAMÍREZ, J. Distribución del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el Estado de Puebla, México. **Polibotânica**, v. 28, p. 37-48, 1998.
- ROUBIK, D. Pollination system stability in tropical America. **Conservation Biology**, v. 14, n. 5, p. 1235-1236, 2000.
- SÁ, I. B.; RICHÉ, G. R.; FOTIUS, G. A. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. In: Silva, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. 382 p. SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. **Vegetação e Flora da Caatinga**. Associação de Plantas do Nordeste (APNE), Centro Nordeste de informações sobre plantas (CNPI), 2002. p. 1-176.
- SANMARTIN-GAJARDO, I. & SAZIMA, M. Espécies de *Vanhouttea* Lem. e *Sinningia* Ness (Gesneriaceae) polinizadas por beija-flores: interações relacionadas ao hábitat da planta e ao néctar. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 3, p. 441-450, 2005.
- SÁTIRO, L. N. & ROQUE, N. A família Euphorbiaceae nas caatingas arenosas domédio rio São Francisco, BA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 99-118, 2008.
- SCHMITT, J. Flowering plant density and pollinator visitation in *Senecio*. **Oecologia**, v. 60, p. 97-102. 1983.
- SCHOONHOVEN, L. M.; VAN LOON, J. J. A. & DICKE, M. Insects and flowers: mutualism par excellence. In: SCHOONHOVEN, L. M.; VAN LOON, J. J. A. & DICKE, M. **Insect-plant biology**. Oxford: Oxford University Press. 306-335 p, 2005.
- SECCO, R. S.; CORDEIRO, I.; SENNA-VALE, L.; SALES, M. F.; LIMA, L. R.; MEDEIROS, D.; HAIAD, B. S.; OLIVEIRA, A. S.; CARUZO, M. B. R.; CARNEIRO-TORRES, D.; BIGIO, N. An overview of recent taxonomic studies on Euphorbiaceae s. l. in Brazil. **Rodriguésia**, v. 63, n. 1, p. 227-242, 2012.
- SHAFIR, S; BECHAR, A. & WEBER, E. U. Cognition-mediated coevolution – context depend – evaluations and sensitivity of pollinators to variability in nectar rewards. **Plant Systematics and Evolution**, v. 238, p. 195-209, 2003.

- SHYKOFF, J. A.; BUCHELI, E. Pollination visitation patterns, floral rewards and the probability of transmission of *Microbotryum violaceum*, a venereal disease of plants. **Journal of Ecology**, v. 83, p. 189-198, 1995.
- SIH, A. & BALTUS, M. Patch size, pollinator behavior and pollinator limitation in catnip. **Ecology**, v. 68, n. 6, p. 1679-1690, 1987.
- SILVA, P. S. D.; BIEBER, A. G. D.; KNOCH, T. A.; TBARELLI, M.; LEAL, I. R.; WIRTH, R. Foraging in highly dynamic environments: leaf-cutting ants adjust foraging trail networks to pioneer plant availability. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 147, p. 110-119, 2013.
- SIMPSON, M. G. **Plant Systematic**. [Amsterdam, Boston]: Elsevier Academic Press, 2006. 590 p.
- SIQUEIRA-FILHO, J. A.; CONCEIÇÃO, A. A.; RAPINI, A.; COELHO, A. O. P.; ZUNTINI, A. R.; JOFFILY, A.; VIEIRA, A.O.S.; PRATA, A. P. N.; MACHADO, A. F. P.; ALVES-ARAÚJO, A. G.; MELO, A. L.; AMORIN, A. M. A.; FONTANA, A. P.; MOREIRA, A. D. R.; LIMA, C. T.; PROENÇA, C. E. B.; LUZ, C. L.; KAMAEYAMA, A. D. R.; CAIRES, C. S.; BOVE, C. P.; MYNSSSEN, C. M.; SÁ, C. F. C.; MELO, E.; SOUZA, E. B.; LEME, E. M. C.; FIRETTI-LEGGIERI, F.; SALIMENA, F. R. G.; FRANÇA, F.; RAINER, H.; FARIA, J. E. Q.; MACIEL, J. R.; LOPES, J. C.; BRAGA, J. M. A.; STEHMANN, J. R.; JARDIM, J. G.; PEREIRA, J. F.; PASTORE, J. F. B.; VALLIS, J. F. M.; DE MELO, J. I. M.; PIRANI, J. R.; SILVA, J. A.; DE PAULA-SOUZA, J.; CARDOSO, L. J. T.; MATIAS, L. Q.; LOHMANN, L. G.; QUEIROZ, L. P.; OLIVEIRA, M. A.; SOBRAL, M. E. G.; SILVA, M. J.; MEIADO, M. V.; COELHO, M. A. N.; COSTA E SILVA, M. B.; MAMEDE, M. C. H.; LUCENA, M. F. A.; PESSOA, M. C. R.; LOIOLA, M. I. B.; ARBO, M. M.; BARBOSA, M. R.; V.; MARCHIORETTO, M. S.; BURIL, M. T.; BOVINI, M. G.; BUENO, N. C.; FIASCHI, P.; BORGES, R. A. X.; FORZZA, R. C.; SEBASTIANI, R.; MELLO-SILVA, R.; COUTO, R. S.; LIMA, R. B.; PEREIRA, R. C. A.; MARQUETE, R.; BARRETO, R. C.; XAVIER, S. R. S.; PROFICE, S. R.; CAVALCANTI, R. M.; SILVA, T. R. S.; POTT, V. J.; KLEIN, V. G. L.; SOUZA, C. C. Flora das caatingas do rio São Francisco. In: SIQUEIRA-FILHO, J. A. **Flora das caatingas do rio São Francisco: História natural e conservação**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio, 2012. 552 p.

- SMITH, N.; MORI, S. A.; HENDERSON, A.; STEVESON, D. W.; HEALD, S. V. **Flowering plants of the Neotropics**. Princeton: Princeton University Press, 2004. 594 p.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil**, baseado na APGIII. 3. ed. [S.L.]: Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2012. 768 p.
- STOUT, J. C. & GOULSON, D. The influence of nectar secretion rates on the responses of bumblebees (*Bombus* spp.) to previously visited flowers. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 52, p. 239-246, 2002.
- TALavera, S.; GIBBS, P. E.; HERRERA, J. Reproductive biology of *Cistus ladanifer* (Cistaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 186, p. 123-134, 1993.
- THOMSON, J. D. Effects of variation in inflorescence size and floral rewards on the visitation rates of trap lining pollinators of *Arabia hispida*. **Evolution Ecology**, v. 2, p. 65-76, 1988.
- VOUGHTION, G. & RAMSEY, M. Floral display, pollinator visitation and reproductive success in the dioecious perennial herb *Wurmbea dioica* (Liliaceae). **Oecologia**, v. 115, p. 93-101, 1998.
- WEBSTER, G. L. Classification of the Euphorbiaceae. **Annual Missouri Botanical Garden**, v. 81, p. 3-32, 1994a.
- WEBSTER, G. L. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. **Annual Missouri Botanical Garden**, v. 81, p. 33-144, 1994b.
- WIENS, J. A. Population responses to patchy environments. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 7, p. 81-120, 1976.
- ZIMMERMAN, M. Optimal foraging, plant density and the marginal value theorem. **Oecologia**, 49, 148-153, 1981.

4 MANUSCRITO A SER ENVIADO AO PERIÓDICO *Journal of Ecology*

Efeitos da densidade populacional e da atratividade floral sobre a frequência de visitantes florais de *Jatropha mutabilis* (Euphorbiaceae).

Jéssica Luiza Souza e Silva<sup>1</sup>, Oswaldo Cruz Neto<sup>2</sup> & Ariadna Valentina Lopes<sup>\*3,4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, 50372-970, Recife, PE, Brasil.

<sup>2,3</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, 50372-970, Recife, PE, Brasil

<sup>\*4</sup>Autor para correspondência: avflopes@ufpe.br, Fax: +55 81 2126-8348, Av. Prof. Moraes Rego, 1235- Cidade Universitária, Recife, PE- CEP: 50372-970.

## RESUMO

1. De acordo com a teoria do forrageamento ótimo os animais tendem a tomar decisões que maximizam a eficiência do forrageio. A razão entre a energia gasta na procura e a proporcionada pelo alimento, são parâmetros utilizados por diversos animais para avaliação do local de forrageamento. Neste sentido, a distribuição não uniforme dos recursos no espaço e no tempo interfere no local de forrageamento.

