

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**MESTRADO EM MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS**

**BIOLOGIA FLORAL DA PALMA FORRAGEIRA: OCORRÊNCIA DE  
MECANISMOS REPRODUTIVOS E CAUSA DO ABORTAMENTO DE FRUTOS.**

RECIFE, ABRIL DE 2016

**RHUAN JOSÉ GONÇALVES PASTORIZA**

**BIOLOGIA FLORAL DA PALMA FORRAGEIRA: OCORRÊNCIA DE MECANISMOS REPRODUTIVOS E CAUSA DO ABORTAMENTO DE FRUTOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas - (PPGAMGP) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Agronomia.

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

Prof<sup>o</sup> Dr. José Luiz Sandes de Carvalho Filho – Orientador

Prof<sup>o</sup> Dr. Dimas Menezes – Coorientador

RECIFE, ABRIL DE 2016

Ficha catalográfica

P293b Pastoriza, Rhuan José Gonçalves  
Biologia floral da palma forrageira: ocorrência de mecanismos reprodutivos e causa do abortamento de frutos / Rhuan José Gonçalves Pastoriza. – Recife, 2016.  
70 f. : il.

Orientador: José Luiz Sandes de Carvalho Filho.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2016.  
Inclui referências.

1. Opuntia 2. Nopalea 3. Cleistogamia 4. Apomixia 5. Sistema reprodutivo I. Carvalho Filho, José Luiz Sandes de, orientador  
II. Título

CDD 581.15

**BIOLOGIA FLORAL DA PALMA FORRAGEIRA: OCORRÊNCIA DE MECANISMOS REPRODUTIVOS E CAUSA DO ABORTAMENTO DE FRUTOS.**

**RHUAN JOSÉ GONÇALVES PASTORIZA**

Dissertação defendida em 26/04/2015 e aprovada pela Banca Examinadora:

**COORIENTADOR:**

---

Prof<sup>o</sup> Dr. Dimas Menezes

**EXAMINADORES:**

---

Prof<sup>o</sup> Dr. Mario de Andrade Lira

(UFRPE - Departamento de Zootecnia; Pesquisador do IPA;  
Bolsista de produtividade do CNPq)

---

Prof<sup>o</sup> Dr. Edson Ferreira da Silva

(UFRPE – Departamento de Biologia)

RECIFE, ABRIL DE 2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo dom da minha vida.

Agradeço a minha família, em especial a meu pai: Ramon Pastoriza; a minha mãe: Roseane Pastoriza; e a minha namorada: Laryssa Freitas, pela compreensão e paciência.

Agradeço ao pesquisador do IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco, Djalma Cordeiro dos Santos. Sem seu auxílio este trabalho não seria concretizado, agradeço a amizade e o acolhimento. Ao senhor, meu respeito e eterna gratidão. Obrigado.

Agradeço a meu orientador, José Luiz Sandes de Carvalho Filho; e a meu coorientador, Dimas Menezes, exemplos de profissionais que seguirei.

Agradeço ao IPA, nas pessoas de Conceição, José Severino de Lira Junior e Júlio, por toda infraestrutura e conselhos. Agradeço a Prefeitura de Arcoverde pela compreensão e disponibilidade, nas pessoas de Alberto Vaz e Prefeita Madalena Britto. Agradeço a UFRPE por toda atenção e contribuição a minha pesquisa, obrigado a todos meus professores. Agradeço a FACEPE, pela contribuição financeira inicial.

Agradeço aos meus colegas de curso: Adonis, Natália, João, Chapadinha e Meriam, Pela contribuição, dicas e correções. Por fim, Agradeço a todos que me apoiaram nesses dois anos.

Muito obrigado.

*“Não há fatos eternos, assim como não há verdades absolutas”.*

**Friedrich Nietzsche**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Número médio de novos botões florais por acesso relacionados à precipitação mensal acumulada (mm) (IPA 2016).....	31
<b>Figura 2.</b> Número médio de novos botões florais relacionados à temperatura média mensal (°C) (INMET 2016).....	31
<b>Figura 3.</b> Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso V23 (IPA/200153).....	33
<b>Figura 4.</b> Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 37 (IPA/200177).....	33
<b>Figura 5.</b> Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 73 (IPA/100437).....	34
<b>Figura 6.</b> Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 92 (IPA/100456).....	34
<b>Figura 7.</b> Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 111 (IPA/100473).....	35
<b>Figura 8.</b> Viabilidade polínica (%) e receptividade do estigma (%) para cada acesso durante os três momentos de avaliação: pré-antese; antese e 04:00 horas pós-antese.....	36
<b>Figura 9.</b> <b>A:</b> flor no início da antese; <b>B:</b> retirada dos verticilos florais; <b>C:</b> pólen depositado na base do estigma.....	37
<b>Figura 10.</b> Esquerda: detalhe floral da espécie <i>O. atropes</i> Rose, em plena antese. Direita: detalhe floral da espécie <i>N. cochenillifera</i> Salm-Dyck no canto inferior da imagem, em plena antese. ....	48
<b>Figura 11.</b> Detalhe à esquerda para planta logo após receber a suplementação semanal d'água. À direita planta mantida sem suplementação.....	48
<b>Figura 12.</b> Grãos de pólen, pré-fixados por 24 horas em corante azul de anilina em lactofenol, observados em microscópio óptico. Azul escuro representa pólen viável; azul translúcido representa grãos inviáveis ou malformados .....	49
<b>Figura 13.</b> Viabilidade polínica (%) e receptividade do estigma (%) nas espécies <i>N. cochenillifera</i> Salm Dyck; e <i>O. atropes</i> Rose, respectivamente. ....	50

**Figura 14.** Número de sementes e peso de sementes (g) para as espécies: *N. cochenillifera* Salm Dyck; e *O. atropes* Rose. Quantitativo oriundo dos tratamentos florais com cruzamentos, através da mistura de grãos de pólen.....56

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Classificação reprodutiva proposta por Cruden (1977). ..... 10

**Tabela 2.** Fenologia floral básica dos acessos da espécie *O. ficus-indica* Mill. Arcoverde - PE, 2016. ....30

**Tabela 3.** Resultado dos tratamentos florais utilizados para verificar a cleistogamia e a apomixia. Arcoverde - PE, 2016.....38

**Tabela 4.** Caracterização floral das espécies, segundo Cruden (1977). Arcoverde - PE, 2016.....52

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para ambas espécies; os valores correspondem ao F(calculado), exceto para a linha referente ao coeficiente de variação (CV). Arcoverde - PE, 2016. ....52

**Tabela 6.** Médias do fator tipo de polinização, para cada espécie. Arcoverde - PE, 2016. ....53

**Tabela 7.** Médias do fator com e sem suplementação hídrica de cinco litros. Arcoverde - PE, 2016. ....54



# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	CAPÍTULO I - MELHORAMENTO GENÉTICO DA PALMA FORRAGEIRA: ESTADO DA ARTE .....	3
2.1.	O semiárido .....	3
2.2.	A palma forrageira .....	4
2.2.1.	<i>Opuntia</i> .....	5
2.2.2.	<i>Nopalea</i> .....	6
2.3.	Panorama do melhoramento genético da palma forrageira.....	7
2.4.	Sistema reprodutivo.....	9
2.4.1.	Cleistogamia .....	12
2.4.2.	Apomixia .....	13
2.5.	Referencial bibliográfico .....	14
3.	CAPÍTULO II – INVESTIGAÇÃO SOBRE A OCORRÊNCIA DE APOMIXIA E CLEISTOGAMIA EM ACESSOS DO GÊNERO <i>OPUNTIA</i> .....	26
3.1.	Resumo .....	26
3.2.	Introdução.....	27
3.3.	Material e métodos .....	28
3.3.1.	Fenologia floral .....	28
3.3.2.	Viabilidade do pólen e receptividade do estigma .....	28
i.	Viabilidade do pólen .....	29
ii.	Receptividade do estigma .....	29
3.3.3.	Sistema reprodutivo .....	29
3.4.	Resultados e discussão.....	30
3.5.	Considerações finais .....	39
4.	CAPÍTULO III – O ABORTAMENTO DE FRUTOS NAS ESPÉCIES <i>Opuntia</i> <i>atropes</i> Rose E <i>Nopalea cochenillifera</i> Salm-Dyck. ....	45

4.1. Resumo .....	45
4.2. Introdução.....	46
4.3. Material e métodos .....	46
4.3.1. Sistema reprodutivo e relação pólen/óvulo .....	47
4.3.2. Viabilidade do pólen e receptividade do estigma .....	48
4.3.3. Tratamentos florais .....	49
4.3.4. Análises estatísticas.....	50
4.4. Resultados e discussão.....	50
4.5. Considerações finais .....	56
4.6. Referencial bibliográfico .....	58
5. Conclusões.....	61

# 1. INTRODUÇÃO

O sertão e o agreste pernambucano possuem uma situação climática bastante difícil para a exploração agropecuária, por apresentarem período chuvoso concentrado em apenas três meses do ano (Molion e Bernardo 2000). As palmas forrageiras (*Opuntia spp.* e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) fazem parte de um conjunto de espécies que viabilizam a exploração pecuária nas regiões semiáridas, pois são produtivas e tolerantes ao cultivo em locais de baixa precipitação e altas temperaturas diurnas, condições semelhantes às registradas em boa parte do semiárido brasileiro (Santos et al. 2001).

Nas últimas décadas a área de cultivo da palma forrageira vem reduzindo devido à cochonilha do carmim, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), inseto que provoca danos nos cladódios pela injeção de toxinas. As cultivares tradicionalmente utilizadas: Redonda, Gigante e clone IPA-20, do gênero *Opuntia* e espécie *Opuntia ficus-indica*, apresentam alta suscetibilidade a esta praga (Vasconcelos et al. 2009). O Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, por meio do programa de melhoramento genético da palma forrageira, tem buscado por genótipos superiores resistentes ao inseto e mais produtivos que as cultivares já liberadas.

Para a geração de novas cultivares existem dificuldades relacionadas à reprodução desse vegetal, retardando o andamento de programas de melhoramento genético. A biologia floral da palma é bastante complexa, certos mecanismos reprodutivos, tais como apomixia e cleistogamia, não são bem esclarecidos, gerando dúvidas quanto à origem sexuada ou assexuada da progênie.

Outro problema encontrado em algumas espécies de palma forrageira é o abortamento de frutos em cruzamentos controlados ou não. A causa dessas abscisões deve ser investigada e sanada, pois a incapacidade de produzir frutos com sementes viáveis dificulta a propagação sexuada, fonte de variabilidade genética a ser explorada pelos melhoristas.

O objetivo deste trabalho foi investigar os mecanismos reprodutivos de apomixia e cleistogamia em acessos de palma forrageira do gênero *Opuntia*; além

de identificar as possíveis causas do elevado abortamento de frutos da cultivar Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) e do Clone F8 (*Opuntia atropes* Rose).

## **2. CAPÍTULO I - MELHORAMENTO GENÉTICO DA PALMA FORRAGEIRA: ESTADO DA ARTE**

### **2.1. O semiárido**

No início do século XX, 10 a 15% da zona habitável do mundo foi classificada como semiárida (Raya 1996), no entanto, o processo de desertificação, geralmente, desencadeado por ações humanas, favorece que outras regiões tornem-se áridas ou semiáridas (Wickens 1998). Nessas áreas, uma gestão hídrica eficiente é primordial para a manutenção da vida humana, animal e vegetal (Silva 2014).

No Brasil, o semiárido ocupa cerca de 11% do território nacional, predominantemente localizado no nordeste, abrange uma área estimada de 982.563 km<sup>2</sup> (Pereira 2007). O semiárido brasileiro apresenta temperatura média anual de 27°C; evapotranspiração potencial de até 2.000 mm.ano<sup>-1</sup>; umidade do ar em torno de 50%; e precipitação média anual oscilando entre 450 - 600 mm (SUDENE 1985). Mesmo sob essas condições o Brasil possui uma das regiões semiáridas mais chuvosas do mundo (Conti e Schroeder 2013).

Em conformidade com a sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro, Pernambuco é um dos estados inclusos na região semiárida brasileira, cerca de 90% de sua área está enquadrada nessas condições; 66% dos municípios desse estado estão inseridos nessa região. Demograficamente, 16% da população total do estado residem no semiárido e Caruaru, município do agreste, destaca-se com o maior número de habitantes dentre os municípios da porção semiárida de Pernambuco – 314.912 (Medeiros et al. 2012).

A pecuária é a principal atividade rural desenvolvida no semiárido nordestino, com destaque para o rebanho de pequenos ruminantes – ovinos e caprinos – que, respectivamente, representam 57% e 89% do montante nacional desses animais (IBGE 2014). Geralmente, eles são criados extensivamente, alimentando-se das espécies nativas e, durante a estiagem, mantidos por espécies forrageiras.

A caatinga, bioma característico do semiárido brasileiro, é composta, predominantemente, por espécies xerófitas adaptadas ao contexto hídrico da região. A família botânica das cactáceas é uma das mais representativas desse bioma,

constituindo importante fonte de água e carboidratos para os ruminantes. Um grande número de cactos possui utilização forrageira, porém dentre eles destaca-se a Palma Forrageira (Correia et al. 2012; Lucena et al. 2015; Almeida 2012).

## **2.2. A palma forrageira**

A Palma, espécie originária do México, foi introduzida no Brasil em meados do século XVII com a finalidade de exploração da Cochonilha do Carmim (*Dactylopius coccus* Costa), inseto sugador cujo corante obtido de seu processamento é amplamente utilizado pela indústria (Flores-Flores 1999; Rocha 2012). Seu primeiro relato forrageiro foi registrado no início do século XX (Lima e Gama 2001). Pesquisas comprovam sua versatilidade para os mais variados usos: alimentar, farmacêutico, energético, forrageiro, entre outros. No semiárido brasileiro, em especial no estado de Pernambuco, a palma está intrinsecamente ligada à produção de leite, constituindo uma importante aliada para os pecuaristas durante a estiagem (Lira et al. 2013; Nunes 2011).

A água é o fator limitante para produção leiteira, sendo assim, pelo seu elevado teor d'água, a palma torna-se imprescindível na região semiárida, tal fato foi confirmado por Lima et al. (2003), avaliando a substituição do milho por palma (cv. Miúda e cv. Gigante) constataram, em vacas mestiças, uma redução significativa na ingestão diária de água, sem, no entanto, alterar sua produção láctea. Ao que parece, o incremento desta forrageira na dieta de pequenos ruminantes, também reduz sua ingestão d'água, Bem Salem et al. (1996) conduzindo estudos com ovelhas, identificaram redução significativa e gradativa do consumo d'água, à medida que o fornecimento de palma forrageira aumentava.

Outro ponto positivo da palma é sua digestibilidade, que por vezes é equiparada a do milho. A substituição do fubá de milho por palma forrageira, em vacas leiteiras, não demonstrou diferença significativa quanto à digestibilidade aparente e total (Oliveira 2014). Wanderley et al. (2012), em avaliação com ovinos sobre a associação de palma forrageira com silagens e fenos de origem diversas, concluíram que não há alteração significativa quanto à digestibilidade das associações e destacam que a palma é uma excelente opção para a alimentação animal no nordeste brasileiro.

Estima-se que a área de plantio destinada à palma forrageira, no semiárido brasileiro, é de 400 - 550 mil hectares, compartilhados por diversos estados nordestinos; Alagoas e Pernambuco são detentores das maiores áreas de cultivo (Santos et al. 1997; Araujo et al. 2005). A produtividade média atingida é bem variável em função dos tratos culturais, incidência de pragas, doenças, e cultivar, porém com corte anual e em condições de sequeiro a produtividade de matéria seca fica entre 4 – 50 t.ha<sup>-1</sup> (Santos et al. 1999). Alguns organismos praga merecem destaque, pois podem reduzir a produção do palmar. A ordem Hemiptera causa grande prejuízo econômico ao estado pernambucano. As cochonilhas - do carmim e da escama – respectivamente, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) e *Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833), são insetos vorazes e capazes de causar danos expressivos à produção desta forrageira (Santos et al. 2002; Chiacchio 2008).

A palma forrageira pertence à família botânica das cactáceas, que possui dois gêneros de utilização forrageira, são eles: *Opuntia* e *Nopalea*. As espécies *Opuntia ficus-indica* Mill e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck são amplamente cultivadas em Pernambuco (Rebman e Pikava 2001; Santos et al. 2014). Atualmente, as cultivares Miúda (*N. cochenillifera* Salm Dyck) e Orelha de elefante mexicana (*O. stricta* Haw) são bastante difundidas e aceitas em todo estado pernambucano (Rocha 2012; Lopes et al. 2010; Santos et al. 1997).

### **2.2.1. *Opuntia***

O gênero *Opuntia*, possui cerca de 300 espécies altamente adaptadas às condições áridas e semiáridas com pluviosidade variando de 200 – 450 mm.ano<sup>-1</sup> (Mohamed-Yasseen et al. 1996). Denominadas de xerófitas, estas espécies possuem alta eficiência no uso da água e praticam a rota fotossintética CAM, ou metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) (Han e Felker 1997; Stintzing e Carle 2005).

A *O. ficus-indica* var. *inermis*, ou simplesmente *O. ficus-indica* (Kiesling 1998), é desprovida de espinhos e tem grande destaque na alimentação animal (Silva e Santos 2006). Outras espécies deste gênero também compartilham desta aptidão alimentícia, como: *O. robusta* ssp. *Larreyi*; *O. undulata* x *O. tomentosa* (Ramírez-Tobías et al., 2010); e *O. stricta* Haw (Lucena et al. 2013). A *O. ficus – indica* Mill é

constituída por água (>90%), matéria seca (5-8%), carboidratos-não-fibrosos (2-4%), traços de vitaminas, lipídeos, minerais e proteínas (<1%) (Stintzing e Carle 2005; Feugang et al. 2006; Araujo et al. 2004). As espécies deste gênero apresentam variação entre si quanto ao porte, formato dos cladódios e densidade de aréolas. O sistema radicular tem distribuição horizontal e superficial; a floração ocorre preferencialmente no terço médio superior da copa, onde os cladódios que recebem maior incidência luminosa apresentam também, maior fertilidade (Kiesling 1998; Segantini et al. 2010).

Diversos fatores ambientais podem contribuir para o processo de florescimento, destacando-se a temperatura, disponibilidade hídrica e fertilidade do solo (Gutterman 1986; Segantini et al. 2010; Bowers 1996; Nerd e Mizrahi 1995). Para *O. ficus-indica* e outras cactáceas, o florescimento pode ser induzido por estimulantes fito-hormonais em conjunto com a redução do fotoperíodo (Rohwer e Heins 2007; Jiang et al. 2012; Aguilar e Chávez 1995). No gênero *Opuntia*, o florescimento dura em média de quatro a cinco meses e geralmente, no hemisfério sul, inicia-se nos meses de setembro - outubro (Wessels e Swart 1989; Nieddu e Spano 1992). As flores são amarelas, de perianto completo, com antese ocorrendo 20 – 40 dias após o surgimento do botão floral; a duração da abertura floral oscila entre 24 – 48 horas (Reyes-Agüero et al. 2006).

As espécies desse gênero são monóicas, no entanto existem relatos de espécies que apresentam ginodioicia e dioicia (Díaz e Cocucci 2003). As abelhas são os principais agentes polinizadores da palma forrageira, favorecendo a polinização cruzada, no entanto a autofecundação pode ser induzida durante a visitação floral, principalmente porque a maioria das espécies deste gênero é auto-compatível. A interação inseto – estame estimula a liberação do pólen, que tende a depositar-se no vetor da polinização e no estigma da própria flor (Reyes-Agüero et al. 2006; Grant e Hurd 1979).

### **2.2.2. *Nopalea***

O gênero *Nopalea*, também composto por espécies xerófitas adaptadas a ambientes de temperatura diurna elevada, demonstra tolerância às condições semiáridas. Estudos sobre  $LT_{50}$ , (temperatura letal para morte de 50% das células)



realizados na espécie *N. cochenillifera* Salm-Dyck, relataram que as células do caule suportaram temperaturas acima de 50°C (Nobel e Zutta 2008).

Por sua tolerância a temperaturas diurnas elevadas, a espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck tem se consolidado no semiárido pernambucano. Quanto a sua constituição: 83 - 88% são de água; 10 - 13% de matéria seca, 2 - 3,3% de carboidratos-não-fibrosos; < 2% de proteína, lipídeos e minerais. Destacando-se no uso forrageiro, essa espécie foi enquadrada no gênero *Nopalea* devido a diferenças relacionadas à morfologia gamética, distinguindo-a das opuntias (Lim 2012; Li e Taylor 2007; Wanderley 2008).

As nopaleas possuem os mais variados portes, dois a nove metros de altura; com cladódios geralmente elípticos. Certas espécies destacam-se por sua espinhosidade e porte elevado, no entanto a espécie utilizada na alimentação animal é de porte moderado, variando entre dois e quatro metros, com espinhos geralmente ausentes (Lim 2012; Britton e Rose 1963).

Os conhecimentos florais sobre o gênero *Nopalea* são bastante incipientes. Um detalhamento mais específico ocorreu na espécie *N. cochelinifera* Salm Dyck, uma espécie monóica que possui flores modificadas em formato tubular, com estruturas compactas e adensadas; sua polinização é ornitófila, realizada pelo beija-flor. Possuem cor vermelha ou laranja com pétalas que não desabrocham completamente e parecem atrofiadas. Os estames são longos e ultrapassa as pétalas, geralmente ficando em contato com o estigma e, por vezes, mais alto (Lim 2012). Sobre a reprodução da espécie mencionada, pouco se compreende.

### **2.3. Panorama do melhoramento genético da palma forrageira**

Com o descobrimento acidental do seu uso forrageiro, durante a seca de 1932, cladódios da palma forrageira foram disseminados para todo semiárido nordestino. Logo, os primeiros ensaios agrônômicos e zootécnicos foram iniciados, estudos primários revelaram a ocorrência de acidose ruminal e diarréias em bovinos alimentados exclusivamente com palma forrageira e concentrado (Lima e Gama 2001; Santana et al. 1972). Esses relatos coibiram sua utilização forrageira, pois se pensava que esta cactácea poderia ser prejudicial aos ruminantes. Avaliações

subsequentes identificaram a necessidade complementar de adição fibrosa à dieta animal, suplementar a palma, desta forma, malefício algum ocorria (Lima et al. 1985; Albuquerque et al. 2002). Em meados da década de 90, o Clone IPA-20 foi a primeira cultivar liberada pelo programa de melhoramento genético da palma do Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA (Santos et al. 1999).

As hibridações naturais podem ocorrer de maneira espontânea gerando potenciais indivíduos de interesse para programas de melhoramento vegetal; a *O. occidentalis* é um exemplo (Mondragón-Jacobo e Pérez-González 2001), no entanto, como a poliploidia é um evento comum na palma forrageira, a formação de híbridos entre espécies e, ou entre gêneros torna-se muito dificultosa (Pinkava 2002; Mondragon-Jacobo e Bordelon 1996; Griffith e Porter 2009). O número básico de cromossomos do gênero *Opuntia* é  $N=11$ , formas diploides ( $2N$ ) são raras, o que de fato ocorrem são poliploides, triploides ( $3N$ ) a octaploides ( $8N$ ) (Majure et al. 2012). *O. ficus-indica*, uma das espécies mais conhecidas do gênero, é uma octaploide por alopoliploidia (Pinkava 2002; Griffith 2004).

Cruzamentos e autopolinizações controlados são frequentemente utilizados nos programas de melhoramento genético da palma, essas ações são possíveis devido à manipulação floral. A emasculação das flores na *O. ficus-indica* Mill segue um protocolo: I) Eliminação dos gloquídeos, com um pincel; II) Retirar a corola, utilizando um estilete ou bisturi, cuidadosamente para evitar danos ao botão; III) Cortar, com tesoura ou estilete, as anteras; IV) Eliminar resíduos da operação com esguichos d'água; V) Enxugar com papel toalha, suavemente; VI) Esperar de 15 – 20 minutos para secagem; VII) Cobrir a flor com um saco de papel ou de TNT (tecido-não-tecido); e VIII) Identificá-lo. (Bunch 1997; Mondragón-Jacob 1999).

Diversos programas de melhoramento contribuíram com excelentes materiais. O México, através do Colégio de Pós-graduação da Escola Nacional de Agricultura (COPENA), desenvolveu cultivares voltadas para produção de frutas e de cladódios juvenis consumidos como hortaliça: Copena V1 (CPV1), Copena F1(CPF1), entre outras. A Texas A&M University administra uma coleção de palma forrageira e tem um programa de melhoramento ativo. Itália, África e Brasil, selecionam materiais de polinização aberta, buscando identificar genótipos superiores (Mondragón-Jacobo e Pérez-González 2001).

No Brasil, o único programa de melhoramento genético da palma é conduzido pelo IPA, em conjunto com a UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco, o IPA possui mais de 1.350 acessos, desses: 1000 são clones em processo de avaliação e 350 são genótipos oriundos de diversas regiões do mundo. O Programa lançou as cultivares predominantemente plantadas na região e vem alcançando incrementos produtivos ao longo dos anos (Santos et al. 2011). Essas cultivares são adaptadas às condições locais, porém não apresentam a concatenação, em um só genótipo, de um número relevante de características importantes para a região. Geralmente, possuem alguma susceptibilidade patogênica ou mal fisiológico, que enfraquece a cultivar.

#### **2.4. Sistema reprodutivo**

O sistema reprodutivo da palma forrageira é bastante complexo, sendo pouco compreendido em várias espécies do gênero *Opuntia* e *Nopalea*. Nestas existem incertezas sobre certos mecanismos reprodutivos, bem como sobre a possibilidade destes mecanismos ocorrerem simultaneamente na concepção das progênes (Mondragón-Jacobo e Pérez-González 2001; Del Castillo 1999). Ainda que os avanços citogenéticos e filogenéticos sejam relevantes (Majure et al. 2012; Pinkava 2002; Griffith 2004; Griffith e Porter 2009), a compreensão do sistema reprodutivo da espécie alvo é de primordial importância. O reconhecimento destes mecanismos amplia as opções do melhorista, permitindo-o tomar decisões para evitá-los ou explorá-los.

Apenas dois por cento das espécies pertencentes à família das cactáceas tem sua biologia floral compreendida, ou seja, cerca de 1.560 espécies dessa família botânica carecem de informações sobre características florais, estudos de hibridação, polinização; morfologia e funcionalidade floral, e depressão endogâmica (Mandujano et al. 2010).

A palma forrageira (*Opuntia* spp.) pode realizar fecundação cruzada e/ou autofecundação com taxas variáveis em função das condições ambientais e de aspectos intrínsecos a própria espécie, sendo assim detentora de um sistema reprodutivo misto e versátil (Nerd e Mizrahi 1997; Barbera et al. 1995; Mandujano et al. 1996; Del Castillo 1999). Na *O. retrorsa* observou-se que: uma população sobre

determinadas condições de altitude realizava mais de 60% de autofecundação, enquanto outra população, de mesma espécie em localidade distinta, realizava 67% de polinização cruzada (Bianchi et al. 2000).

Pouco tem sido feito para compreender a complexidade floral da palma forrageira. Em algumas espécies, como *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, o conhecimento sobre o sistema reprodutivo é completamente limitado ou inexistente, assim o futuro do programa de melhoramento dessa forrageira depende, principalmente, do entendimento a cerca do sistema reprodutivo e de sua biologia floral.

Dados métricos, relacionados à morfologia e biologia floral de uma espécie, auxiliam na identificação do provável sistema reprodutivo, através do OCI (*outcrossing index*). Índice obtido pelo somatório de três avaliações: **I**) relaciona-se ao diâmetro floral, basicamente, se a corola possuir um diâmetro menor que 1mm, recebe zero, diâmetro entre 1- 2 mm, recebe um, e entre 2 – 6 mm, recebe dois, e quando for maior que 6mm recebe três; **II**) Remete à separação temporal entre a deiscência das anteras e receptividade do estigma, homogamia ou protoginia recebem zero, protandria recebe um; **III**) relação espacial entre estigma e anteras, se o estigma e as anteras estiverem no mesmo patamar – altura – com possibilidade de se tocarem, recebe nota zero, caso contrário, recebem um. A relação pólen/óvulo (P/O) também se destaca na identificação do provável sistema reprodutivo (Cruden 1977) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação reprodutiva proposta por Cruden (1977).

OCI	Sistema reprodutivo	P/O	Log P/O
0	Cleistogâmica	4,7 ± 0,7	0,65 ±0,07
1	Autogamia obrigada	27,7 ± 3,1	1,43 ±0,05
2	Autogamia facultativa	168,5 ±22,1	2,15 ±0,06
3	Alogamia facultativa	796,6 ±87,7	3,65 ±0,06
4	Alogamia	5859,2 ± 936,5	3,65 ±0,06

OCI: *outcrossing index*; P/O: relação entre o número total de grãos pólen e o número total de óvulos; e Log P/O: Logaritmo da relação P/O.

A relação P/O é amplamente difundida em espécies cujo conhecimento sobre o sistema reprodutivo ainda é incipiente, como exemplos: *Casearia grandiflora* Camb (Machado e Oliveira 2000); *Cuphea melvilla* Lindlay (Melazzo e Oliveira, 2012);

*Arrojadoa rhodantha* – uma cactácea (Kiill et al. 2012). Seu cálculo é simples e resume-se a contagem do número médio de grãos de pólen/anteras e posteriormente contagem de um número médio de anteras/flores, logo a multiplicação destas médias consistirá em uma média de grãos de pólen/flor. Para o número de óvulos, realiza-se a contagem do total de óvulos de um grupo de flores, obtendo-se a média. A relação é obtida pela divisão do número de grãos de pólen pelo número médio de óvulos (Cruden 1977).

Os cruzamentos testes são essenciais para a determinação precisa do sistema reprodutivo de uma espécie, atuam complementando os resultados obtidos pela relação P/O e OCI. Testando a auto-incompatibilidade em *Miconia Ciliata* (L.C. RICH), Melo e Machado (1998), além de determinarem OCI e a relação P/O, realizaram várias formas de cruzamentos controlados.

Pessoa et al. (2013) em pesquisa reprodutiva com a *Smilax fluminensis* Steud, testaram tratamentos florais e verificaram a ocorrência de apomixia em inflorescências distintas, comprovando a apomixia facultativa da espécie. Seguindo o mesmo princípio, em *Microlicia fulva* CHAM, Alvarenga et al. (2015) realizaram três tratamentos florais visando compreender melhor os meios de fertilização da espécie, por fim identificaram a polinização cruzada como a técnica mais eficiente para produção de frutos.