2. O objetivo deste trabalho foi entender como a distribuição de flores e dos indivíduos de *Jatropha mutabilis* interfere no comportamento de forrageamento dos seus visitantes florais. As seguintes hipóteses foram testadas: (i) aumento na densidade de indivíduos e (ii) aumento na atratividade floral interferem positivamente no número de visitas às flores.

3. Indivíduos de *J. mutabilis* produziram maior quantidade de flores masculinas em relação às femininas, compatível com a monoícia, favorecendo a atratividade floral das flores masculinas. As flores masculinas receberam quatro vezes mais visitas do que as femininas, o que favorece a dispersão de pólen, e aumenta as chances de polinização cruzada.

4. Foi observada correlação positiva entre o número de indivíduos em floração de *J. mutabilis* e a frequência de visitas. A teoria do forrageamento ótimo se aplica aos visitantes de *J. mutabilis*, uma vez que o aumento na quantidade de indivíduos associado ao aumento na oferta de flores favoreceu a frequência dos visitantes florais.

5. *Síntese:* A sazonalidade climática da Caatinga influencia na oferta de recursos florais, que ficam disponíveis por curto período de tempo, favorecendo a competição entre polinizadores. A maneira como as flores estão distribuídas no indivíduo e na população influencia no comportamento dos visitantes florais. Em *J. mutabilis* a frequência de visitantes florais foi favorecida pelo adensamento de flores, aumentando as chances de polinização.

Palavras-chave: abelhas, disponibilidade de recursos, monoícia, organização de indivíduos, polinização, taxa de visitação

## INTRODUÇÃO

A teoria do forrageamento ótimo prevê maior consumo ou utilização de recursos de maneira mais benéfica para os organismos (MacArthur & Pianka 1966). A razão entre a energia gasta na procura e a energia proporcionada pelo alimento, são parâmetros utilizados por diversos organismos, como os animais, para avaliação do local de forrageamento (Emlen 1966; MacArthur & Pianka 1966). Neste sentido, a distribuição não uniforme dos recursos no espaço e no tempo interfere na escolha do local de forrageamento pelos animais (Pyke 1977, 1984).

Nas interações entre plantas e polinizadores as plantas fornecem "recompensas", ou recursos (principalmente néctar ou pólen), aos agentes polinizadores, os quais promovem, em contrapartida, o fluxo polínico (Faegri & Pijl 1979; Talavera 1993; de Jong & Klinkhamer 2005). A organização dos indivíduos em uma população vegetal, bem como a organização da oferta de flores exerce grande influência no comportamento desses animais e, por consequência, nas relações mutualísticas como a polinização (Roubik 2000; Klinkhamer et al. 2001; Grindeland et al. 2005). Aumentos na densidade dos indivíduos das plantas, associados ao aumento na oferta de recursos, como o aumento na produção de néctar, interferem positivamente na atratividade dos polinizadores (Shykoff & Bucheli 1995; Hodges 1995). Entretanto, o padrão de forrageamento dos visitantes florais depende não apenas da quantidade de recurso disponível, mas também da maneira como os recursos florais estão distribuídos em um indivíduo e na população, ao que se denomina atratividade ou *display* floral (Hodges 1995; Klinkhamer et al. 2001).

A distribuição espacial dos recursos florais, como pólen e néctar, tem ação direta no padrão de forrageamento dos polinizadores (Faegri & Pijl 1979; Klinkhamer *et al.* 2001; de Jong & Klinkhamer 2005). Vários estudos já demonstraram que a variação da densidade de indivíduos e flores de uma população pode ainda influenciar o fluxo de pólen e o sucesso

reprodutivo das plantas (Feinsinger *et al.* 1991; Kunin 1993, 1997; Mustajärvi *et al.* 2001). Aumentos na área de forrageamento podem potencializar o fluxo de pólen entre flores e indivíduos diferentes, da mesma espécie, causando um balanço positivo para a formação de frutos e sementes (Klinkhamer *et al.* 2001; Grindeland *et al.* 2005; Roubik 2000). Esses estudos, entretanto, foram realizados, em sua maioria, em campo e experimentalmente (Klinkhamer & de Jong 1990; Robertson 1992; Schmitt 1983; Sykoff & Bucheli 1995; Ohashi & Yahara 1998; Mustajärvi *et al.* 2001; Ohashi & Yahara 2002; Cresswell e Osborn 2004; Mitchell *et al.* 2004; Grindeland *et al.* 2005; Elliott & Irwin 2009; Karron & Mitchell 2012), com plantas hermafroditas (Sih & Baltus 1987; Robertson 1992; Aizen 1997; Galloway *et al.* 2002; Grindeland *et al.* 2005; Metcalfe & Kunin 2005; Elliott & Irwin 2009; Dauber *et al.* 2010) de florestas temperadas (Zimmerman 1981; Kunin 1993; Mustajärvi *et al.* 2001; Cresswell & Osborn 2004; Elliott & Irwin 2009). Estudos sobre o mesmo tema, enfocando, entretanto, espécies monóicas ou dióicas são escassos ((Eckhart 1991; Shykoff & Bucheli 1995; Vaughton & Ramsey 1998). Do mesmo modo, poucos são os estudos com esta abordagem em regiões tropicais (Feinsinger *et al.* 1991; Vaughton & Ramsey 1998), não havendo registro de estudos para ecossistemas áridos ou semiáridos.

Em ecossistemas tropicais, a polinização biótica prevalece entre as plantas (e.g. Gottsberger 1985; Machado & Lopes 2002, 2004), sendo os insetos responsáveis pela polinização de 90% das angiospermas (Bawa *et al.* 1985). A Caatinga é uma região ocupada por floresta seca, vegetação arbustiva, pastos e sistemas agrícolas (Sampaio 1995). Este ecossistema é marcado pela sazonalidade climática, apresentando baixos níveis de precipitações e chuvas distribuídas irregularmente, espacial e temporalmente, durante 3 a 5 meses do ano (Sampaio 1995; Rodal *et al.* 1999). A sazonalidade da Caatinga altera a oferta de recursos florais, distribuindo-os por um curto período durante o ano (Aguiar *et al.* 1995; Barbosa *et al.* 2003). Estudos acerca da ecologia da polinização na Caatinga são essenciais

para a manutenção da biodiversidade e para a elaboração de projetos de gestão do ecossistema (Machado & Lopes 2004).

O objetivo deste trabalho foi entender como a distribuição de flores e dos indivíduos de *J. mutabilis*, espécie monóica endêmica de Caatinga, interfere no comportamento de forrageamento dos seus visitantes florais. As seguintes hipóteses foram testadas: (i) aumento na densidade de indivíduos e (ii) aumento na atratividade floral interferem positivamente no número de visitas às flores. Espera-se que parcelas com maior quantidade de indivíduos reprodutivos e inflorescência com maior quantidade de flores abertas recebam elevado número de visitas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Local de estudo*

O estudo foi realizado no Parque Nacional do Catimbau (PARNA 8°32'14" a 8°35'12"S e 37°14'42" a 37°15'02"O), que abrange cerca de 62500 ha, localizado nos municípios, Buíque, Tupanatinga e Ibimirim, do estado de Pernambuco. A região está inserida no domínio Caatinga, apresentando diferentes tipos vegetacionais (Rizzini 1997; Rodal et al. 1998) por conta das variações geomorfológicas, climáticas e topográficas (Jacomine 1973., Andrade-Lima 1981). O clima é quente e seco, BS'hW (Köppen 1948; Peel et al. 2007). A temperatura média anual é de 23°C e a precipitação varia entre 300 e 600 mm anuais (Rodal et al. 1998; Gomes et al. 2006; Bezerra et al. 2009), com período de chuvas entre os meses de janeiro e junho (Queiroz 2009). O Parque Nacional do Catimbau é considerado uma área prioritária para conservação do ecossistema Caatinga, por apresentar elevado número de espécies endêmicas. A Caatinga, assim como toda e qualquer área natural, tem sido alvo de ações antrópicas que já reduziram em muito a sua cobertura original (MMA 2002).