No gênero *Opuntia*, Wang et al. (1996) realizaram uma série de tratamentos florais em sete acessos de palma, dentre eles espécies utilizadas como forrageiras; oito tratamentos florais foram aplicados, incluindo hibridações e emascações, parciais e totais. Esses tratamentos auxiliaram na identificação do sistema reprodutivo adotado pelos clones, nesse caso, a apomixia não foi registrada nos clones avaliados.

Além deste complexo sistema de reprodução, existem várias possibilidades de fecundação por diferentes mecanismos reprodutivos: cleistogamia e apomixia já foram relatadas (Rosas e Pimienta 1986; Reyes-Agüero et al. 2006). A situação torna-se ainda mais complexa quando se considera a possível ocorrência simultânea destes mecanismos em uma mesma flor.

### 2.4.1. Cleistogamia

Trata-se de um mecanismo reprodutivo que condiciona a autogamia, a fertilização ocorre antes da antese floral ou na sua eminência; a cleistogamia é registrada em várias espécies e provavelmente é de cunho evolutivo, no entanto fatores ambientais e genéticos podem corroborar para uma reversão parcial ou total do mecanismo (Uphof 1938). Pesquisas conduzidas com espécies do gênero *Ruellia* sugerem que fatores ambientais ou fisiológicos podem estar relacionados a presença de flores cleistogamas (Lima et al. 2005). Nas opuntias, a autofecundação pode ocorrer algumas horas antes da antese, caracterizando o mecanismo reprodutivo cleistogâmico (Pimenta 1990).

Em cruzamentos controlados a cleistogamia pode torna-se um problema. A emasculação, processo de excisão floral que exclui a parte masculina, deve ser realizada antes que ocorra a fertilização. Em *Vigna unguiculata* (L) Walp, espécie cleistogâmica, a emasculação é realizada 20 horas antes da antese, evitando o contato do pólen com o estigma receptível (Almeida Pereira et al. 2009; Freire Filho et al. 2014).

Avaliações florais sobre a receptividade do estigma, quando realizadas juntamente com inferências sobre a viabilidade do pólen, auxiliam nas conclusões sobre a cleistogamia (Sahoo et al. 2005). Diversos trabalhos correlacionam avaliações do grão de pólen com informações sobre a receptividade do estigma visando justificar ou fundamentar os mecanismos reprodutivos (Franchi et al. 2007; Bhattacharya e Mandal 2004; Forni-Martins et al. 1998; Grilli et al. 2011).

Dados sobre a viabilidade do pólen são importantes quando se pretende realizar hibridações, pois refletem o potencial reprodutivo masculino (Biondo e Battistin 2012). A constatação desta viabilidade é prioritária em muitos programas de melhoramento; existem métodos diretos e indiretos para determinação da viabilidade e, por vezes, são comparados. Geralmente, nos métodos diretos, o percentual de grãos de pólen germinados, seja diretamente no estigma ou indiretamente em placa de petri, representa a própria viabilidade polínica; já os métodos indiretos, inferem, muitas vezes, por coloração quais grãos de pólen estão viáveis. (Techio et al. 2006; Einhardt et al. 2006); métodos diretos e indiretos têm sido relatados no gênero

*Opuntia*. Em avaliações florais realizadas por método direto – *in vitro* – em clones do gênero *Opuntia* constatou-se um alto nível de viabilidade dos grãos de pólen no momento da antese floral, corroborando para aumentar a chance de autofecundação (Wang et al. 1996; Weiss et al. 1993; Negrón-Ortiz 1998).

A receptividade do estigma é um artifício bastante usual nos estudos florais, esta ferramenta possibilita inferir o percentual de estigmas viáveis e funcionais, ou seja, quando alto, este percentual indicará o aumento da receptividade do estigma aos grãos de pólen, permitindo a germinação destes, se viáveis (Sanzol e Herrero 2001).

Existem diversos métodos que atestam a receptividade do estigma, dentre os mais utilizados encontram-se: Perex Test Merk; Peroxtesmo KO; peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 3%; e solução Baker (Dafni 1992; Dafni e Maués 1998; Kearns e Inouye 1993). Estudos voltados à receptividade do estigma foram realizados com *O. macrocentra* e constatou-se que não havia ocorrência de dicogamia, visto que logo após a abertura floral o estigma tornou-se receptivo, caracterizando esta espécie como casmogâmica (Mandujano et al. 2013).

#### **2.4.2. Apomixia**

É uma reprodução assexuada via semente, já registrada em mais de 300 espécies dos mais variados gêneros vegetais, esse fenômeno trata-se de uma não redução celular que origina um embrião a partir do próprio tecido diploide materno (Cruz e Federizzi 1998).

Wang et al. (1996), concluíram que os clones do gênero *Opuntia*, por ele avaliados, não realizam apomixia, dentre eles a espécie *O. ficus-indica* Mill, no entanto outros autores alegam que este fenômeno é comum na espécie e no gênero mencionado. Tisserat et al. (1979) relataram a ocorrência de apomixia em: *O. aurantiaca* Lindl., *O. dillenii* Haw., *O. glaucophylla* Wendl., *O. leucantha* Link., *O. rafinesquii* Engelm e *O. tortispina* Engelm; Mondragón-Jacobo (2001) também relatou a ocorrência frequente de apomixia em cultivares do gênero *Opuntia*.

Tratamentos florais, ou cruzamentos controlados, são utilizados para sanar a hipótese de realização da apomixia, bem como outros mecanismos reprodutivos:

Rosa e Pimenta (1986) observaram, no gênero *Opuntia*, a formação de frutos com sementes após emasculação floral. Teixeira e Machado (2004) utilizaram artifícios estatísticos para assegurar os resultados obtidos em campo, os tratamentos florais foram comparados pelo teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ).

## 2.5. Referencial bibliográfico

Aguilar BG e Chávez FS (1995) **Frutos partenocárpicos de nopal (*Opuntia amyclae*) mediante la inducción de esterilidad masculina**. Em: Pimenta BE, Neri LC, Muñoz UA, Huerta MFM (Eds.), Memória do VI Congresso Nacional e IV Internacional sobre o Conhecimento e Aproveitamento do Nopal. Universidade de Guadalajara, Guadalajara, 136–138p.

Albuquerque SSC, Lira MA, Santos MVF, Dubeux JJCB, Melo JN, Santos DC e Farias I (2002) Utilização de três fontes de nitrogênio associadas à palma forrageira (*Opuntia ficusindica*, Mill.) cv. Gigante na suplementação de vacas leiteiras mantidas em pasto diferido. **Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa 31**: 1315-1324.

Almeida Pereira D, Brasileiro BP e Amaral CLF (2009) Termos da biologia da polinização aplicados à fruticultura. **Biotemas 22**: 141-146.

Almeida RF (2012) Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semi-árido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 7**: 08-14.

Alvarenga T, Fonseca F, Junior FS e Silveira C (2015) Estudo do sistema reprodutivo de *Microlicia fulva* Cham.(melastomataceae). **SaBios-Revista de Saúde e Biologia 10**: 80-85.

Araújo LF, Oliveira LDS, Perazzo Neto A, Alsina OD e Silva FD (2005). Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9**: 379-384.

Araújo PRB, Ferreira MDA, Brasil LDA, Santos DD, Lima RMB, Vêras ASC e Azevedo MD (2004) Substituição do milho por palma forrageira em dietas completas para vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia 33**: 1850-1857.



Barbera G, Inglese P e Pimienta BE (1995) **Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear (132)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 216p.

Ben Salem HA, Nefzaoui HA e Ørskov ER (1996) Effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* var. *inermis*) on intake and digestion by sheep given straw-based diets. **Animal Science** **62**: 293-299.

Bhattacharya A e Mandal S (2004) Pollination, pollen germination and stigma receptivity in *Moringa oleifera* Lamk. **Grana** **43**: 48-56.

Bianchi MB, Gibbs PE, Prado DE e Vesprini JL (2000) Studies on the breeding systems of understory species of a Chaco woodland in NE Argentina. **Flora (Jena)** **195**: 339-348.

Biondo E e Battistin A (2012) Comparação da eficiência de diferentes corantes na estimativa da viabilidade de grãos de pólen em espécies dos gêneros *Eriosema* (DC.) G. Don e *Rhynchosia* Lour (Leguminosae-Faboideae), nativas na região sul do Brasil. **Bioikos** **15**: 39-44.

Bowers JE (1996) More flowers or new cladodes? Environmental correlates and biological consequences of sexual reproduction in a Sonoran Desert prickly pear cactus, *Opuntia engelmannii*. **Bulletin of the Torrey Botanical Club** **123**: 34-40.

Britton NL e Rose JN (1963) **The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family**. Courier Corporation, Washington, 321p.

Bunch R (1997) Update on cactus pear breeding program and new products at D'Arrigo Bros. **Journal Professional Association for Cactus Development** **2**: 60-70.

Chiacchio FPB (2008) Incidência da cochonilha do carmim em palma forrageira. **Bahia Agrícola** **8**:12-14.

Conti IL e Schroeder EO (2013) CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Autonomia e Protagonismo Social. Transição Paradigmática na convivência com o semiárido**. Editora IABS, Brasília, 208p.

Correia RC, Kill L, Moura M, Cunha TF, Jesus A e Araújo JL (2012) A região Semiárida brasileira. In: Voltolini TV (2012) **produção de Caprinos e Ovinos no Semiárido**. Embrapa, Petrolina, p. 21-48.

Cruden RW (1977) Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. **Evolution** **31**: 32-46.

Cruz RP, Federizzi LC e Milach SCK (1998) Apomixis in plant breeding. **Ciência Rural** **28**: 155-161.

Dafni A e Maués MM (1998) A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. **Sexual Plant Reproduction** **11**: 177-180.

Dafni A (1992) Pollination ecology: a practical approach. **IRL Press Ltd, Oxford**, 250 p.

Del Castillo RF (1999) Exploración preliminar sobre los sistemas de cruzamiento en *Opuntia*. In: Aguirre RJR, Reyes-agüero JA (Ed.). **Memoria del viii congreso nacional y III internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal**, p. 360-389.

Díaz L e Cocucci AA (2003) Functional gynodioecy in *Opuntia quimilo* (Cactaceae), a tree cactus pollinated by bees and hummingbirds. **Plant Biology** **5**: 531-539.

Einhardt PM, Correa ER e Raseira MCB (2006) Comparação entre métodos para testar a viabilidade de pólen de pessegueiro. **Revista brasileira de fruticultura** **28**: 5-7.

Feugang JM, Konarski P, Zou D, Stintzing FC e Zou C (2006) Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. **Front Biosci** **11**: 2574-2589.

Flores-Flores V, Tekelenburg A, Inglese G e Barrios E (1999) Produção de corante dacti (*Dactylopius coccus* Costa). **Agroecologia, cultivo e utilizações da palma forrageira**. Roma, FAO, 1999. 216p. Co-editado pelo Sebrae-PB, João Pessoa.

Forni-Martins ER, Marques MCM e Lemes MR (1998) Biologia floral e reprodução de *Solanum paniculatum* L.(Solanaceae) no estado de São Paulo, Brasil. **Brazilian Journal of Botany** **21**: 117-124.

Franchi GG, Nepi M, Matthews ML e Pacini E (2007) Anther opening, pollen biology and stigma receptivity in the long blooming species, *Parietaria judaica* L.(Urticaceae). **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants** **202**: 118-127.

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Cardoso MJ, Dos Santos AA, Rocha Nogueira M DS, Vieira PFDMJ e Moura Rocha M (2014) **Cruzamentos de feijão-caupi *Vigna unguiculata* (L) Walp. realizados na Embrapa Meio-Norte, no período de 1982 a 2012**, Embrapa Meio-Norte, Teresina, 119 p.

Grant V e Hurd PD (1979) Pollination of the southwestern opuntias. **Plant Systematics and Evolution** **133**: 15-28.

Griffith M.P (2004) The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. **American Journal of Botany** **91**: 1915-1921.

Griffith MP e Porter JM (2009) Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). **International Journal of Plant Sciences** **170**: 107-116.

Grilli CM, Somma D e Lauretti P (2011) Comparative study of pollen and pistil in *Crocus sativus* L.(Iridaceae) and allied species. **Annali di Botanica** **58**: 73-82.

Gutterman Y (1986) Precondition influencing flowering of opuntia ficus-indica. **Flowering Newsletter** **2**: 11-13.

Han H e Felker P (1997) Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments** **36**, 133-148.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2014) **produção pecuária**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 30 de dezembro de 2015.

Jiang YL, Liao YY, Lin TS, Lee CL, Yen CR e Yang WJ (2012) The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaya (*Hylocereus sp.*). **HortScience** **47(8)**: 1063-1067.

Kearns CA e Inouye DW (1993) **Techniques for pollination biologists**. University Press of Colorado, Colorado, p.583.

Kiesling R (1998) Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. **Journal of the Professional Association for Cactus Development** **3**: 50-59.

Kiill LHP, Santos APB, Martins CTDVD, Silva NBG e Silva TA (2012) Pollination ecology of the cactus *Arrojadoa rhodantha* in a seasonal hiper-xerophilous tropical forest. **SITIENTIBUS série Ciências Biológicas** **12**: 303-312.

Li ZY e Taylor NP (2007) **Flora of China**. Cactaceae 13, Science Press, Beijing, 491p.

Lim TK (2012) ***Nopalea cochenillifera*** In: Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Springer, Netherlands, 656-659p.

Lima IM e Gama NS (2001) Registro de Plantas Hospedeiras (Cactaceae) e de Nova Forma de Disseminação de *Diaspis echinocacti* (Bouché)(Hemiptera: Diaspididae), Cochonilha-da-Palma-Forageira, nos Estados de Pernambuco e Alagoas. **Neotropical Entomology** **30**: 479-481.

Lima MDA, França M e Dias F (1985) **Emprego da associação palma forrageira e silagem de sorgo na alimentação de vacas holandesas em lactação**. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, Balneário Camboriú. Anais... Sociedade Brasileira de Zootecnia, v 22 133 p.

Lima NAS, Vieira MF, Carvalho-Okano RM e Azevedo AA (2005) Cleistogamia em *Ruellia menthoides* (Nees) Hiern e *R. brevifolia* (Pohl) C. Ezcurra (Acanthaceae) em fragmento florestal do Sudeste brasileiro. **Acta Bot. Bras** **19**: 443-449.

Lima RMB, Andrade Ferreira M, Albuquerque Brasil LH, Araújo PRB, Verás A SC, Santos DC e Souza IS (2003) Substituição do milho por palma forrageira:

comportamento ingestivo de vacas mestiças em lactação. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 25(2): 347-353.

Lira MA, Mello ACL, Santos MVF, Andrade Ferreira M, Farias I e Santos DC (2013) Considerações sobre a produção leiteira no semi-árido pernambucano. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica* 1: 112-123.

Lopes E, Brito CH e Albuquerque IC (2010) Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia spp.*) e (*Nopalea spp.*) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia* 7: 204-215.

Lucena CM, Carvalho TKN, Ribeiro JES, Quirino ZG, Casas A e Lucena RF (2015) Conhecimento Botânico Tradicional sobre Cactáceas no Semiárido do Brasil. *Gaia Scientia* 9: 77-90.