### *Espécie estudada*

*Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill., popularmente conhecida como “pinhão”, distribui-se pela região Nordeste do Brasil (Sátiro & Roque 2008), encontrada em terreno arenoso hiperxerófilo do Piauí à Bahia (Gallindo 1985), considerada uma espécie endêmica da Caatinga (Gallindo 1985; Giulietti et al. 2003). Apresenta hábito herbáceo, sistema sexual monóico (Webster 1994; Santos et al. 2005; Neves et al. 2011) e sistema reprodutivo autocompatível (Machado et al. 2006; Neves et al. 2011). As inflorescências são cimosas do tipo dicásio, com as flores femininas ao centro e as masculinas ao redor (Santos et al. 2005; Sátiro & Roque 2008; Figura 1). Tem como síndrome de polinização a melitofilia (Santos et al. 2005; Neves et al. 2011), suas flores produzem néctar como recurso floral, o fruto é seco, do tipo esquizocarpo, sendo disperso balisticamente (Webster 1994; Santos et al. 2005; Neves et al. 2011). De acordo com Santos et al. (2005) a floração de *J. mutabilis* é do tipo contínua, i.e., durante todo o ano, embora os indivíduos observados por Machado et al. (1997) e Neves et al. (2010) não tenham se apresentado em floração durante todo o ano. *Jatropha mutabilis* apresenta antese diurna, com início entre 4:00 e 5:00 h, e duração de 12 horas, para flores masculinas, e 36 horas, para as femininas (Santos et al. 2005; Neves et al. 2011). A escolha da espécie se deu então pelo fato dela ser monóica, apresentar floração contínua, ocorrer em populações naturais e em ecossistema tropical semiárido.

### *Densidade de indivíduos e atratividade floral*

Para verificar os efeitos da quantidade de indivíduos sobre a frequência de visitantes florais foram marcadas 37 parcelas de 30m<sup>2</sup> (5m x 6m) em diferentes áreas do Parque Nacional do Catimbau. As parcelas apresentavam uma distância mínima de 30 metros entre elas. Cada parcela teve o número de indivíduos reprodutivos contados. O adensamento populacional foi medido pela razão entre o número de indivíduos e a área da parcela. Quanto

maior foi o valor desta razão, maior foi considerada a densidade de indivíduos. Todos os indivíduos das parcelas observadas tiveram o número total de flores (masculinas e femininas) produzidas contadas, durante a observação em cada parcela (Figura 2). Cinco inflorescências de indivíduos diferentes em cada parcela foram marcadas e tiveram o número de flores abertas por dia contadas. Foram consideradas inflorescências com maior atratividade/*display* aquelas que tiveram maior quantidade de flores abertas por dia.

### *Visitantes florais*

Os visitantes florais foram observados nas 37 parcelas durante a floração, totalizando 6,5 horas diárias de observações em cada parcela distribuídas entre às 05:00h e às 16:00h (seguindo proposições de horários de visitas de Santos *et al.* 2005), totalizando 240,5 horas de observação para todas as parcelas em conjunto. As 6,5 horas diárias de observações de cada parcela foram divididas em intervalos de trinta minutos das 05:00h às 11:00h e das 13:00h às 16:00h. Durante um dia três parcelas eram observadas e as observações nas 37 parcelas foram feitas em dias seguidos para diminuir possíveis influências do período de floração. Durante as observações, foram registrados a frequência e o horário de visitas para cada intervalo de observação em cada uma das 37 parcelas, a partir de dois indivíduos de por parcela, com exceção de quatro parcelas com apenas um indivíduo. Foram observadas 105 flores, sendo 20 flores femininas e 85 masculinas.

### *Análises estatísticas*

Para verificar se havia diferença na frequência de visitas entre flores masculinas e femininas foi realizado um teste t. Para verificar o efeito da distribuição de indivíduos sobre a frequência dos visitantes florais foi realizada Correlação de Pearson. Para verificar o efeito da distribuição de flores sobre a frequência de visitas foi utilizada Correlação de Spearman. De

maneira complementar, as hipóteses foram testadas em tipos de flores masculina e feminina, separadamente, de acordo com a normalidade dos dados. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Lilliefors (Sokal & Rohlf 1995). As análises estatísticas foram feitas com auxílio do programa Statistica 7.0 (Stasoft Inc. 2001).

## RESULTADOS

### *Distribuição de flores de *Jatropha mutabilis**

*Jatropha mutabilis* floresceu durante todo o ano todo em nível populacional, mas não em nível individual. Foi verificada produção de até quatro vezes mais flores masculinas em relação às flores femininas por indivíduo de *J. mutabilis* e essa relação foi 10 vezes maior quando considerada toda a parcela. Foi registrada separação temporal na oferta de flores masculinas e femininas (N= 173 inflorescências), tendo sido registradas apenas quatro inflorescências com flores masculinas e femininas abertas ao mesmo tempo (Tabela 1).

### *Frequência de visitas*

Foram registradas 130 visitas às flores de *J. mutabilis* durante todo o período de observações e registradas oito espécies de visitantes florais (Figura 4). As flores masculinas receberam 107 visitas, correspondendo a aproximadamente 82,30% do total, enquanto as flores femininas receberam 23 visitas (17,69%) ( $t = -2,40$ ;  $p = 0,02$ ) (Figura 3). As visitas ocorreram principalmente entre os intervalos 07:30-08:00h para flores masculinas e entre 09:30-10:00h para as femininas, não havendo diferença na quantidade de visitas entre os horários das flores masculinas e femininas (Figura 4). As flores masculinas receberam visitas da abelha *Trigona spinipes*, do beija-flor *Chlorostilbon aureoventris*, da borboleta *Phoebis sennae* e de uma espécie de Diptera. As flores femininas foram visitadas pela abelha *Trigona spinipes*, pelo beija-flor *Anopetia gounellei* (anteriormente *Phaethornis gounellei*), pelas

borboletas *Phoebis sennae*, *Euptoeiata hegesia meridiana* e *Eurema elathea* e por uma espécie de Saturnidae (Lepidoptera) (Tabela 2). O visitante mais frequente em flores masculinas foi *Trigona spinipes*, enquanto *Phoebis sennae* foi o mais frequente em flores femininas (Figura 5).

#### *Relação entre distribuição de recursos e visitas florais*

Foi observada correlação positiva entre o número de indivíduo de *J. mutabilis* em floração e a frequência de visitas nas parcelas ( $r = 0,41$ ,  $p < 0,05$ ), ou seja, quanto maior o número de indivíduos em uma parcela, maior a quantidade de visitas que a mesma recebeu (Figura 6). Inflorescências com maior quantidade de flores abertas em um dia apresentaram maior quantidade de visitas ( $\rho = 0,39$ ,  $p < 0,05$ ) (Figura 7). Para as flores masculinas, a frequência de visitas correlacionou-se com o número de indivíduos ( $r = -0,03$ ,  $p < 0,05$ ) e a densidade de flores por inflorescência ( $\rho = 0,30$ ,  $p < 0,05$ ).

## DISCUSSÃO

#### *Produção de flores masculinas e femininas em *Jatropha mutabilis**

A maior produção de flores masculinas em relação às femininas em *J. mutabilis* é compatível com outros achados para espécies de plantas com sistema sexual monóico (e.g. Piratelli et al. 1998; Lenzi et al. 2005; Mercadante-Simões et al. 2006). Essa estratégia é consequência da seleção sexual, sendo responsável pelo favorecimento da atratividade floral masculina e, conseqüentemente, da frequência de visitas (Bawa & Opler 1975; Symon 1979; Bawa 1980; Delph & Lively 1992; Delph et al. 1996), promovendo, portanto, maior dispersão de pólen (Stanton et al. 1986; Mayer & Charlesworth 1991; Wilson 1994). A maior frequência de visitas de *Trigona spinipes* às flores masculinas pode estar associada ao tipo de recurso coletado secundariamente por estas abelhas exclusivamente nas flores masculinas

desta espécie, o pólen. Pólen é um recurso bastante atrativo para muitos insetos (Kevan & Baker 1983; Stanton et al. 1986; Eckhart 1991), sendo essencial às abelhas (Pesson 1984; Marques-Souza 1999).

A longa duração do período funcional das flores femininas de *J. mutabilis* observada por Santos et al. (2005) e Neves et al. (2010, 2011) aumenta as chances de polinização na espécie (cf. Klinkhamer & de Jong 1990; Primack 1985; Lenza & Oliveira 2005). A elevada concentração de açúcares, somada ao maior volume de néctar em flores femininas (29-32% de açúcares; 12-16  $\mu$ l) de *J. mutabilis*, em comparação com flores masculinas (26-27% de açúcares; 6-10  $\mu$ l) (Santos et al. 2005), provavelmente permitiu a visita de distintos grupos de polinizadores (cf. Klinkhamer & de Jong 1990; Proctor et al. 1996; Santos et al. 2005; Neves et al. 2011), como por exemplo os registrados nesse trabalho: abelha, beija-flor, borboletas e mariposa. Essa variação na concentração de açúcares e no volume de néctar, ou seja, na alocação de recursos, favorece a reprodução sexuada, podendo regular a geitonogamia, por otimizar o desempenho da função feminina (Devlin & Stephenson 1985).

A presença de visitantes exclusivos às flores femininas ou às masculinas, por si só já os categorizaria como pilhadores, uma vez que os que não visitam flores masculinas, não carregam, portanto, pólen de *J. mutabilis* para as suas flores femininas, o contrário acontecendo com os exclusivos às flores masculinas, que não depositam pólen em flores femininas. Além disso, alguns visitantes exclusivos às flores femininas, como as borboletas *Euptoeiata hegesia meridiana* e *Eurema elathea*, além da espécie de Saturnidae, foram classificados, por Santos et al. (2005), como pilhadores, raramente entrando em contato com as estruturas reprodutivas.

*Densidade de indivíduos e atratividade/display floral interferindo na frequência de visitas*

Parcelas de *J. mutabilis* com maior quantidade de indivíduos e inflorescências com maior quantidade de flores são as mais atrativas aos visitantes florais. A associação positiva entre a densidade e/ou número de plantas em uma população e a taxa de visitas às flores de *Jatropha mutabilis*, também foi observada em outros estudos (e.g. Zimmerman 1981; Feinsinger et al. 1991; Kunin et al. 1993; Ohashi & Yahara 1998; Vaughton & Ramsey 1998; Bosch & Waser 1999; Cresswell & Osborn 2004; Mustjärvi et al. 2001; Grindeland et al. 2005; Ghazoul 2005; Molina-Montenegro & Cavieres 2006; Dauber et al. 2010). Entretanto, poucos deles foram conduzidos em ecossistemas tropicais (Feinsinger et al. 1991; Vaughton & Ramsey 1998), raramente sendo abordadas espécies monóicas ou dióicas (Vaughton & Ramsey 1998). A preferência de visitantes florais por parcelas com alto número de indivíduos é consequência da maior atratividade, uma vez que aumenta a quantidade de recursos florais disponíveis aos visitantes (Pyke 1979, 1982; Klinkhamer & de Jong 1990; Kunin 1997; Roubik 2000; Klinkhamer et al. 2001; Elliott & Irwin 2009). Além disso, os visitantes florais tendem a visitar populações onde possam obter elevada recompensa nutricional com menor custo no vôo (Kacelnik et al. 1986; Ohashi & Yahara 2001; Klinkhamer & Van der Lugth 2004; Nattero 2011), estratégia prevista na teoria do forrageamento ótimo (MacArthur & Pianka 1966).

A densidade de flores não só afeta a frequência de visitas, mas também o sucesso reprodutivo, através da quantidade de pólen transferido (Mitchell 1994; Aizen 1997; Galloway et al. 2002; Karron & Mitchell 2012). Grande quantidade de pólen é perdida devido ao movimento dos visitantes forais dentro de uma mesma planta (Baker 1964; Rathcke 1983; Lau et al. 2008). Outra consequência negativa é o favorecimento da geitonogamia (Frank et al. 1976; Primack 1979; Hessing 1988; Robertson 1992; Ellstrand & Elam 1993; Klinkhamer et al. 1997; Eckert 2000; Karron & Mitchell 2012). Em plantas com elevada atratividade floral, os visitantes podem visitar mais flores próximas em sequência e, dessa forma, transferir

pólen entre flores de um mesmo indivíduo (Roubik 1982; Klinkhamer et al. 1989; Goulson 1998; Mitchell 2004). Mesmo em espécies de plantas com sistema autocompatível, como é o caso de *J. mutabilis*, alta densidade floral pode aumentar as chances de geitonogamia, e consequentemente a qualidade da prole e variabilidade (Darwin 1876; Charlesworth & Charlesworth 1978).

Interações planta-polinizador são sensíveis às mudanças espaciais e temporais na oferta de recursos (Mustjärvi et al. 2001). Os visitantes florais são capazes de ajustar a taxa de visitação para estar de acordo com a quantidade e qualidade recursos ofertados (Pyke 1977; Eickwort & Ginserg 1980; Cresswell 1990; Dreisig 1995), assim como uma planta pode maximar a aptidão regulando a produção de flores, produzindo menos flores durante um longo período de tempo, por exemplo (Karron & Mitchell 2012). A Caatinga por ser um ambiente fortemente sazonal apresenta limitação na disponibilidade de recursos florais durante a estação seca (Aguiar et al. 1995; Leal et al. 2006). A produção contínua (Aguiar 2003; Machado e Lopes 2003; Santos et al. 2005; Machado et al. 2007) e elevada de flores, como em *Jatropha mutabilis*, são algumas estratégias para aumentar as chances de polinização e permitir a manutenção das espécies de plantas e visitantes florais na Caatinga.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa concedida à JLSS, ao CNPq e ICMBio pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto de pesquisa; à MMWMS pelo auxílio em campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, C.M.L.; Martins, C.F. & Moura, A.C. (1995) Recursos florais utilizados por abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em área de Caatinga (São João do Cariri, Paraíba). Revista Nordestina de Biologia, 10, 101-117.

- Aguiar, C.M.L. (2003) Utilização de recursos florais por abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em uma área de caatinga (Itaim, Bahia, Brasil). *Revista Brasileira de Zoologia*, 20 (3), 457-467.
- Aizen, M.A. (1997) Influence of local floral density and sex ratio on pollen receipt and seed output: empirical and experimental results in dichogamous *Alstroemeria aurea* (Alstroemeriaceae). *Oecologia*, 111, 404-412.
- Andrade-Lima, D. (1981) The Caatinga dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, 4, 149-153.
- Barbosa, D.C.A. de; Barbosa, M.C.A. & LIMA, L.C.M. (2003) Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. In: Leal, I.R.; Tabarelli, M. & Silva, J.M.C. (Eds.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. p. 657 – 694.
- Bawa, K.S. (1980) Evolution of dioecy in flowering plants. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic*, 34, 1138-1142.
- Bawa, K.S.; Bullock, S.H.; Perry, D.R., Coville, R.E.; Grayum, M.H. (1985) Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. II. Pollination Systems. *American Journal of Botany*, 72, 346-356.
- Bawa, K.S. & Opler, P.A. (1975) Dioecism in tropical Forest trees. *Evolution*, 29, 167-179.
- Bezerra, E.S., Lopes, A.V., Machado, I.C. (2009) Biologia reprodutiva de *Byrsonima gardnerana* A. Juss. (Malpighiaceae) e interações com abelhas *Centris* (Centridini) no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 32, 95-108.
- Bosch, M. & Waser, N. (1999) Effects of local density on pollination and reproduction in *Delphinium nuttallianum* and *Aconitum columbianus* (Ranunculaceae). *American Journal of Botany*, 86, 871-879.
- Charlesworth, D. & Charlesworth, B. (1987) Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18, 237-268.

- Cresswell, J.E. (1990) How and why do néctar-foraging bumblebees initiate movements between inflorescences of wild bergamot *Monarda fistulosa* (Lamiaceae)? *Oecologia*, 82, 450-460.
- Cresswell, J.E. & Obsborn, J.L. (2004) The effect of patch size and separation on bumblebee foraging in oil seed rape: implications for gene flow. *Journal of Applied Ecology*, 41, 539-46.
- Dauber, J.; Biesmeijer, J. C.; Gabriel, D.; Kunin, W. E.; Lamborn, E.; Meyer, B.; Nielson, B.; Potts, S. G.; Roberts, S. P. M.; Söber, V.; Settele, J.; Steffan-Dewenter, I.; Stout, J. C.; Teder, T.; Tscheulin, T.; Vivarelli, D.; Petanidou, T. (2010) Effects of patch size and density on flower visitation and seed set of wild plants: a pan-European approach. *Journal of Ecology*, 28, 188-196.
- de Jong, T. J. & Klinkhamer, P. (2005) *Evolutionary Ecology of Plant Reproductive Strategies*. Cambridge University Press, UK.
- Delph, L.F. & Lively, C.M. Pollinator visitation, floral display and Nectar production of the sexual morphs of a gynodioecious shrub. *Oikos*, 6, 161-170.
- Delph, L.F., Galloway, L.F., Stanton, M.L. (1996) Sexual dimorphism in flower size. *The American Naturalist*, 148, 299-320.
- Dreisig, H. (1995) Ideal free distributions of nectar foraging bumblebees. *Oikos*, 72, 161–172.
- Devlin, B. & Stephenson, A.G. (1985) Sex differential floral longevity, nectar secretion, and pollinator foraging in a protandrous species. *American Journal of Botany*, 72, 303-310.
- Eckert C.G. (2000) Contributions of autogamy and geitonogamy to self-fertilization in a mass-flowering, clonal plant. *Ecology*, 81, 532–542.
- Eckhart, V.M. (1991) The effects of floral display on pollinator visitation vary among populations of *Phacelia linearis* (Hydrophyllaceae). *Evolutionary Ecology*, 5, 370-384.