Lucena CM, de Lucena RFP, Costa GM, Carvalho TKN, da Silva Costa GG, da Nóbrega Alves RR & Nunes EM (2013) Use and knowledge of Cactaceae in Northeastern Brazil. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 9: 1-11.

Machado AO e Oliveira PEAD (2000) Breeding biology of *Casearia grandiflora* Camb.(Flacourtiaceae). *Brazilian Journal of Botany* 23: 283-290.

Majure L, Puente R, Griffith M, Soltis P, Judd W e Soltis D (2012) Phylogenetic relationships in the genus *Opuntia* ss (Cactaceae): reticulate evolution, geographical origins, and clade delineation. *American Journal of Botany* 99: 847-864.

Mandujano MC, Carrillo-Angeles I, Martínez-Peralta C e Golubov J (2010) Reproductive biology of Cactaceae. In: **Desert plants**. Springer Berlin Heidelberg, 197-230 p.

Mandujano MC, Golubov J e Huenneke L (2013) Reproductive Ecology of *Opuntia macrocentra* (Cactaceae) in the Northern Chihuahuan Desert. *The American Midland Naturalist* 169: 274-285.

Mandujano MC, Montana C e Eguiarte LE (1996) Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert:

Why are sexually derived recruitments so rare?. **American Journal of Botany** **83**: 63-70.

Medeiros SS, Cavalcante AM.B, Marin AMP, Tinôco LBM, Salcedo IH e Pinto TF (2012) Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro. **INSA**, Campina Grande, 103p.

Melazzo AFO e Oliveira PE (2012) *Cuphea melvilla* Lindlay (Lythraceae): a Cerrado species pollinated by hummingbirds. **Acta Botanica Brasilica** **26**: 281-289.

Melo GF e Machado IC (1998) Self-incompatibility in *Miconia ciliata* (LC Rich.) DC.(Miconieae-Melastomataceae). **Acta Botanica Brasilica** **12**: 113-120.

Mohamed–Yasseen Y, Barringer SA e Splittstoesser WE (1996) A note on the uses of *Opuntia* spp. in Central/North America. **Journal of Arid Environments** **32**: 347-353.

Molion LCB e Bernardo SDO (2000) Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais...(CD-ROM)**. Rio de Janeiro, SBM: 1334-1342p.

Mondragón-Jacobo C (1999) Preliminary genetic studies on cactus pear (*Opuntia* spp, Cactaceae) germplasm from Central México. Ph. D. Diss, Purdue University. West Lafayette, **Indiana**, 136 p.

Mondragón-Jacobo C (2001) Programa de Nopal y Frutales. Verification of the apomictic origin of cactus pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) seedlings of open pollinated and crosses from central Mexico. **Journal of the Professional Association for Cactus Development** **4**: 49-56.

Mondragón-Jacobo C e Bordelon BB (1996) Cactus pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) breeding for fruit production. **Journal of the Professional Association for Cactus Development** **39**: 19-35.

Mondragón-Jacobo C e Pérez-González S (2001) Germplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production. In: Mondragón-Jacobo, C. e PérezGonzález,

S. Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection (169), Rome, 21-28 p.

Negrón-Ortiz V (1998) Reproductive biology of a rare cactus, *Opuntia spinosissima* (Cactaceae), in the Florida Keys: why is seed set very low?. **Sexual Plant Reproduction** 11: 208-212.

Nerd, A e Mizrahi, Y (1995) Reproductive biology. Em: Barbera G, Inglese P, Pimienta BE, Arias JEJ (Eds.) **Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear**. FAO, Rome, 49–58 p.

Nerd A e Mizrahi Y (1997) Reproductive biology of cactus fruit crops. **Horticultural Reviews** 18: 321-346.

Nieddu G e Spano D (1992) Flowering and growth in *Opuntia ficus-indica*. **Acta Horticulture** 296: 153–159.

Nobel PS e Zutta BR (2008) Temperature tolerances for stems and roots of two cultivated cacti, *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia robusta*: Acclimation, light, and drought. **Journal of arid environments** 72: 633-642.

Nunes CS (2011) Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** 6: 58-66.

Oliveira, FDBP (2014) **Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com palma forrageira em substituição ao fubá de milho**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens), Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Garanhuns, 33 p.

Pereira JJS (2007) **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Câmara dos Deputados, Brasília. Disponível em: [http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1604/nova\\_delimitacao\\_jose\\_pereira.pdf](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1604/nova_delimitacao_jose_pereira.pdf). Acessado em: 31 de dezembro de 2015.

Pessoa SPM, Moraes JQ e Silva CA (2013) Apomixia facultativa em *Smilax fluminensis* Steud.(Smilacaceae), espécie dióica de fragmentos florestais, Centro Oeste do Brasil. **Revista Árvore** **37**: 1025-1035.

Pimienta BE (1990) El nopal tunero. **Universidad de Guadalajara, México**, 246 p.

Pinkava D (2002) On the evolution of the continental North American Opuntioideae. Studies in the Opuntioideae (Cactaceae). Milborne Port, Dorset: David Hunt. **Succulent plant research** **6**: 59-98.

Ramírez-Tobías HM, Aguirre-Rivera JR, Pinos-Rodríguez JM e Reyes-Agüero JÁ (2010) Nopalito and forage productivity of *Opuntia* spp. and *Nopalea* sp.(Cactaceae) growing under greenhouse hydroponics system. **International Journal of Food, Agriculture & Environment** **8**: 660-665.

Raya AM (1996) Degradación de tierras en regiones semiáridas. In: **Congreso latino americano de ciencia do solo** **13**, 1996. Anais... Águas de Lindõia: EMBRAPA, 1 CD-ROM.

Rebman JP e Pinkava DJ (2001) *Opuntia* cacti of North America: an overview. **Florida Entomologist** **84**: 474-483.

Reyes-Agüero JÁ, Aguirre RJR e Valiente-Banuet A (2006) Reproductive biology of *Opuntia*: A review. **Journal of arid environments** **64**: 549-585.

Rocha JES (2012) Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. **Embrapa Caprinos e Ovinos**, Sobral, Ceará, 40 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96744/1/DOC-106.pdf>. Acessado em: 5 de Fevereiro e 2016.

Rohwer CL e Heins RD (2007) Daily light integral, prevernalization photoperiod, and vernalization temperature and duration control flowering of Easter cactus. **HortScience** **42(7)**: 1596-1604.

Rosas CMP e Pimienta BE (1986) Polinización y fase progámica en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) tunero. **Fitotecnia** **8**: 164-176.



Sahoo P, Tripathy S, Mishra B, Adhikari S, Das B, Nandi S e Ayyappan S (2005) Reproductive biology of *Withania somnifera* (L.) Dunal. **Current Science 88**: 1375.

Santana OP, Estima AL e Farias I (1972) Palma versus silagem na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia 1**: 31-40.

Santos DC, Andrade Lira M, Farias I e Santos MVF (1999) Programa de melhoramento e coleção de palma forrageira. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. (online). Versão 1.0. Petrolina-PE: Embrapa Semi-Árido/Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/palmaforrageira.pdf>. Acessado em: 6 de fevereiro de 2015.

Santos DC, Farias I, Lira MA, et al (1997) A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill *Nopalía cochonillifera* Salm Dyck) em Pernambuco: cultivo e utilização. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 23 p. (Documentos, 25).

Santos DC, Farias I, Lira MA, Santos MVF, Arruda GP, Coelho RSB, Dias FM, Warumby JF e Melo JN (2002) **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco**: cultivo e utilização. Recife: IPA, 45 p. (IPA. Documentos).

Santos DC, Santos MVF, Farias I, Dias FM e Lira MA (2001) Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). **Rev. bras. Zootec 30**: 12-17.

Santos DC, Silva MC, Júnior JD, Lira MA e Silva RM (2014) Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. **Revista Científica de Produção Animal 15**: 111-121.

Santos MVF, Cunha MV, Lira MA, Dubeux CBJ, Freire JL, Pinto MS, Santos CS, Souza TC e Silva MC (2011) Manejo da palma forrageira, **II CONGRESSO BRASILEIRO DE PALMA E OUTRAS CACTÁCEAS**, Garanhuns, 15 p. Disponível em: <http://pecnordestefaec.org.br/palma/artigos/MANEJO-DA-PALMA-FORRAGEIRA.pdf>. Acessado em: 10 de Fevereiro de 2016.

Sanzol J e Herrero M (2001) The “effective pollination period” in fruit trees. **Scientia Horticulturae** **90**: 1-17.

Segantini DM, Torres LM, Boliani AC e Leonel S (2010) Fenologia da figueira-da-índia em Selvíria-MS. **Revista Brasileira de Fruticultura** **32**: 630-636.

Silva CCF e Santos LC (2006) Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, **7**: 1-13.

Silva JA (2014) Gestão hídrica a partir de cisternas de placas: avaliação socioambiental da eficiência do p1mc no município de pedra lavrada PB. **HOLOS** **4**: 47-60.

Stintzing FC e Carle R (2005) Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. **Molecular nutrition & food research** **49**: 175-194.

SUDENE, SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (1985) **Recursos naturais do Nordeste: investigação e potencial** (sumário das atividades). Recife, 4<sup>a</sup> ed, 183 p.

Techio VH, Davide LC, Pedrozo CA e Vander Pereira A (2006) Viabilidade do grão de pólen de acessos de capim-elefante, milheto e híbridos interespecíficos (capim-elefante x milheto). **Acta Scientiarum. Biological Sciences** **28**: 7-12.

Teixeira LAG e Machado IC (2004) Biologia da polinização e sistema reprodutivo de *Psychotria barbiflora* DC.(Rubiaceae). **Acta Botanica Brasilica** **18**: 853-862.

Tisserat B, Esan EB e Murashige T (1979) Somatic embryogenesis in angiosperms. **Horticultural Reviews** **1**: 1-78.

Uphof, J.C (1938) Cleistogamic flowers. **The Botanical Review** **4**: 21-49.

Vasconcelos AGV, Lira MA, Cavalcanti VLB, Santos MVF e Willadino L (2009) Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp). **Revista Brasileira de Zootecnia** **38**: 827-831.

Wanderley WL (2008) **Silagens e fenos em associação à palma forrageira para vacas em lactação e ovinos**. Tese de Doutorado, Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, **65 p**.

Wanderley WL, Ferreira MDA, Batista AMV, Veras ASC, Bispo SV, Silva FMD, e Santos VLF (2012) Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, **13(2)**: 444-456.

Wang X, Felker P, Paterson A, Mizrahi Y, Nerd A e Mondragon-Jacobo C (1996) Cross-hybridization and seed germination in *Opuntia* species. **Journal of the Professional Association for Cactus Development** **1**: 49-60.

Weiss J, Nerd A e Mizrahi Y (1993) Vegetative parthenocarpy in the cactus pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. **Annals of Botany** **72**: 521-526.

Wessels AB e Swart E (1989) Morphogenesis of the reproductive bud and fruit of the prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) mill cv Morado). In: **International Symposium on the Culture of Subtropical and Tropical Fruits and Crops** **275**: 245-254.

Wickens GE (1998) Ecophysiology of Economic Plants in Arid and Semi-Arid Lands. **Adaptations of Desert Organisms**, Berlin: Springer Verlag, 343 p.

### 3. CAPÍTULO II – INVESTIGAÇÃO SOBRE A OCORRÊNCIA DE APOMIXIA E CLEISTOGAMIA EM ACESSOS DO GÊNERO *OPUNTIA*

#### 3.1. Resumo

Os objetivos dessa pesquisa foram: I) Adquirir informações sobre o florescimento e a fenologia floral de clones de palma forrageira do gênero *Opuntia*; II) Estimar a viabilidade do pólen e a receptividade do estigma em três momentos florais distintos, pré-antese, antese e pós-antese; e III) Verificar apomixia e cleistogamia em acessos do gênero *Opuntia*. Cinco acessos da espécie *Opuntia ficus-indica* Mill foram avaliados na estação experimental de Arcoverde – PE, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA: V23(IPA/200153); 37(IPA/200177); 73(IPA/100437); 92(IPA/100456); e 111(IPA/100473). Foram obtidos dados sobre a viabilidade polínica, receptividade do estigma, número de novos botões florais relacionados a variáveis climáticas e dimensões do botão floral. Dois tratamentos florais foram realizados para investigar a apomixia, estigma e anteras removidos dois dias antes da antese, e cleistogamia, emasculação durante o início da antese seguida de proteção para evitar presença de agentes polinizadores. O percentual de pegamento de frutos para cada tratamento floral foi determinado entre o número de frutos obtidos e o número total de flores submetidas ao tratamento. A viabilidade do pólen manteve-se acima de 80% para todos os momentos florais avaliados; a receptividade do estigma foi máxima, quatro horas após a antese; o número de botões florais foi maior entre os meses de agosto/2015 e outubro/2015, logo após a temporada chuvosa, temperaturas menores e aumento gradativo do comprimento do dia; os frutos, com sementes viáveis, cresceram tanto em diâmetro como em altura; o percentual de pegamento de frutos foi baixo nas flores que receberam tratamento apomítico, 10 – 20%, e alto nas flores que receberam tratamento para investigar a cleistogamia, 60 – 80%. A dicogamia por protandria predominou nos clones avaliados; as flores são casmógamas de sistema reprodutivo misto com autofecundações frequentes; a apomixia ocorre em baixa frequência nos clones 111 e 37.

### 3.2. Introdução

A Palma forrageira (*Opuntia spp.* e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) adaptou-se bem a região semiárida brasileira, sua picagem ou trituração gera um volumoso suculento utilizado na alimentação animal, principalmente, durante o período seco (Silva e Santos 2006; Junior et al. 2014). No gênero *Opuntia*, várias espécies mostram-se susceptíveis ao ataque de insetos sugadores, cujos danos reduzem drasticamente a produção. Tratamentos químicos e o controle biológico são eficazes, no entanto o desenvolvimento de cultivares resistentes é a alternativa mais vantajosa (Santos et al. 2014; Santos et al. 1999).

Cerca de 90% das espécies pertencentes à família botânica das cactáceas carecem de informações florais e reprodutivas (Mandujano et al. 2010). Na palma forrageira não é diferente: a *O. ficus-indica* Mill, uma espécie intensamente avaliada, possui inconsistências sobre o acontecimento de alguns mecanismos reprodutivos; ao que parece, eles se apresentam de forma variável (Reyes-Agüero et al. 2006; Bianchi et al. 2000; Del Castillo 1999).

No gênero *Opuntia*, as opiniões divergem sobre os mecanismos reprodutivos de apomixia e de cleistogamia. Tisserat et al. (1979) verificaram a ocorrência de apomixia em várias espécies do gênero *Opuntia*. Já Wang et al. (1996), avaliando clones de palma forrageira, afirmaram, categoricamente que este mecanismo não incide sobre os clones por eles avaliados. Quanto à cleistogamia, Pimenta (1990) afirma que sua ocorrência é comum no gênero, inclusive na espécie *O. ficus-indica*.

No melhoramento genético de plantas, o reconhecimento do sistema reprodutivo é a chave para alcançar os objetivos do programa: a forma de reprodução predominante deve ser identificada e os mecanismos reprodutivos que podem ocorrer devem ser investigados (Borém e Miranda 2009; Vilela et al. 2012). O acontecimento inesperado de certos mecanismos pode retardar e prejudicar o andamento do programa de melhoramento genético.