- Eickwort, G.C. & Ginsberg, H.S. (1980) Foraging and mating behavior in Apoidea. *Annual Review Entomology*, 25, 421-426.
- Elliott, S.E. & Irwin, R.E. (2009) Effects of flowering plant density on pollinator visitation, pollen receipt, and seed production in *Delphinium barbeyi* (Ranunculaceae). *American Journal of Botany*, 96 (5), 912-919.
- Ellstrand, N.C. & Elam, D.R. (1993) Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24, 217–242.
- Emlen, J.M. (1966) The role of the and energy in food preference. *The American Naturalist*, 100 (916), 611-617.
- Feinsinger, P., Tiebout, H.M. III, Young, B.E. (1991) Do tropical bird-pollinated plants exhibit density-dependent interactions? Field experiments. *Ecology*, 72, 1953–1963.
- Faegri, K. & Pijl, L.V.D. (1979) *The principles of pollination ecology*. Pergamon Press, London.
- Frankie, G.W., Opler, P.A., Bawa, K.S. (1976) Foraging behaviour of solitary bees: implications for outcrossing of a neotropical forest tree species. *Journal of Ecology*, 64, 1047-1059.
- Gallindo, F. (1985) O gênero *Jatropha* L. para Pernambuco. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Galloway, L.F., Crigliano, T., Gremski, K. (2002). The contribution of display size and dichogamy to potential geitonogamy in *Campanula americana*. *International Journal of Plant Sciences*, 163, 133–139.
- Ghazoul, J. (2005) Pollen and seed dispersal among dispersed plants. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 80, 413 – 443.

- Gottsberger, G. (1985) Some pollination strategies in Neotropical savannas and forests. *Plant Systematics and Evolution*, 152, 29-45.
- Gomes, A.P.S., Rodal, M.J.N., Melo, A.L. (2006) Florística e fitogeografia da vegetação arbustiva subcaducifólia da Chapada de São José, Buíque, PE, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, 20, 37-48.
- Guiletti, A.M., Neta, A.L.B., Castro, A.A.J.F., Gamarra-Rojas, C.F.L., Sampaio, E.V.S., Virgínio, J.F., Queiroz, L.P., Figueiredo, M.A., Rodal, M.J.N., Barbosa, M.R.V., Harley, R.M. (2003) Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: J. M. C. Silva, M. Tabarelli, M. T. Fonseca, L.V. Lins. (Eds.) Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. p. 47-60. Ministério do Meio Ambiente.
- Grindeland, J.M., Sletvold, N., Ims, R.A. (2005) Effects of floral display size and plant density on pollinator visitation rate in a natural population of *Digitalis purpurea*. *Functional Ecology*, 19, 383-390.
- Hessing, M.B. (1988) Geitonogamous pollination and its consequences in *Geranium caespitosum*. *American Journal of Botany*, 75, 1324-1333.
- Hodges, S.A. (1995) The influence of nectar production on hawkmoth behavior, self-pollination and seed production in *Mirabilis multiflora* (Nyctaginaceae). *American Journal of Botany*, 82, 197-204.
- Jacomine, P.K.T., Cavalcanti, A.C., Burgos, N., Pessoa S.C.P., Silveira, C.O. (1973) Levantamento exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco (Boletim técnico 26). SUDENE/DNPE, Recife
- Kacelnik, A., Houston, A. I., Schmid-Hempel, P. (1986) Central-place foraging in honey-bees - The effect of travel time and nectar flow on crop filling. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 19, 19–24.

- Karron, J.D. & Mitchell, R. (2012) Effects of floral display size on male and female reproductive success in *Mimulus ringes*. *Annals of Botany*, 109, 563-570.
- Kevan, P.G. & Baker, H.G. (1983) Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*, 28, 407-453.
- Klinkhamer, P.G.L., de Jong, T.J., de Bruyn, G. (1989) Plant size and pollinator visitation in *Cynoglossum officinale*. *Oikos*, 54, 201–204.
- Klinkhamer, P.G.L., de Jong, T.J., Linnebank, L.A. (2001) Small-scale patterns determine ecological relationships: an experimental example using nectar production rates. *Ecology Letters*, 4, 559-567.
- Klinkhamer, P.G.L. & de Jong, T.J. (1990) Effects of plant size, plant density and sex differential nectar reward on pollinator visitation in the protandrous *Echium vulgare* (Boraginaceae). *Oikos*, 57, 399–405.
- Klinkhamer, P.G. & Van Der Lugt, P.P. (2004) Pollinator service only depends on nectar production in sparse populations. *Oecologia* 140: 491-494.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica. México, 479p.
- Kunin, W.E. (1993) Sex and the single mustard: population density and pollinator behavior effects on seed-set. *Ecology*, 74, 2145–2160.
- Kunin, W.E. (1997) Population size and density effects in pollination: pollinator foraging and reproductive success in experimental arrays of *Brassica kaber*. *Journal of Ecology*, 85, 225–234.
- Lau, J.A., Miller, R.E., Rausher, M.D. (2008) Selection through male function favors smaller floral display size in the common morning glory *Ipomoea purpurea* (Convolvulaceae). *American Naturalist*, 172, 63–74.

- Leal, F.C.; Lopes, A.V. & Machado, I.C. (2006) Polinização por beija-flores em uma área de caatinga no Município de Floresta, Pernambuco, Nordeste do Brasil, 29 (3), 379-389.
- Lenza, E. & Oliveira, P.E. (2005) Biologia reprodutiva de *Tapira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae), uma espécie dióica em mata de galeria do Triângulo Mineiro, Brasil. Revista Brasileira de Botânica, 28 (1), 179-190.
- Lenzi, M., Orth, A.I. & Guerra, T.M. (2005) Ecologia da polinização de *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae), em Florianópolis, SC, Brasil. Revista Brasileira de Botânica, 28 (3), 505-513.
- MacArthur, R.H. & Pianka, E.R. (1966) On optimal use of patchy environment. The American Naturalist, 100, 603-609.
- Machado, C.G.; Coelho, A.G.; Santana, C.S.; Rodrigues, M. (2007) Beija-flores e seus recursos florais em uma área de campo rupestre da Chapada Diamantina, Bahia. Revista Brasileira de Ornitologia, 15 (2), 267-279.
- Machado, I.C. & Lopes, A.V. (2002). A polinização em ecossistemas de Pernambuco: uma revisão do estado atual do conhecimento. In: Tabarelli, M. & Silva, J.M.C. (ed.) Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. Vol. 2, p. 384-595. Recife, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Editora Massangana.
- Machado, I.C.S. & Lopes, A.V. (2003) Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds), Ecologia e Conservação da Caatinga. Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 515-563.
- Machado, I.C. & Lopes, A.V. (2004) Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. Annals of Botany, 94, 365-376.

- Machado, I.C., Lopes, A.V., Sazima, M. (2006) Plant sexual system and a review of the breeding system studies in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Annals of Botany*, 97, 277-287.
- Machado, I.C.S., Barros, L.M., Sampaio, V.S.B. (1997) Phenology of Caatinga species at Serra Talhada, PE, northeastern Brasil. *Biotropica*, 29, 57-68.
- Mayer, S.S. & Charlesworth, D. (1991) Cryptic dioecy in flowering plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 6, 320-325.
- Mercadante-Simões, M.A., Fonseca, R.S., Ribeiro, L.M. & Nunes, Y.R.F. (2006) Biologia reprodutiva de *Butia capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae) em uma area de cerrado no norte de Minas Gerais. *UniMontes Científica*, Montes Claros, 8 (2), 143-149.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. (2002) Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. MMA/SBF. Brasília, DF, Brasil.
- Mitchell R.J. (1994) Effects of floral traits, pollinator visitation, and plant size on *Ipomopsis aggregata* fruit production. *American Naturalist*, 143, 870–889.
- Mitchell, R.J., Karron, J.D., Holmquist, K.G. & Bell, J.M. (2004) The influence of *Mimulus ringens* floral display size on pollinator visitation patterns. *Functional Ecology*, 18, 116-124.
- Molina- Montenegro, M.A. & Cavieres, L. (2006) Effect of density and flower size on the reproductive success of *Nothoscordum graninum* (Alliaceae). *Gayana Botanica*, 63 (1), 93-98.
- Mustajärvi, K., Siikamäki, P., Rytkönen, S., Lammi, A. (2001) Consequences of plant population size and density for plant-pollinator interactions and plant performance. *Journal of Ecology*, 89, 80-87.

- Nattero, J., Malerba, R., Medel, R., Cocucci, A. (2011) Factors affecting pollinator movement and plant fitness in a specialized pollination system. *Plant Systematic and Evolution*, 269, 77-85.
- Neves, E.L., Funch, L.S., Viana, B.F. (2010) Comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 33 (1), 155-166.
- Neves, E.L., Machado, I. C., Viana, B.F. (2011) Sistemas de polinização e de reprodução de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 34 (4), 553-563.
- Ohashi, K. & Yahara, T. (1998) Effects of variation in flower number on pollinator visits in *Cirsium purpuratum* (Asteraceae). *American Journal of Botany*, 85 (2), 219-224.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A. (2007) Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.
- Pesson, P. (1984) Transporte du pollen par des lés animaux: zoogamie. In: P. Pesson, L. Louveaux (eds.) *Pollination et Productions végétales*. p. 97-139. *Institute National de la Recherche Agronomique*, Paris.
- Piratelli, A.J., Piña-Rodrigues, F.C.M., Gandara, F.B., Santos, E.M.G., COSTA, L.G.S. (1998) Biologia da polinização de *Jacaratia spinosa* (Aubl.) A.DC. (Caricaceae) em mata residual do sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Biologia*, 58, 671-769.
- Pyke, G.H. (1979) Optimal foraging in bumblebees: rule of movement between flowers within inflorescences. *Animal Behaviour*, 27, 1167-1181.
- Pyke, G.H. (1982) Foraging in bumblebees: rule of departure from an inflorescence. *Canadian Journal of Zoology*, 60, 417-428.
- Pyke, G.H., Pulliam, H. R., Charnov, E. L. (1977) Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *The Quarterly Review of Biology*, 52, 137-154.

- Primack, R.B. (1985) Longevity of individual flowers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 15-37.
- Primack, R.B. (1979) Reproductive biology of *Discaria toumatou* (Rhamnaceae). *New Zealand Journal of Botany*, 17, 9-13.
- Proctor, M., Yeo, P., Lack, A. (1996) The natural history of pollination. The new naturalist. Harper Collins, London.
- Queiroz, L.P. (2009) Leguminosas da Caatinga. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana. Royal Botanic Gardens, Kew and Associação Plantas do Nordeste.
- Rathcke, B. (1983) Competition and facilitation among plants for pollination. In L. Real (Ed.). *Pollination Biology*. p 305-329. Academic Press, Orlando.
- Rizzini, C.T. (1997) Tratamento de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro. Editora Âmbito Cultura, 2ª edição.
- Robertson, A.W. (1992) The relationship between floral display size, pollen carryover and geitonogamy in *Mysotis colensoi* (Kirk) Macbride (Boraginaceae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 46, 333-349.
- Rodal, M.J.N., Andrade, K.V.S., Sales, M.F., Gomes A.P.S. (1998) Fitossociologia do componente lenhoso de um refúgio vegetacional no município de Buíque, Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia*, 58, 517-526.
- Rodal, M.J.N.; Nascimento, L.M. & Melo, A.L. (1999) Composição florística de um trecho de vegetação arbustiva caducifolia, no município de Ibimirim, Pernambuco, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 13(1), 15-28.
- Roubik, D. (1982) The ecological impact of nectar-robbing bees and pollinating hummingbirds in a tropical shrub. *Ecology*, 63, 354-360.
- Roubik, D. (2000) Pollination system stability in tropical America. *Conservation Biology*, 14 (5), 1235-1236.

- Santos, M.J., Machado, I. C., Lopes, A.V. (2005) Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) em Caatinga, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 28 (2), 361-373.
- Sátiro, L.N. & Roque, N. (2008) A família Euphorbiaceae nas caatingas arenosas do médio rio São Francisco, BA, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 22 (1), 99-118.
- Shykoff, J. A. & Buchelli, E. (1995) Pollination visitation patterns, floral rewards and the probability of transmission of *Microbotryum violaceum*, a venereal disease of plants. *Journal of Ecology*, 83, 189-198.
- Symon, D.E. (1979) Sex forms in *Solanum* (Solanaceae) and the role of pollen collecting insects. In: J.C. Hawkes, R.N. Laster, A.D. Skelding (Ed.). *The biology and taxonomy of the solanaceae*. p. 385-397. Academic Press, London.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1995) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3a Ed. W. H. Freeman and Co.: New York.
- Stanton, M.L., Snow, A.A., Handel, S.N. (1986) Floral evolution: attractiveness to pollinators increases male fitness. *Science*, 232, 1625-1627.
- Statsoft Inc. (2001) *Statistica 7.0 for Windows* [Computer program manual]. StatSoft, Tulsa, Okla, USA.
- Talavera, S.; Gibbs, P.E.; Herrera, J. (1993) Reproductive biology of *Cistus ladanifer* (Cistaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 186, 123-134.
- Thomson, J.D. (1988) Effects of variation in inflorescence size and floral rewards on the visitation rates of trap lining pollinators of *Arabia hispida*. *Evolution Ecology*, 2, 65-76.
- Vaughton, G. & Ramsey, M. (1998) Floral display, pollinator visitation and reproductive success in the dioecious perennial herb *Wurmbea dioica* (Liliaceae). *Oecologia*, 115, 93-101.

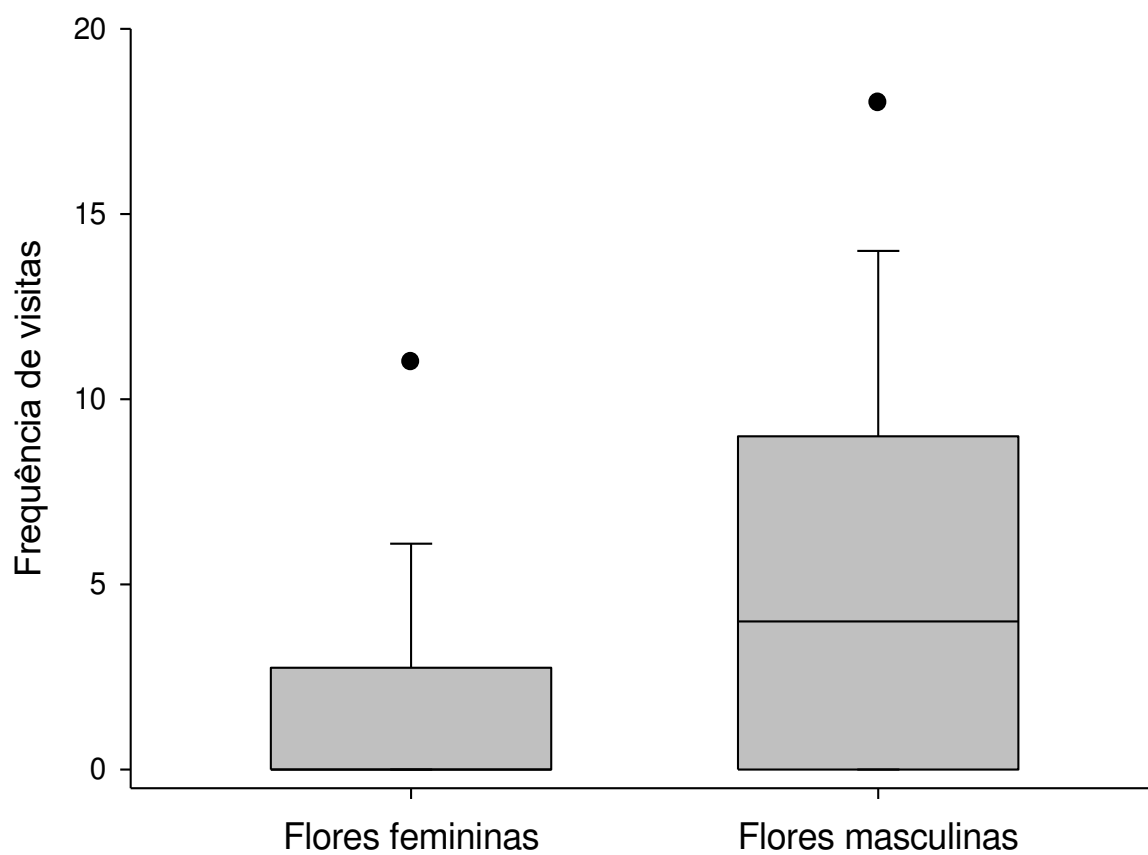
- Webster, G.L. 1994. Classification of the Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81, 3-32.
- Webster, G.L. (1994) Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81, 33-144.
- Wilcock, C. & Neiland, R. (2002) Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends in Plant Science*, 7 (6), 270-277.
- Willson, M.F. (1994) Sexual selection in plants: perspectives and overview. *The American Naturalist*, 144, 13-39.
- Zimmerman, M. (1981) Optimal foraging, plant density and the marginal value theorem. *Oecologia*, 49, 148–153.