Nesse contexto, objetivou-se: I) Adquirir informações sobre o florescimento e a fenologia floral de clones de palma forrageira do gênero *Opuntia*; II) Estimar a viabilidade do pólen e a receptividade do estigma em três momentos florais distintos, pré-antese, antese e pós-antese; e III) Verificar a apomixia e cleistogamia em acessos do gênero *Opuntia*.

### **3.3. Material e métodos**

Cinco acessos da espécie *O. ficus-indica* Mill foram avaliados na estação experimental de Arcoverde – PE, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (8°26'01" S; 37°03'21" O): V23(IPA/200153); 37(IPA/200177); 73(IPA/100437); 92(IPA/100456); e 111(IPA/100473). Eles foram sorteados entre 350 acessos dispostos no banco de germoplasma da instituição (BAG). Os acessos, com três anos de idade, diferem quanto à origem, V23 e 37 são acessos importados do México; 73, 92 e 111 foram obtidos no Brasil em populações de polinização aberta. Cada acesso foi representado por quatro plantas no BAG, com espaçamento de 2x1 metros, respectivamente entre linha e dentro de linha. As seguintes práticas foram realizadas: roço das plantas invasoras, adubação orgânica com 20 t.ha<sup>-1</sup> de esterco curtido e controle mecânico, por meio de escovação, da cochonilha do carmim - *Dactylopius opuntiae* (Cockerell).

#### **3.3.1. Fenologia floral**

Dez botões de cada acesso foram selecionados para mensurar os dias até a antese, o início dessa contabilização ocorreu quando os botões possuíam até dois centímetros de altura (eixo longitudinal), e para identificação visual do momento em que as anteras tornaram-se descentes; semanalmente, nesses mesmos botões, aferiu-se: diâmetro (eixo transversal) e altura, essa avaliação prosseguiu até a quarta semana, buscando verificar a etapa de crescimento rápido do fruto (Barbera et al. 1992); mensalmente, a partir de abril/2015 até dezembro/2015, foi contabilizado o número de novos botões florais por acesso. O número mensal de novos botões foi relacionado com as variáveis meteorológicas de precipitação (mm), temperatura (°C) e fotoperíodo (horas de luz diária).

#### **3.3.2. Viabilidade do pólen e receptividade do estigma**

Dezesseis flores por acesso foram previamente identificadas para análise da viabilidade do pólen e da receptividade do estigma. Elas foram avaliadas em três momentos distintos: aproximadamente um dia antes da antese; durante a antese; e quatro horas após a antese. No primeiro momento oito flores foram avaliadas. As

oito flores restantes foram avaliadas duas vezes: durante a antese e quatro horas após.

#### **i. Viabilidade do pólen**

Em cada momento de avaliação foram coletadas oito amostras por acesso, cada uma composta por 15 anteras. O método de coloração com anilina azul em lactofenol foi utilizado (Hauser e Morrison 1964); as anteras de cada momento floral foram prefixadas por 24 horas no corante, em seguida prosseguiu-se a contagem com auxílio de microscópio óptico – 40x(Negro-Ortiz 1998), cada amostra foi representada por suas anteras em uma lâmina de observação, ao todo foram oito amostras em cada momento supracitado para cada acesso avaliado. A viabilidade por momento floral foi inferida através da relação entre o número médio de grãos de pólen viáveis em um total de 100 grãos de pólen aleatórios.

#### **ii. Receptividade do estigma**

A receptividade do estigma foi avaliada por solução de peróxido de hidrogênio a 3% e constatação visual (Dafni 1992; Mandujano et al. 2013), a receptibilidade de cada momento floral foi inferida através da relação entre o número de estigmas viáveis pelo número de estigmas avaliados. A solução de peróxido de hidrogênio a 3% foi utilizada, juntamente com a constatação visual, no primeiro grupo de oito flores. Nas flores remanescentes a receptividade foi verificada visualmente. As observações foram realizadas com auxílio de lupa – 20x

### **3.3.3. Sistema reprodutivo**

Foram identificadas 20 flores por acesso: I) Dez flores foram manuseadas para sanar as dúvidas sobre a ocorrência da cleistogamia, essas foram ensacadas até o início da antese, nesse momento foram emasculadas e ensacadas novamente II) Dez flores foram utilizadas para investigar a ocorrência da apomixia, essas tiveram estigma e anteras removidos dois dias antes da antese (Weiss et al. 1993; Wang et al. 1996).

As flores que receberam os tratamentos foram acompanhadas até suas fases finais de fruto ou abortamento. Verificou-se o percentual de frutificação entre o número de frutos esperados - número total de flores submetidas ao tratamento floral

- e o número de frutos obtidos - frutos com, pelo menos, uma semente viável. Análise, gráficos e histogramas foram efetuados através da planilha Microsoft Office Excel® 2007.

### 3.4. Resultados e discussão

Os acessos mostraram-se muito estáveis quanto ao número médio de dias para antese (Tabela 2). Entrando em concordância com o período requerido para abertura do botão floral proposto por Reyes-agüero et al. (2006) de 20 a 40 dias. Quanto ao período preferencial da antese, os acessos: V23, 37, 73 e 111, iniciaram a abertura floral preferencialmente no período matutino, entre as 08:00 e 11:00 horas. Já o acesso 92 iniciou a abertura em horários vespertinos, entre as 12:00 e 14:00 horas. Há uma tendência para abertura floral durante os períodos diurnos (Rosa e Pimenta, 1986; Schlindwein e Wittmann, 1997) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Fenologia floral básica dos acessos da espécie *O. ficus-indica* Mill. Arcoverde - PE, 2016.

Acessos	DPA	PDA	Mês de avaliação
V23	23,7 ±2,0	Matutino	jul/15
37	23,2 ±2,0	Matutino	set/15
73	23,1 ±1,8	Matutino	set/15
92	23,3 ±1,9	Vespertino	set/15
111	23,9 ±1,5	Matutino	set/15

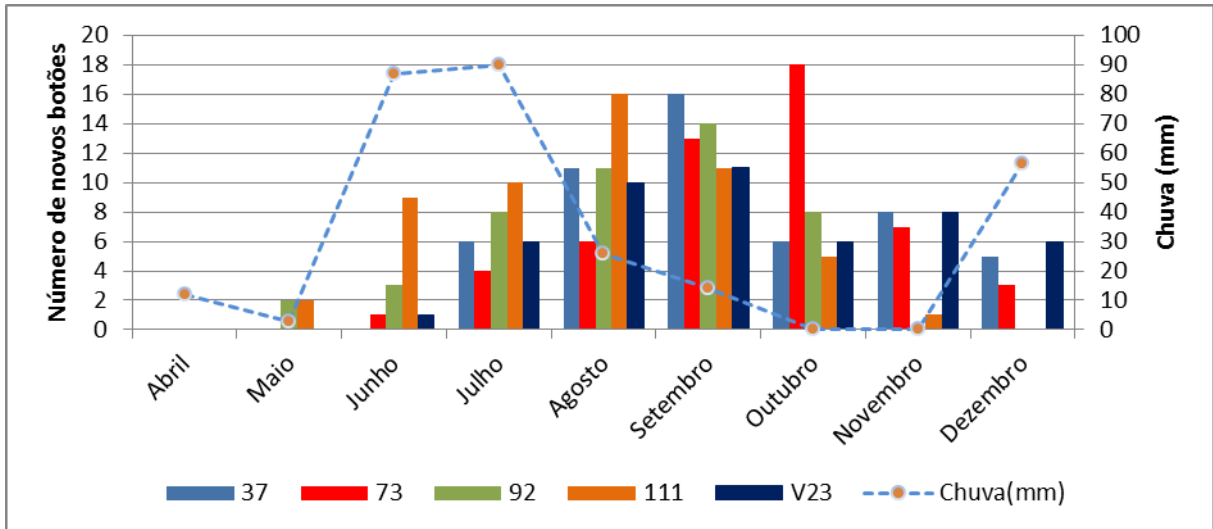
DPA: dias para a antese, acompanhado do desvio padrão; PDA: período preferencial da antese; Mês de avaliação: início da observação floral.

Existe uma sintonia entre o horário de abertura floral e a atividade de agentes polinizadores, em especial das abelhas. Reyes-agüero et al. (2006), relatam que cerca de 90 espécies da ordem Hymenoptera, onde as abelhas estão inseridas, já foram registradas visitando e realizando polinização nas opuntias.

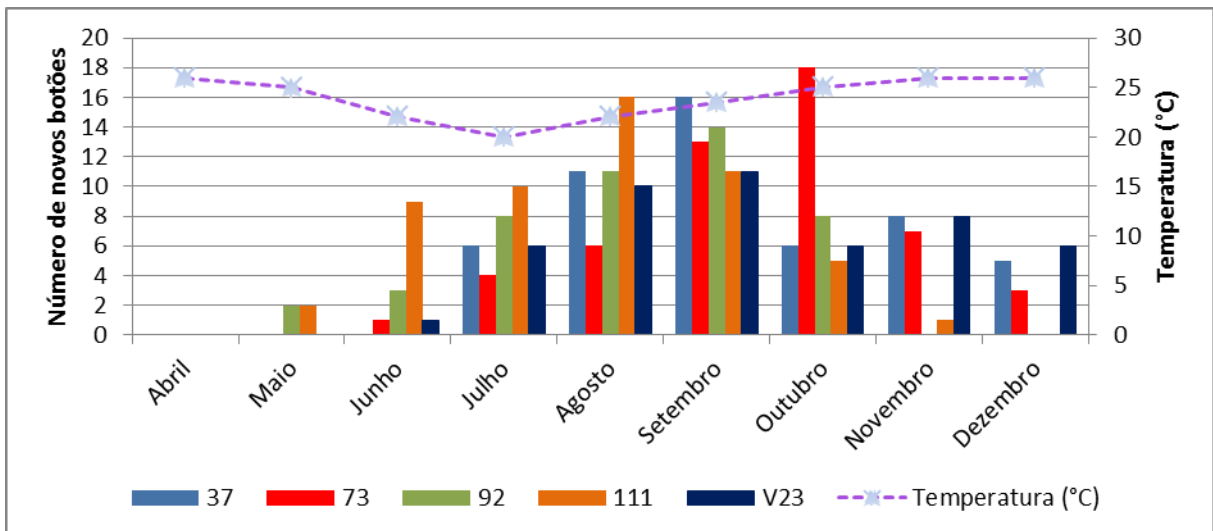
A quantidade de novos botões florais foi maior entre os meses de agosto/2015 e outubro/2015. Concatenando os dados florais com as variáveis meteorológicas de precipitação (mm) e temperatura (°C) observou-se que: logo após um período de alta precipitação mensal, 90 mm (Figura 1), acompanhado de baixa temperatura média mensal, 19°C (Figura 2), o número de novos botões aumentou. Assim, essas condições podem estimular o florescimento. Nerd e Mizrahi (1995)



determinaram que temperaturas acima de 16°C, no hemisfério norte, são responsáveis pelo surgimento dos primeiros botões florais; assim como Bowers (1996), estudando o comportamento da *O. engelmannii* durante quatro anos, verificou que a floração está ligada à ocorrência de chuvas, comparando anos de baixa precipitação e anos normais. Segantine et al. 2009, estudando a fenologia do fruto da palma, constataram que o aumento de temperatura pode estimular a maturação de gemas florais. Caso semelhante ocorreu entre julho/2015 e agosto/2015.



**Figura 1.** Número médio de novos botões florais por acesso relacionados à precipitação mensal acumulada (mm) (IPA 2016).



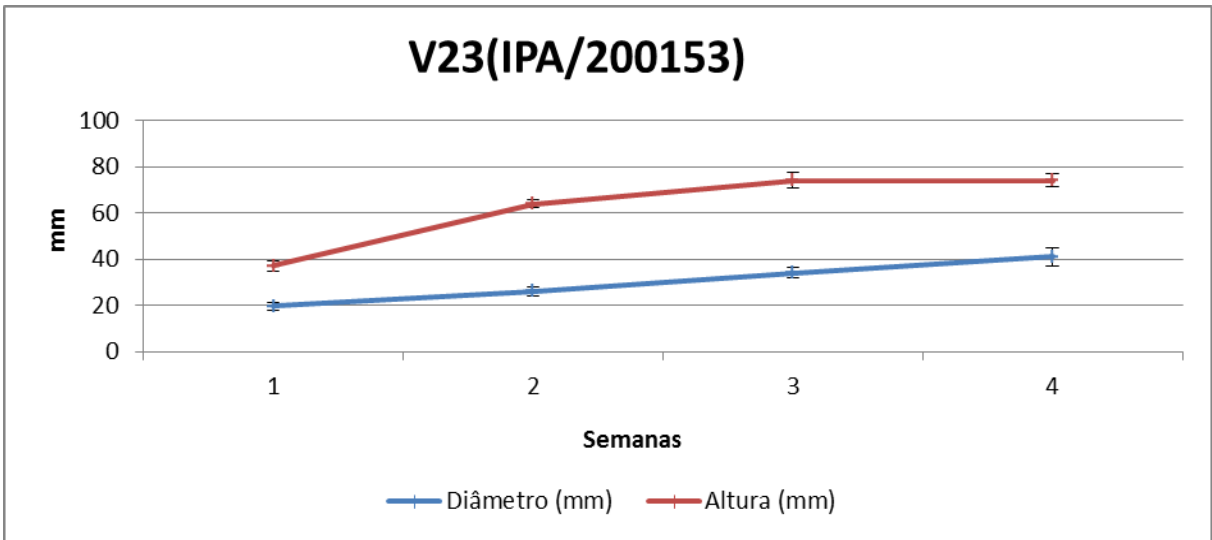
**Figura 2.** Número médio de novos botões florais relacionados à temperatura média mensal (°C) (INMET 2016).

Para a posição geográfica do experimento, o fotoperíodo oscilou entre, 11 h e 37 min, no dia mais curto, e 12 h e 37 min, no dia mais longo. No ano de 2015,

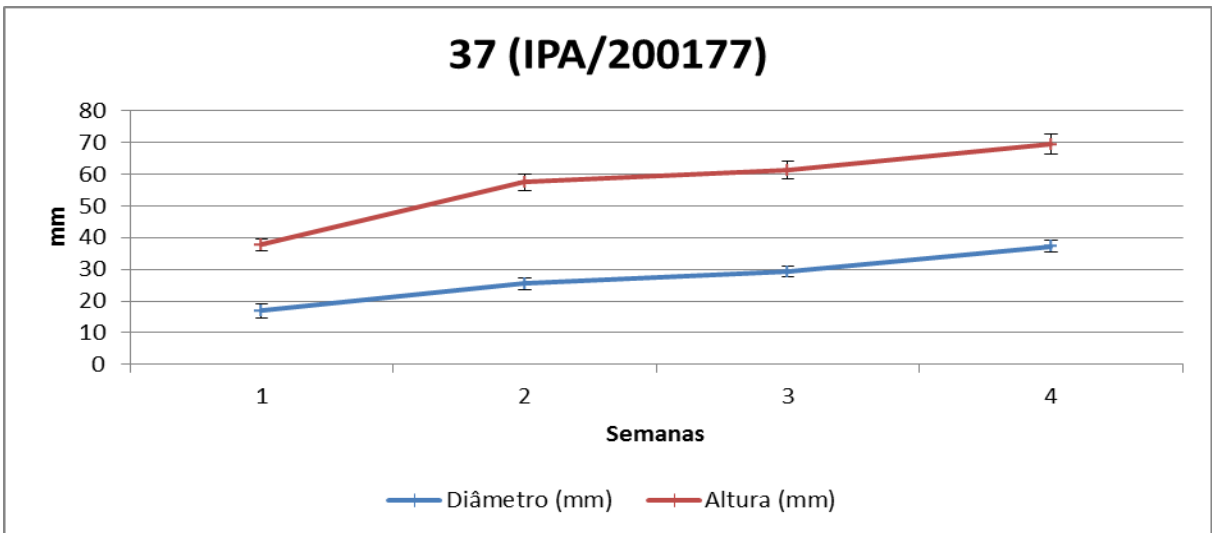
esses dias foram calculados, respectivamente, em 22/junho e 21/dezembro (Cornwall et al. 2010). A partir do final de Junho, observa-se o aumento mensal e gradativo de novos botões florais, corroborando com a possibilidade do aumento, também gradativo, do fotoperíodo está relacionada ao início do processo de florescimento (Figura 1). Em outras cactáceas, dias curtos atrelados a baixas temperaturas são iniciadores do surgimento dos primeiros botões florais (Rohwer e Heins 2007; Jiang et al. 2012; Aguilar e Chávez 1995).