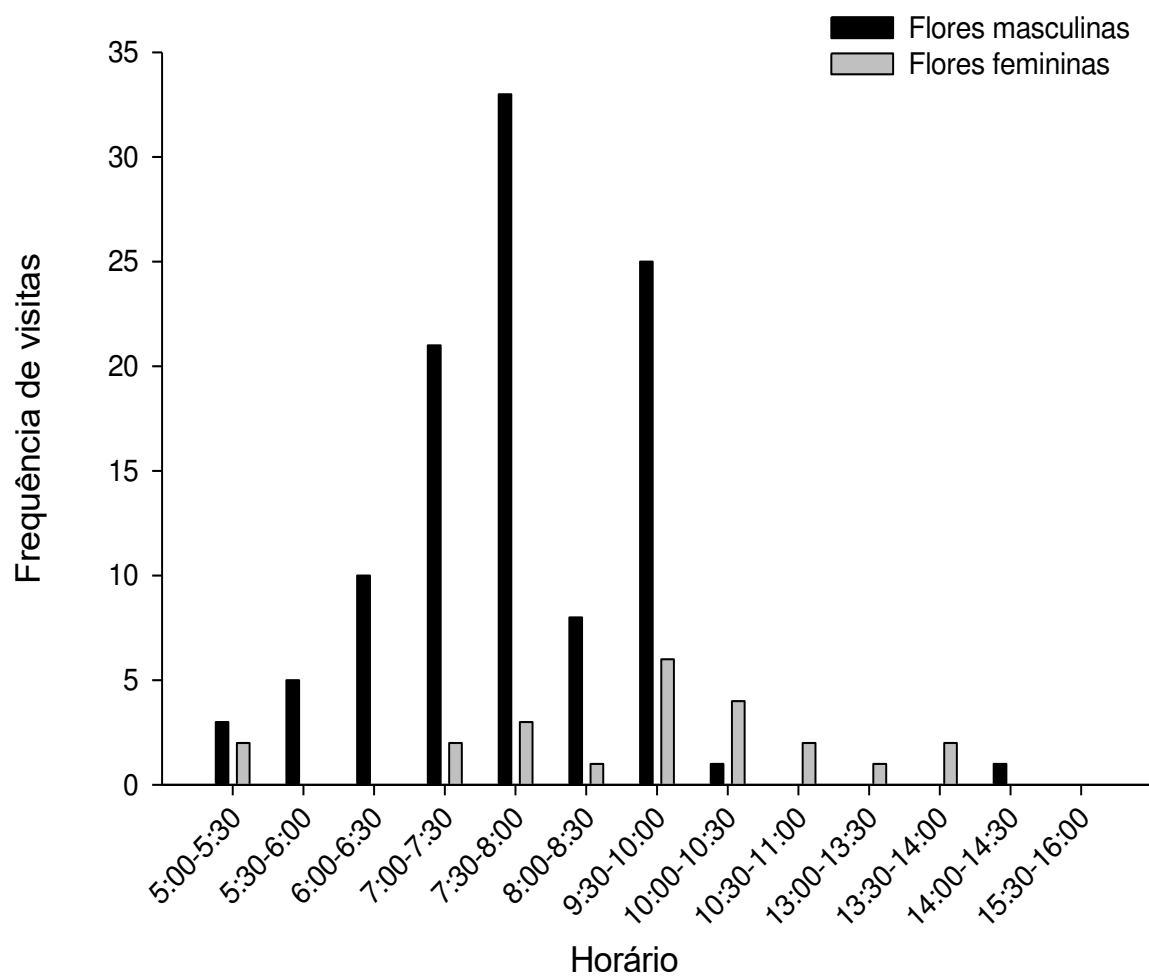
**Figura 1.** Inflorescência com botões florais (A), flor masculina (B) e flor feminina (C) de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.



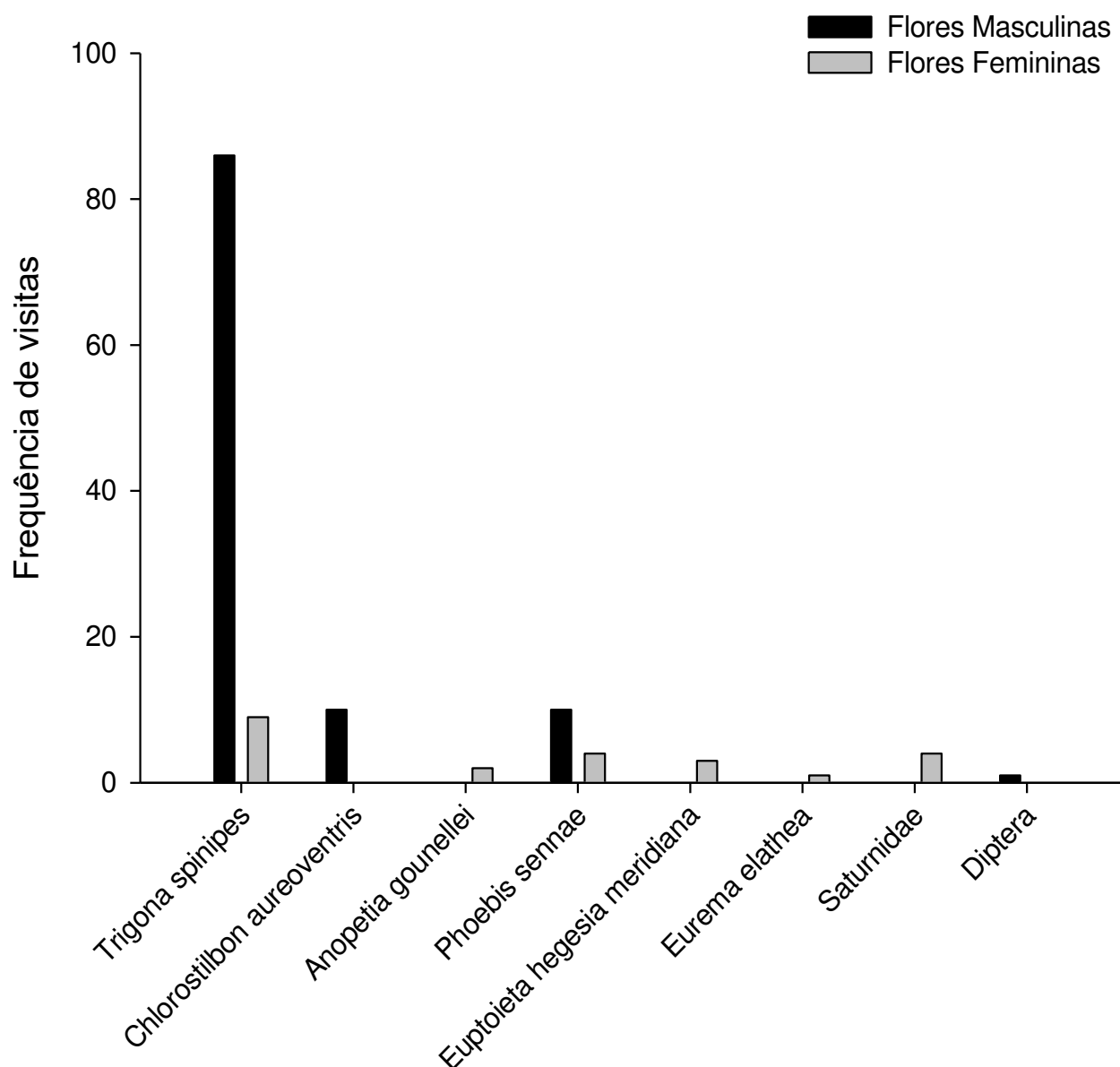
**Figura 2.** Indivíduo reprodutivo (A) e parcela (B) de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.



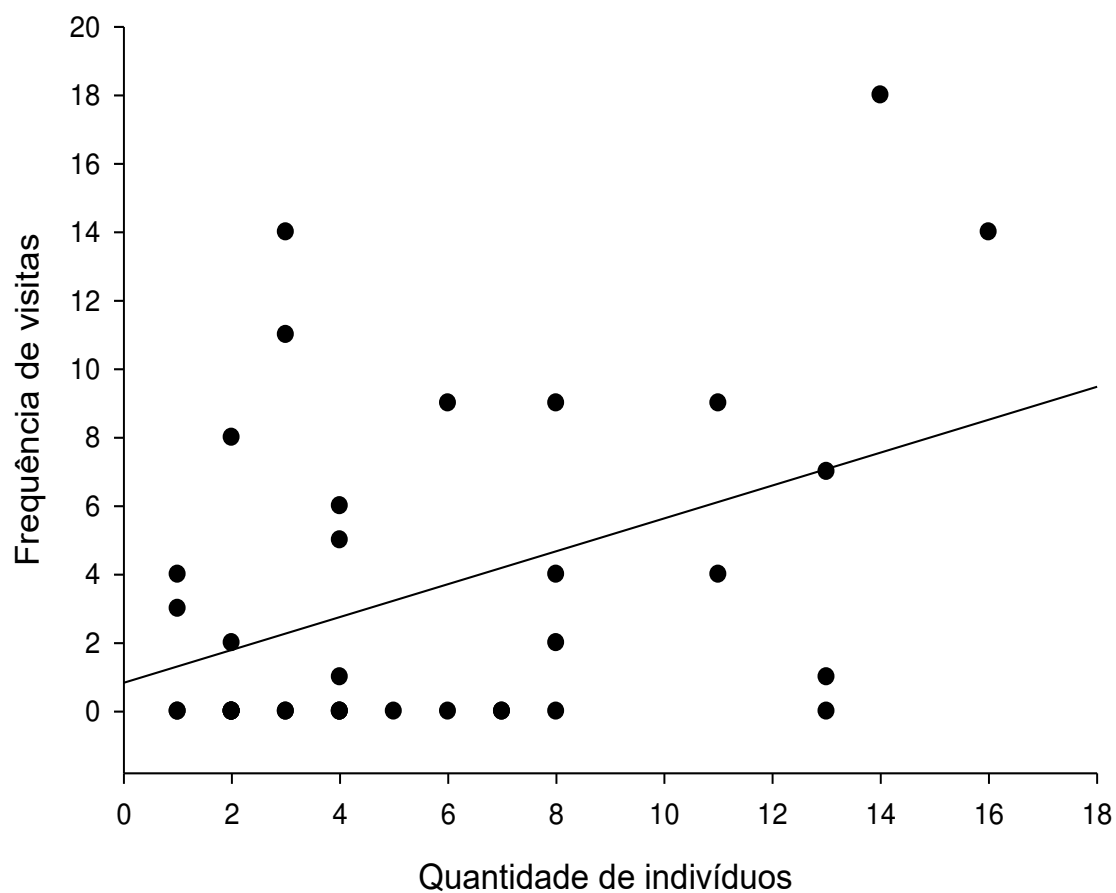
**Figura 3.** Frequência média de visitantes florais de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em flores masculinas e femininas (t: -2,40; p; 0,02), em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco. (média e desvio padrão; t: -2,40, p; 0,02)



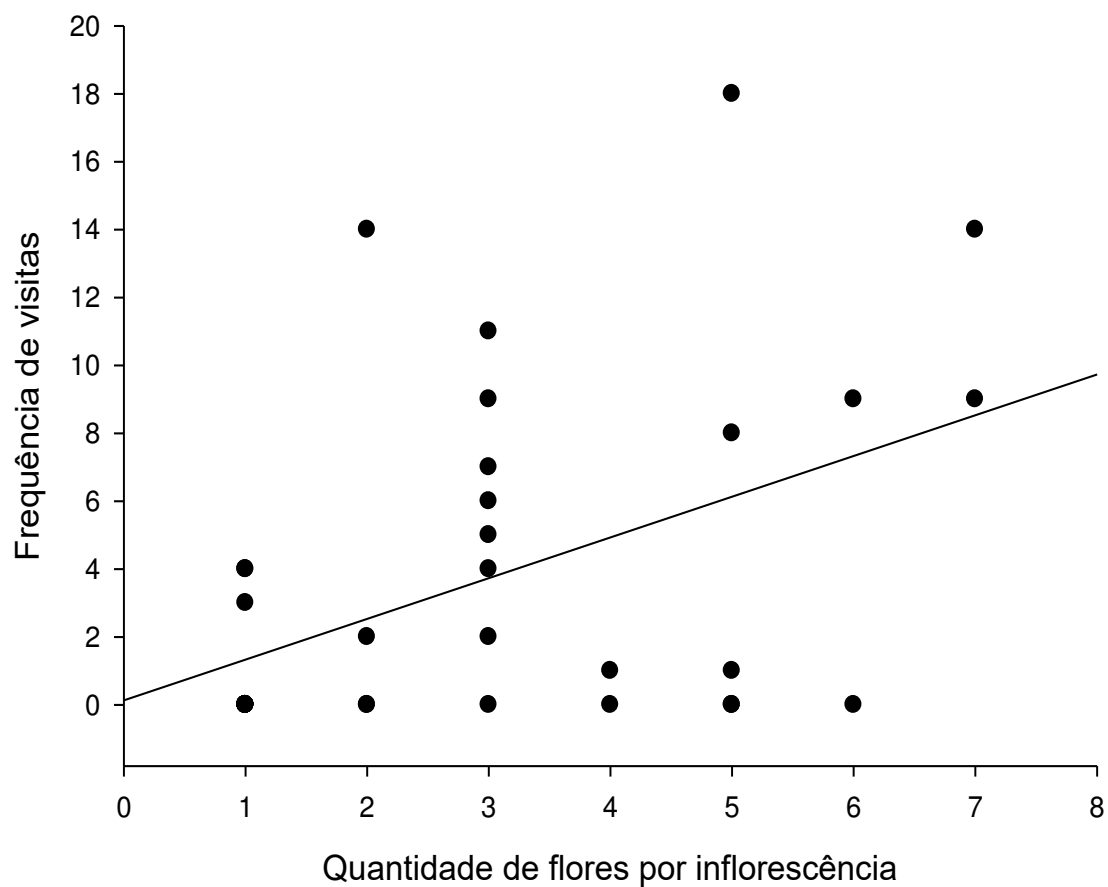
**Figura 4.** Frequência de visitantes por horário de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em flores masculinas e femininas, em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.



**Figura 5.** Visitantes florais e quantidade de visitas às flores masculinas e femininas de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae), em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.



**Figura 6.** Correlação entre o número de visitas e a quantidade de indivíduos por parcelas de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.



**Figura 7.** Número de visitas relacionado à densidade de flores por inflorescência de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco.

**Tabela 1.** Tipo e quantidade de flores abertas contadas por indivíduo e por parcela, frequência de vistas às flores de *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco

| <b>Flor</b> | <b>Flores abertas/<br/>indivíduo</b> | <b>Flores abertas/<br/>parcela</b> | <b>Quantidade total de<br/>visitas</b> |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| Masculina   | 1-5                                  | 1-44                               | 107                                    |
| Feminina    | 1                                    | 1-4                                | 23                                     |

**Tabela 2.** Espécies de visitantes florais e tipos de flores visitadas em *Jatropha mutabilis* (Pohl) Baill. (Euphorbiaceae) em área de Caatinga no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco

|                                    | Flor Masculina | Flor Feminina |
|------------------------------------|----------------|---------------|
| <b>Abelha</b>                      |                |               |
| <i>Trigona spinipes</i>            | x              | x             |
| <b>Beija-flores</b>                |                |               |
| <i>Chlorostilbon aureoventris</i>  | x              | x             |
| <i>Anopetia gounellei</i>          |                | x             |
| <b>Borboletas</b>                  |                |               |
| <i>Phoebis sennae</i>              | x              | x             |
| <i>Euptoieta hegesia meridiana</i> |                | x             |
| <i>Eurema elathea</i>              |                | x             |
| <b>Saturnidae</b>                  |                | x             |
| <b>Diptera</b>                     | x              |               |

## 5 CONCLUSÕES

A quantidade de indivíduos de uma população e de flores disponíveis alterou o comportamento dos visitantes florais em *Jatropha mutabilis* em área de Caatinga. O aumento na quantidade de indivíduos, associado ao aumento na oferta de recursos (flores) na espécie favoreceu a frequência dos visitantes florais, corroborando os pressupostos da teoria do forrageamento ótimo. Os visitantes florais forragearam parcelas que ofereciam grande quantidade de flores, principalmente as flores masculinas. Dados sobre a formação de frutos em *Jatropha mutabilis* revelarão os efeitos da frequência de visitas no sucesso reprodutivo.

## 6 ANEXOS

Normas gerais para publicação de artigos na *Journal of Ecology*

<http://www.journalofecology.org/view/0/index.html>