Alguns fatores ambientais tendem a estar relacionados ao processo de florescimento em condições normais, no entanto a simulação das condições nativas pode desencadear o processo de florescimento. Em San Luis Potosi – México, centro de origem da palma – o surgimento dos primeiros botões florais das espécies *O. robusta*, *O. streptacantha* e *O. leucotricha* sucedem condições de dia curto, 10 h – 11 h, e temperaturas baixas, cerca de 8°C (Cornwall et al. 2010; Reyes-agüero et al. 2006; INEGI 2016). Em outras espécies essa simulação é realizada, a exemplo da cebola (Aguilar 1984), do crisântemo (David e Rossi 2010) e da cana de açúcar (Araldii et al. 2010). A manipulação desses fatores auxilia o programa de melhoramento da cultura, pois propicia que espécies de longos períodos vegetativos possam ser estimuladas a florescer, quando houver necessidade.

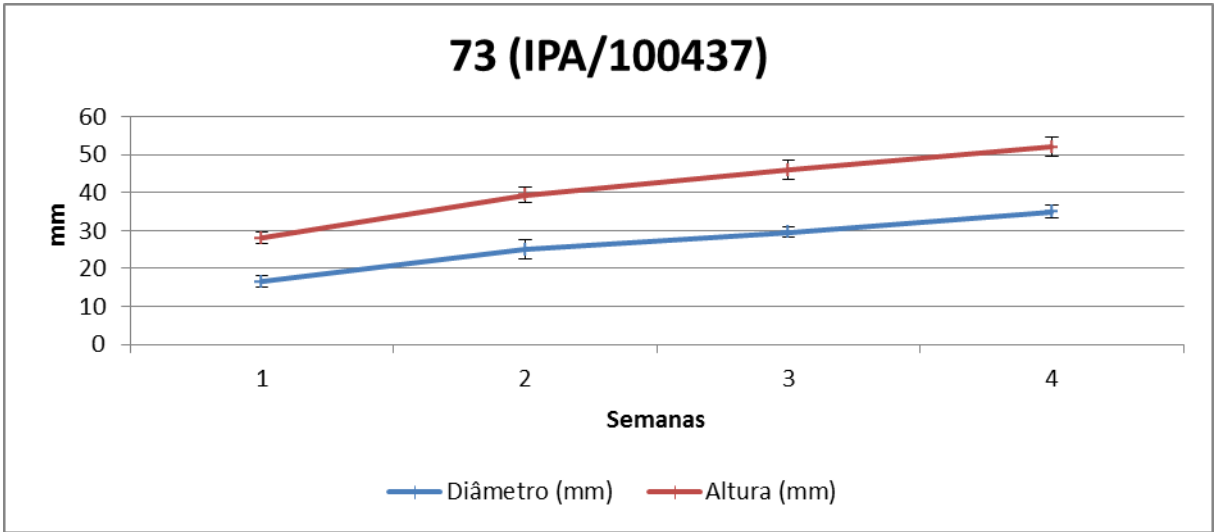
O acompanhamento semanal dos frutos indicou crescimento linear até a quarta semana, essa tendência foi observada em frutos de polinização aberta. Para o acesso V23 esse comportamento pode ser observado na Figura 3; para o acesso 37 na Figura 4; acesso 73 na Figura 5; 92 e 111, respectivamente nas Figuras 6 e 7.



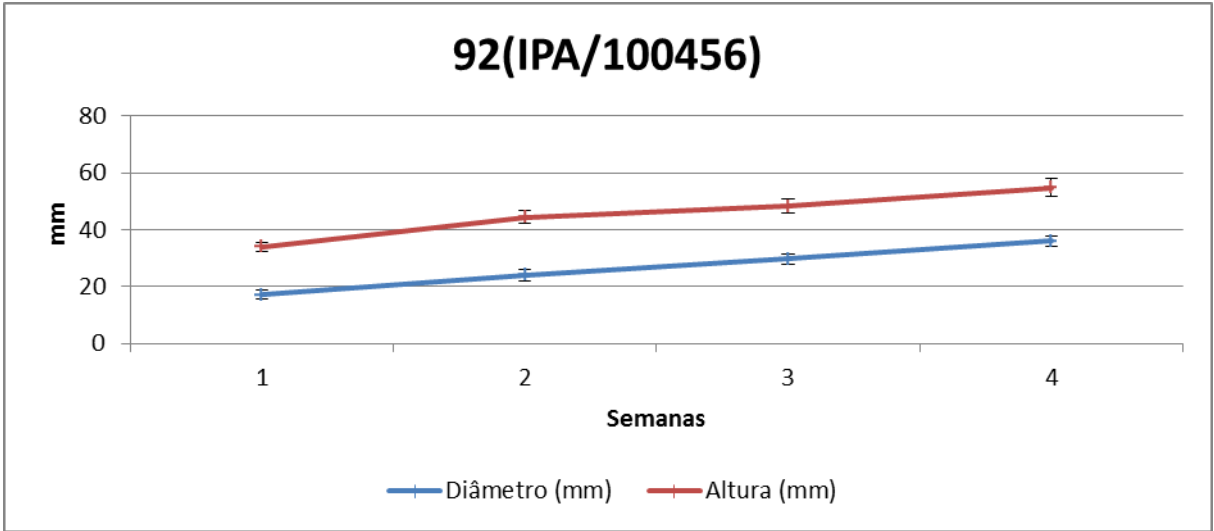
**Figura 3.** Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso V23 (IPA/200153).



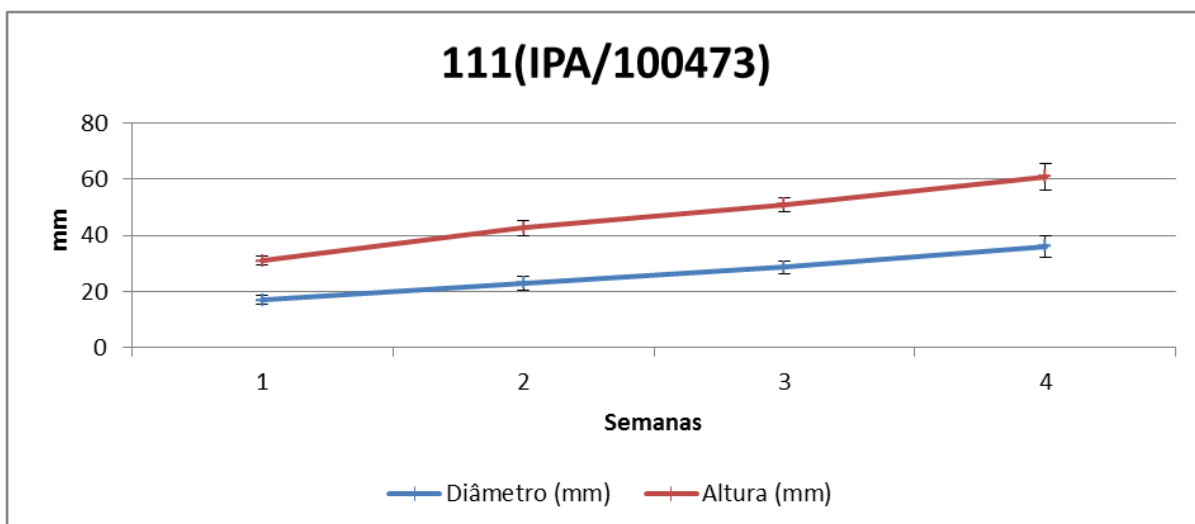
**Figura 4.** Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 37 (IPA/200177).



**Figura 5.** Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 73 (IPA/100437).



**Figura 6.** Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 92 (IPA/100456).



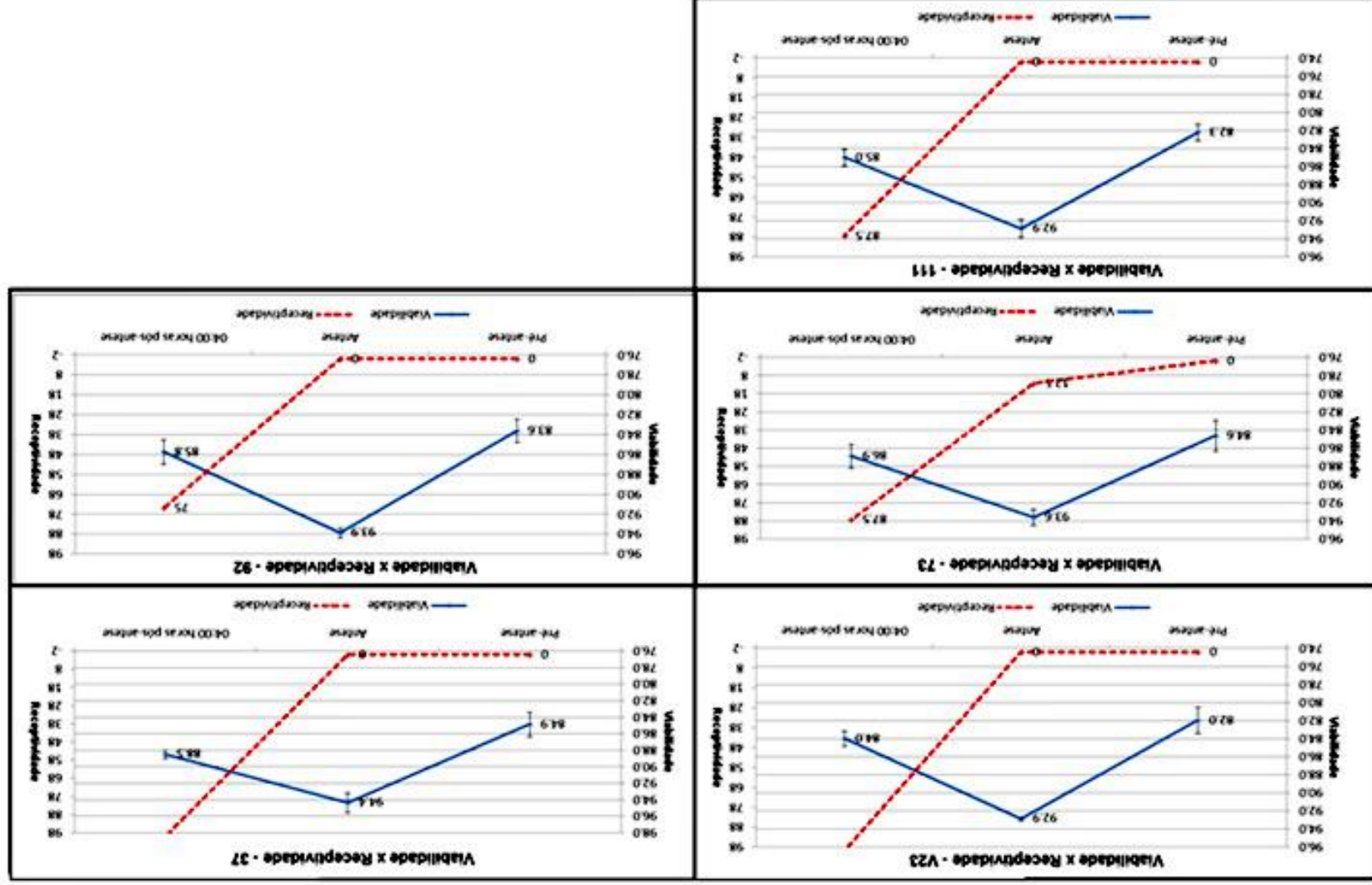
**Figura 7.** Curva característica do desenvolvimento médio dos frutos do acesso 111 (IPA/100473).

Como identificado por Barbera et al. (1994), nas primeiras quatro semanas os frutos tiveram um crescimento rápido e linear. A presença de sementes nos frutos avaliados confirmou a fertilização, seja ela por autogamia ou alogamia. Logo, frutos com sementes viáveis tendem a crescer linearmente, em diâmetro e altura, nas quatro semanas após hibridação natural; diferente dos frutos abortados, que não formaram sementes viáveis em seu interior.

Independente do momento de avaliação, a viabilidade do pólen nos acessos avaliados permaneceu acima de 80 %, indicando alta viabilidade polínica, no entanto durante a fase de pré-antese as anteras não estavam deiscentes. Só tornaram-se deiscentes momentos antes da antese plena, nesse período, os valores de viabilidade elevaram-se, para todos os acessos (Figura 8). Em *O. spinosissima* e *O. ficus-indica* Mill, valores de viabilidade polínica entre 70-92% foram registrados no momento da antese (Negrón-Ortiz 1998; Wang et al. 1996).

A receptividade do estigma foi nula para todos os acessos enquanto botão floral; mantendo-se nula durante a antese, exceto para o acesso 73, que apresentou 12,5% das flores com estigma receptível; quatro horas depois da antese foram registrados os maiores percentuais de flores com estigma receptível. Os acessos V23 e 37 apresentaram todas as flores avaliadas receptíveis, já os acessos 73 e 111 apresentaram 87% de flores com estigma receptível. O acesso 92 apresentou 75% de suas flores receptíveis (Figura 8).

Figura 8. Viabilidade polínica (%) e receptividade do estigma (%) para cada acesso durante os três momentos de avaliação: pré-antes; antes e 04h 00min horas pós-antes.



O cruzamento de informações sobre a viabilidade polínica e a receptividade do estigma, ao longo do tempo, facilita a identificação da realização de alguns mecanismos reprodutivos, como: dicogamia e cleistogamia (Martínez-Peralta et al. 2014; Mandujano et al. 1996).

No início da antese, os grãos de pólen estavam viáveis e as anteras deiscentes, o contato entre as anteras e a base do estigma favoreceu a deposição de grãos de pólen (Figura 9). No entanto, os estigmas só mostraram-se receptíveis quatro horas após a antese, caracterizando dicogamia por protrandia, comum em cactáceas (Mandujano et al. 2010). Em *O. ficus-indica*, *O. macrocentra*, *O. polyacantha* e *O. fragilis* (Nuttall), os maiores valores de receptividade do estigma ocorrem momentos depois da antese (Tibe et al. 2008. Mandujano et al. 2013; Ribbens e Anderson, 2011; Sánchez et al. 2013).



**Figure 9.** **A:** flor no início da antese; **B:** retirada dos verticilos florais; **C:** pólen depositado na base do estigma.

Os tratamentos florais resultaram em 39 frutos, com ao menos uma semente viável em seu interior. Desses, 92% foram oriundos de flores utilizadas para verificar a cleistogamia e 8% oriundo de flores para investigar a apomixia. Das 50 flores utilizadas como tratamento para verificar a cleistogamia, 72% delas tornaram-se frutos com sementes viáveis. Já das 50 flores utilizadas para verificação da apomixia, 6% delas tornaram-se frutos com sementes (Tabela 3).

Ao comparar o número de frutos obtidos com o número de cruzamentos realizados, observou-se o elevado pegamento de frutos, 60 – 80%, conseguido nas flores que foram emasculadas no início da antese para verificar a realização da cleistogamia; Já as flores utilizadas para investigar a apomixia, que foram emasculadas e tiveram seus pistilos retirados ainda na fase de botão floral, o

pegamento foi baixo, resumindo-se a três frutos dos acessos 111 e 37, respectivamente, dois frutos e um fruto. Logo, nos clones avaliados ocorreu formação de frutos nas flores emasculadas no início da antese e, em baixa frequência, ocorreu formação de frutos pelas flores utilizadas para investigar a apomixia. Resultados semelhantes foram encontrados por Rosas e Pimenta (1986), que verificaram a cleistogamia em *O. ficus-indica*, observando a deposição de pólen na base do estigma momentos antes da antese plena, resultando na formação de frutos com sementes. Contudo, Wang et al. (1996) afirmaram que a apomixia não ocorria nos clones de *O. ficus-indica* Mill por ele avaliados.

**Tabela 3.** Resultado dos tratamentos florais utilizados para verificar a cleistogamia e a apomixia. Arcoverde-PE, 2016.

Tratamentos	Acessos	Cruzamentos realizados	Frutos obtidos	Percentual de formação de frutos (%)
I	V23	10	8	80
	37	10	7	70
	73	10	6	60
	92	10	7	70
	111	10	8	80
II	V23	10	0	0
	37	10	1	10
	73	10	0	0
	92	10	0	0
	111	10	2	20

I: flores ensacadas até o início da antese, nesse momento foram emasculadas e ensacadas novamente; II: as flores tiveram estigma e anteras removidos dois dias antes da antese; frutos obtidos: número de frutos que continham, ao menos, uma semente viável em seu interior; percentual de formação de frutos (%) – (frutos obtidos / cruzamentos realizados)\*100.

Aparentemente, os clones de palma forrageira apresentam dicogamia por protandria, visto que existe assincronia entre a liberação de grãos de pólen viáveis e a receptividade do estigma. A deposição do pólen ocorreu momentos antes da antese plena, considerando que o estigma torna-se receptível quatro horas após antese, a germinação dos grãos de pólen deve ocorrer concomitantemente à maturação do estigma. Semelhante ao relatado em espécies silvestres (Del Castillo 1999). Flores cleistogâmicas são aquelas que ainda fechadas fertilizam-se. Nesta perspectiva a cleistogamia não ocorre, pois a receptividade do estigma condiciona o momento da fertilização a horas após antese floral. Logo, os clones avaliados possuem flores



casmógamas, nestas flores, a fertilização ocorre após antese (Uphof 1938; Mandujano et al. 2013).

A formação de frutos pelas flores emasculadas no início da antese ocorre devido a um mecanismo de segurança intrínseco a espécie, que favorece a autofecundação após abertura floral e evita a não formação de frutos, no entanto, depois da antese o estigma também se torna receptível a pólen exógeno, fato que caracteriza o sistema reprodutivo dessa espécie como misto (Reyes-Agüero et al. 2006).

### **3.5. Considerações finais**

O florescimento parece estar relacionado à precipitação mensal acima de 90 mm, temperatura mensal de 20°C e aumento gradativo do fotoperíodo. Os frutos, como sementes viáveis, tenderam a continuar crescendo nas primeiras quatro semanas.

A assincronia entre a maturação do estigma e a deiscência das anteras configurou a dicogamia por protandria para os clones avaliados.

Em hibridações artificiais deve-se evitar polinização no momento da antese, só realizando-as quatro horas após, contudo a emasculação deve ser realizada ainda na fase de botão (aproximadamente, um dia antes da antese).

As flores são casmogamas, com sistema reprodutivo misto, realizando autofecundações naturalmente após abertura floral. Assim, a cleistogamia foi descartada.

Ocorreu apomixia apenas em dois acessos (37 e 11) com frequência baixa (10-20%).

### 3.6. Referencial bibliográfico

Aguiar PAA (1984) Período de vernalização dos bulbos de cebola para produção de sementes, no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** 19: 197-200.

Aguiar BG e Chávez FS (1995) Frutos partenocárpicos de nopal (*Opuntia amyclae*) mediante la inducción de esterilidad masculina. Em: Pimienta BE, Neri LC, Munõz UA, Huerta MFM (Eds.), **Memória do VI Congresso Nacional e IV Internacional sobre o Conhecimento e Aproveitamento do Nopal**. Universidade de Guadalajara, Guadalajara, 136–138p.

Araldii R, Orika FMLSE e Rodriguesii OJD (2010) Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 40: 694-702.

Barbera G, Carimi F e Inglese P (1992) Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. **Economic Botany** 46: 10-20.

Barbera G, Inglese P e La Mantia T (1994) Seed content and fruit characteristics in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Miller). **Scientia Horticulturae** 58: 161–165.

Bianchi MB, Gibbs PE, Prado DE e Vesprini JL (2000) Studies on the breeding systems of understory species of a Chaco woodland in NE Argentina. **Flora (Jena)** 195: 339-348.

Borém A e Miranda GV (2009) Melhoramento de Plantas. rev. ampl. **Viçosa: Editora UFV**, 529 p.

Bowers JE (1996) More flowers or new cladodes? Environmental correlates and biological consequences of sexual reproduction in a Sonoran Desert prickly pear cactus, *Opuntia engelmannii*. **Bulletin of the Torrey Botanical Club** 123: 34-40.

Cornwall C, Horiuchi A e Lehman C (2010) Sunrise/Sunset Calculator. Disponível em: <http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/sunrise.html>. Acessado em: 19/05/2016.

Dafni A (1992) Pollination ecology: a practical approach. **Oxford: IRL Press Ltd**, 250 p.

David E e Rossi LA (2010) Diferentes tecnologias de iluminação para produção de mudas de crisântemo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14**: 261-266.

Del Castillo RF (1999) Exploración preliminar sobre los sistemas de cruzamiento en Opuntia. In: Aguirre RJR, Reyes-agüero JA (Ed.). **Memoria del viii congreso nacional y III internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal**, p. 360-389.

Hauser EJP e Morrison JH (1964) The cytochemical reduction of nitro blue tetrazolium as an index of pollen viability. **American Journal of Botany 51**: 748-752.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO - IPA. **Índices pluviométricos**. Disponível em: [http://www.ipa.br/indice\\_pluv](http://www.ipa.br/indice_pluv). Acesso em: 5 de janeiro, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA – INEGI. **Monografias: informação por região**. Disponível em: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias>. Acessado em: 20/05/2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Gráficos meteorológicos**. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sim/gera\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php). Acesso em: 7 de janeiro, 2015.

Jiang YL, Liao YY, Lin TS, Lee CL, Yen CR e Yang WJ (2012) The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaya (*Hylocereus* sp.). **HortScience 47(8)**: 1063-1067.

Júnior JGBG, Silva JBA, Morais JHG e Lima RN (2014) Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica 8**: 78-85.

Mandujano MC, Carrillo-Angeles I, Martínez-Peralta C e Golubov J (2010) Reproductive biology of Cactaceae. In: **Desert plants**. Springer Berlin Heidelberg, 197-230 p.

Mandujano MC, Golubov J e Huenneke L (2013) Reproductive Ecology of *Opuntia macrocentra* (Cactaceae) in the Northern Chihuahuan Desert. **The American Midland Naturalist** **169**: 274-285.

Mandujano MC, Montana CE e Eguiarte LE (1996) Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so rare?. **American Journal of Botany** **83**: 63-70.

Martínez-Peralta C, Molina-Freaner F, Golubov J, Vázquez-Lobo A e Mandujano MC (2014) A comparative study of the reproductive traits and floral morphology of a genus of geophytic cacti. **International Journal of Plant Sciences** **175**: 663-680.

Negrón-Ortiz V (1998) Reproductive biology of a rare cactus, *Opuntia spinosissima* (Cactaceae), in the Florida Keys: why is seed set very low?. **Sexual Plant Reproduction** **11**: 208-212.

Nerd, A e Mizrahi, Y (1995) Reproductive biology. Em: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., Arias, J.E. de J. (Eds.), **Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear**. FAO, Rome, 49–58 p.

Pimienta BE (1990) El nopal tunero. **Universidad de Guadalajara, México**, 246 p.

Reyes-Agüero JÁ, Aguirre RJR e Valiente-Banuet A (2006) Reproductive biology of *Opuntia*: A review. **Journal of arid environments** **64**: 549-585.

Ribbens E, Anderson BA, Fant J (2011) *Opuntia fragilis* (Nuttall) Haworth in Illinois: pad dynamics and sexual reproduction. **Haseltonia** **16**: 67-78.

Rohwer CL e Heins RD (2007) Daily light integral, prevernalization photoperiod, and vernalization temperature and duration control flowering of Easter cactus. **HortScience** **42(7)**: 1596-1604.

Rosas CMP e Pimienta BE (1986) Polinización y fase progámica en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) tunero. **Fitotecnica** **8**: 164-176.

Sánchez JH, Almeida OJ, Falconer DJ, Choi HJ & Bevan L (2013) Intriguing thigmonastic (sensitive) stamens in the Plains Prickly Pear *Opuntia polyacantha*

(Cactaceae). **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 208**: 381-389.

Santos DC, Andrade Lira M, Farias I e Santos MVF (1999) Programa de melhoramento e coleção de palma forrageira. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. (on line). Versão 1.0. Petrolina-PE: Embrapa Semi-Árido/Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/palmaforrageira.pdf>. Acessado em: 6 de Fevereiro de 2016.

Santos DC, Silva MC, Júnior JD, Lira MA e Silva RM (2014) Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. **Revista Científica de Produção Animal 15**: 111-121.

Schindwein C e Wittmann D (1997) Stamen movement in flowers of *Opuntia* favour oligolectic pollination. **Plant Systematics and Evolution 204**: 179–193.

Segantini DM, Torres LM, Boliani AC e Leonel S(2010) Fenologia da figueira-da-índia em Selvíria-MS. **Revista Brasileira de Fruticultura 32(2)**: 630-636.

Silva CCF e Santos LC (2006) Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria 7**: 1-13.

Tibe O, Modise DM, Mogotsi KK (2008) Potential for domestication and commercialization of Hoodia and *Opuntia* species in Botswana. **African Journal of Biotechnology 7**: 1199-1203.

Tisserat B, Esan EB e Murashige T (1979) Somatic embryogenesis in angiosperms. **Horticultural Reviews 1**: 1-78.

Uphof, J.C (1938) Cleistogamic flowers. **The Botanical Review 4**: 21-49.

Vilela RCF, Assis JGDA, Nóbrega Filho L e Viana BF (2012) Reproductive system and genetic diversity of four species of *Myrciaria* (Myrtaceae, jabuticabeiras). **Acta Botanica Brasilica 26**: 727-734.

Wang X, Felker P, Paterson A, Mizrahi Y, Nerd A e Mondragon-Jacobo C (1996) Cross-hybridization and seed germination in *Opuntia* species. **Journal of the Professional Association for Cactus Development** 1: 49-60.

Weiss J, Nerd A e Mizrahi Y (1993) Vegetative parthenocarpy in the cactus pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. **Annals of Botany** 72: 521-526.

## 4. CAPÍTULO III – O ABORTAMENTO DE FRUTOS NAS ESPÉCIES *Opuntia atropes* Rose E *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck.

### 4.1. Resumo

O objetivo foi identificar os principais fatores envolvidos no abortamento de frutos das espécies de palma forrageira – *Opuntia atropes* Rose. e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck. 48 plantas foram avaliadas em Arcoverde – PE, 24 de cada espécie. Nelas, três tipos de polinização foram realizados: polinização manual, com mistura de pólen; polinização aberta natural; e autopolinização. Em metade das plantas avaliadas, cinco litros foram aplicados, semanalmente, como suplementação hídrica. Avaliou-se em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial - entre os tipos de polinizações e a suplementação hídrica - de seis repetições: peso de fruto; número de frutos abortados; diâmetro do fruto (eixo transversal); e altura do fruto (eixo horizontal). Não existiu diferença significativa pelo teste F entre a interação dos tipos de polinização e a suplementação hídrica. Ocorreu diferença significativa ( $p < 0,01$ ) dentre os tipos de polinização: as flores polinizadas manualmente apresentaram frutos mais pesados, com menor número de abortamento, e maiores; as flores sob polinização livre foram, no geral, medianas e as autofecundadas apresentaram os piores índices, sobre tudo, não formaram frutos com sementes viáveis. A suplementação hídrica apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ), mostrando que: o incremento d'água os frutos apresentaram-se mais pesados e maiores, no entanto não houve redução significativa do número de frutos abortados. Os clones de *O. atropes* Rose apresentaram frutos com número significativamente maior de sementes, quando submetidos à suplementação hídrica. Pelo total abortamento de frutos oriundos de flores autofecundadas, com ou sem suplementação hídrica, pode-se concluir que estas espécies, aparentemente, possuem algum mecanismo de auto-incompatibilidade; elas são exclusivamente alógamas; e os frutos da *O. atropes* Rose, obtidos com suplementação hídrica, possuíram número de sementes significativamente maior.

## 4.2. Introdução

Nas cactáceas, os principais fatores relacionados ao abortamento de frutos, são: estresses bióticos e abióticos, baixa viabilidade polínica, ausência de polinizadores e autoincompatibilidade. A polinização é o princípio básico para formação de frutos, exceto na apomixia e partenocarpia, no entanto isso não impede que flores polinizadas abortem (Holland e Deangelis 2002; Inglese et al. 2002; Marques et al. 2012; Nerd et al. 1991; Stephenson 1981). Piña et al. (2007), avaliando o abortamento de frutos na *Opuntia microdasys*, identificaram que essa espécie, provavelmente, é auto-incompatível, pois apresentou grande taxa de abortamento nas autofecundações, tanto em situações favoráveis a produção de frutos como em situações desfavoráveis. Sobre esse assunto, Boyle (1997) comenta que aproximadamente 30% dos gêneros da família botânica cactácea apresentam espécies auto-incompatíveis

A utilização de tipos variados de polinização, como, autofecundações e hibridações, possibilitam o reconhecimento do sistema reprodutivo da espécie, de sua funcionalidade e regras (Alvarenga et al. 2015; Pessoa et al. 2013). O abortamento de frutos por flores autofecundadas foi um evento chave na determinação da autoincompatibilidade em *O. microdasys* (Mandujano et al. 2010).

Como diversos eventos podem estar relacionados ao pegamento dos frutos, o objetivo desta pesquisa foi identificar as causas do elevado abortamento de frutos da palma forrageira – *O. atropes* Rose e *N. cochenillifera* Salm-Dyck.

## 4.3. Material e métodos

Duas espécies, *O. atropes* Rose (IPA-200008/F8) e *N. cochenillifera* Salm-Dyck (IPA-10004/Miúda), respectivamente, clone F8 e cultivar Miúda (Figura 10), foram avaliadas na estação experimental de Arcoverde – PE, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA (8°26'01" S; 37°03'21" W). Vinte e quatro plantas de cada espécie foram utilizadas. O plantio ocorreu em 2014 ocupando uma área de 60m<sup>2</sup> com espaçamento de dois metros entre linha por um metro entre planta. No ano de 2015 registraram-se 405 milímetros de chuva acumulada, 60% abaixo da média histórica, a avaliação ocorreu nos meses de setembro de 2015 a



novembro de 2015, com o início do florescimento pleno, nesse período menos de 30 mm de chuva foram registrados (IPA 2016).

Cruzamentos e autofecundações foram realizados em 192 flores, além de 96 flores mantidas e observadas sob polinização aberta natural. Essas flores foram dispostas em 48 plantas, 24 de cada espécie: 12 receberam suplementação de cinco litros d'água semanalmente, e as remanescentes, não receberam (Lima et al. 2015). Para contenção da lâmina aplicada, uma depressão circular ao redor da planta foi confeccionada com aproximadamente 0,70 m de diâmetro (Figura 11). A adubação foi realizada em todas as plantas com três quilogramas de esterco bovino curtido, em junho de 2015. Para cada espécie, o delineamento adotado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial com seis repetições, as parcelas foram constituídas por duas plantas. Os fatores admitidos foram os tipos de polinização – polinização manual, polinização aberta e autopolinização - e suplementação hídrica ou não.

#### **4.3.1. Sistema reprodutivo e relação pólen/óvulo**

Dez flores de cada espécie foram utilizadas para investigação do sistema reprodutivo (*OCl* - *outcrossing index*), índice proposto por Cruden (1977). A relação Pólen/Óvulo (P/O) foi obtida nessas mesmas flores: o número de grãos de pólen foi determinado por uma média obtida da contagem de três anteras em cada uma das flores; o número médio de anteras foi determinado através das dez flores; esse mesmo raciocínio foi utilizado para determinação do número médio de óvulos. Para a contagem relacionada aos grãos de pólen, utilizou-se microscópio óptico com aumento de 40x; para a contagem relacionada a número de anteras e óvulos, utilizou-se lupa – 20x.



**Figura 10. Esquerda:** detalhe floral da espécie *O. atropes* Rose, em plena antese. **Direita:** detalhe floral da espécie *N. cochenillifera* Salm-Dyck no canto inferior da imagem, em plena antese.



**Figura 11.** Detalhe à esquerda para planta logo após receber a suplementação semanal d'água. À direita planta mantida sem suplementação.

#### 4.3.2. Viabilidade do pólen e receptividade do estigma

Dezesseis flores foram utilizadas, por espécie. Um conjunto de quatro flores foi avaliado aproximadamente um dia antes da antese; durante a antese; 08:00 horas pós-antese; e 24:00 horas pós-antese. A viabilidade do pólen foi atestada pelo método de coloração com azul de anilina em lactofenol, observou-se, além da viabilidade polínica, o momento inicial da deiscência das anteras; a receptividade do estigma pelo método de peróxido de hidrogênio a 3% e por constatação visual (Dafni 1992; Mandujano et al. 2013; Hauser e Morrison, 1964). A viabilidade média por horário foi determinada pelo número de grãos de pólen viável (azul escuro) (Figura

12) em um grupo de 100 grãos de pólen; a média das quatro observações originou a viabilidade por horário (Negrón-Ortiz 1998).

A receptividade média por horário foi obtida através da relação de estigmas receptíveis pelo número total de estigmas (Mandujano et al. 2013).



**Figura 12.** Grãos de pólen, pré-fixados por 24 horas em corante azul de anilina em lactofenol, observados em microscópio óptico. Azul escuro representa pólen viável; azul translúcido representa grãos inviáveis ou malformados.

#### 4.3.3. Tratamentos florais

Duas flores por tipo de polinização foram identificadas em cada planta, totalizando seis flores por planta avaliada. A média por parcela foi obtida entre quatro flores. Foram utilizadas 288 flores, 144 de cada espécie.

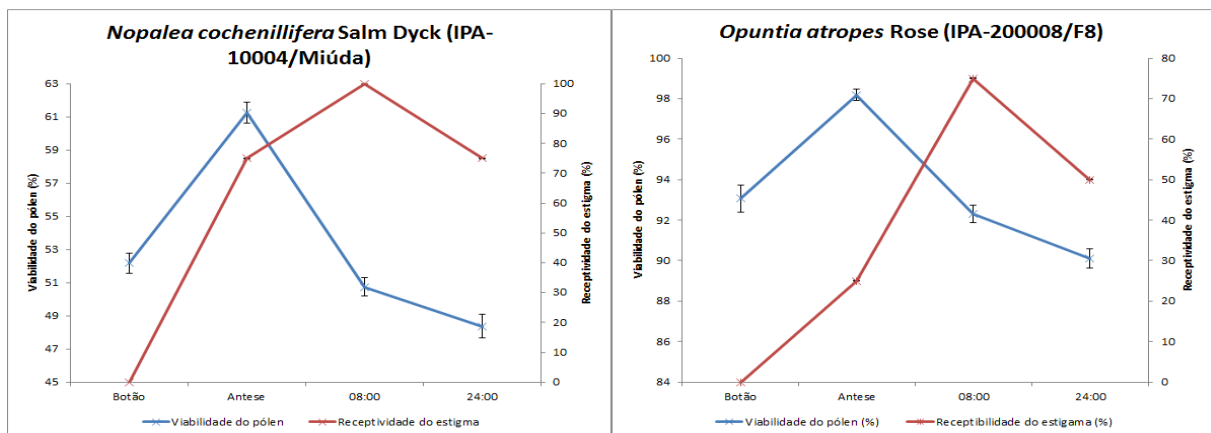
Para a *N. cochenillifera* Salm-Dyck foram aplicados os seguintes tipos de polinização: **I (48 flores)**: autopolinização; **II (48 flores)**: polinização aberta (P.A); e **III (48 flores)**: polinização manual, com mistura obtida da coleta proporcional de pólen dos acessos: IPA-10004/Miúda (*N. cochenillifera* Salm-Dyck); IPA-200205/Sertânia (*N. cochenillifera* Salm Dyck); e IPA-200021/F<sub>21</sub> (*N. cochenillifera*). Para *O. atropes* Rose, os tratamentos foram os mesmos, no entanto a polinização manual ocorreu com a mistura proporcional de pólen entre os acessos: IPA-200008/F<sub>8</sub> (*O. atropes* Rose), IPA-200024/F<sub>24</sub> (*O. atropes* Rose) e IPA-200016 (*O. stricta* Haw) (Piña et al. 2007). A emasculação floral ocorreu conforme metodologia descrita para o gênero *Opuntia*, na ocasião adaptada para o gênero *Nopalea* (Bunch 1997; Mondragón 1999). Os tipos de polinização só foram realizados 40 dias após o início da suplementação hídrica (Mulas e D'hallewin, 1996).

#### 4.3.4. Análises estatísticas

Obtiveram-se como variáveis: peso de frutos (PF); número de frutos abortados (NFA); largura final do fruto (eixo transversal - mm); e altura final do fruto (eixo horizontal - mm). Estas variáveis foram testadas pelo teste F e, quando significativo, tiveram suas médias comparadas pelo teste de Turkey a 5%. O software utilizado foi o Sisvar 5.3<sup>®</sup> (Ferreira 2011). Para realização do teste não paramétrico de Man-Whitney (teste U) foi utilizado o software BioEstat 5.3<sup>®</sup>. Gráficos e Histogramas foram confeccionados através da planilha Microsoft Office Excel<sup>®</sup> 2007.

#### 4.4. Resultados e discussão

A espécie *N. cochenillifera* Salm-Dyck apresentou viabilidade polínica mediana para os momentos florais observados. Ainda na fase de botão, sua viabilidade média foi de 52,2% ( $\sigma = \pm 2,4$ ), porém sem deiscência das anteras; já durante a antese, com a deiscência das anteras, 61,2% ( $\sigma = \pm 2,5$ ) dos grãos de pólen observados mostraram-se viáveis; viabilidades polínicas de 50,7% ( $\sigma = \pm 2,2$ ) e 48,4% ( $\sigma = \pm 2,9$ ) foram obtidas 08:00 e 24:00 horas após a antese, respectivamente. Enquanto botão, a receptividade do estigma foi nula, no entanto no momento da antese plena registrou-se 75% de receptividade; 08:00 e 24:00 horas após a antese a receptividade do estigma foi, respectivamente, 100% e 75% (Figura 13). No momento da antese a viabilidade polínica e a receptividade do estigma



**Figura 13.** Viabilidade polínica (%) e receptividade do estigma (%) nas espécies *N. cochenillifera* Salm Dyck; e *O. atropes* Rose, respectivamente.

foram altas, tal situação possibilita o acontecimento de autofecundações. A proximidade entre as anteras e o estigma amplia esta chance (Figura 10).

A espécie *O. atropes* Rose destacou-se por viabilidade polínica elevada ao longo dos momentos de avaliação. No botão floral, a viabilidade foi de 93% ( $\sigma = \pm 2,6$ ), contudo não ocorreu deiscência das anteras; durante a antese, com a deiscência das anteras, registrou-se 98,2% ( $\sigma = \pm 1,2$ ); 08:00 e 24:00 horas depois das anteses, os valores médios de viabilidade polínica foram, respectivamente, 92,3% ( $\sigma = \pm 1,7$ ) e 90,1% ( $\sigma = \pm 1,9$ ). No botão floral a receptividade de estigma foi nula; durante a antese 25% das flores avaliadas mostram-se receptíveis aos grãos de pólen; 08:00 e 24:00 horas depois da antese 75% e 50% das flores avaliadas possuíam o estigma receptível, respectivamente (Figura 13). No momento da antese a viabilidade polínica era alta e a receptividade do estigma baixa, possibilitando ocorrência de dicogamia por protandria, comum nas cactáceas, onde as anteras liberam pólen viável antes do estigma tornar-se receptível, favorecendo a alogamia (Mandujano et al. 2010). Situação oposta ocorre na *O. macrocentra*, nesta espécie, de mesmo gênero, não se constatou atuação da dicogamia (Mandujano 2013).

Com base nas informações de viabilidade polínica e receptividade do estigma, foi possível inferir sobre o provável sistema reprodutivo de cada espécie. Para a *N. cochenillifera* Salm Dyck a relação P/O de 387,48 ( $\sigma = \pm 27,58$ ) e o índice OCI de 2 corroboram com um sistema reprodutivo autogâmico facultativo ou alogâmico facultativo; com distância média espacial entre anteras e estigma de 0,2 mm. Já a *O. atropes* Rose possui fortes características de um sistema alogâmico, relação P/O de 2.701,4 ( $\sigma = \pm 301,1$ ) e índice OCI de 4 (Tabela 4); com distância média espacial entre anteras e estigma de 6,5 mm. Cruden (1977) define autogâmicas facultativas como espécies autocompatíveis e frequentemente autógamas; alogâmicas facultativas como autocompatíveis com tendência à dicogamia; e alogâmicas como vegetais adaptados a alogamia e com chance de serem auto-incompatíveis.

O teste F detectou diferenças significativas nos tipos de polinização e na suplementação hídrica (Tabela 5). A interação não foi significativa, em ambas as espécies avaliadas. Os Coeficientes de variação (CV), para as características: PF (g); NFA; diâmetro (mm); e altura (mm), foram, respectivamente para a espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck, 17,4%; 28,3%, 6,64%; e 6,33%. Para a espécie *O. atropes*

Rose: 16,51%; 32%; 4,64%; e 5,70% (Tabela 5). Todas as flores autofecundadas tenderam a produzir frutos abortados, sem sementes viáveis em seu interior.

**Tabela 4.** Caracterização floral das espécies, segundo Cruden (1977). Arcoverde - PE, 2016.

Características	Espécies	
	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck	<i>Opuntia atropes</i> Rose
Pólen/Antera	278,6 ( $\sigma = \pm 17,4$ )	464,3 ( $\sigma = \pm 9,8$ )
Nº de Anteras	305,3 ( $\sigma = \pm 10,8$ )	372,3 ( $\sigma = \pm 4,8$ )
Nº de pólen total	85012,2 ( $\sigma = \pm 5269,1$ )	172835,8 ( $\sigma = \pm 3061,7$ )
Nº de óvulos	219,9 ( $\sigma = \pm 13,49$ )	64,7 ( $\sigma = \pm 7,3$ )
Relação P/O	387,48 ( $\sigma = \pm 27,58$ )	2701,4 ( $\sigma = \pm 301,1$ )
OCI	2	4

Pólen/Antera: número médio de grãos de pólen por antera; Nº de Anteras: número médio de anteras; Nº de pólen total: número total de grão de pólen por flor; Nº de óvulos: número médio de óvulos; relação P/O: relação pólen por óvulo; OCI: índice obtido pelo somatório de características florais (Cruden 1977).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para ambas espécies; os valores correspondem ao F(calculado), exceto para a linha referente ao coeficiente de variação (CV). Arcoverde - PE, 2016.

<i>N. cochenillifera</i> Salm Dyck				
Fontes de variação	PF (g)	NFA	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Tipos de polinização (T)	63,43**	31,44**	71,34**	51,04**
Suplementação hídrica (I)	4,48*	1,00 <sup>N.S.</sup>	4,52*	1,78 <sup>N.S.</sup>
Interação (T * I)	2,36 <sup>N.S.</sup>	0,33 <sup>N.S.</sup>	2,47 <sup>N.S.</sup>	0,61 <sup>N.S.</sup>
CV (%)	17,4	28,3	6,64	6,33
<i>O. atropes</i> Rose				
Fontes de variação	PF (g)	NFA	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Tipos de polinização (T)	82,60**	4,87*	48,54**	33,89**
Suplementação hídrica (I)	1,95 <sup>N.S.</sup>	2,3 <sup>N.S.</sup>	4,53*	4,93*
Interação (T * I)	0,28 <sup>N.S.</sup>	0,77 <sup>N.S.</sup>	2,37 <sup>N.S.</sup>	0,065 <sup>N.S.</sup>
CV (%)	16,51	32	4,64	5,70

PF: peso de fruto (g); NFA: número de frutos abortados; Diâmetro: diâmetro do fruto (mm); e Altura: altura do fruto (mm). \*\*: significativo a 1%; \*: significativo a 5%; <sup>N.S.</sup>: não significativo, pelo teste F.

Para peso de fruto (PF), na espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck, há diferença ( $p < 0,01$ ) entre as médias ocasionada pelos tratamentos florais: cruzamento (22,6 g); polinização aberta (13,43 g); e autofecundação (10,26 g). Para o peso de fruto (PF) na *O. atropes* Rose, os tratamentos florais alcançaram as seguintes médias: cruzamento (12,44 g); polinização aberta (10,65 g); e autofecundação (7,27 g), com diferença significativa ( $p < 0,01$ ) (Tabela 6).

O número de frutos abortados (NFA) pela espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentaram diferença significativa ( $p < 0,01$ ) para os tratamentos florais: cruzamento (2,46 frutos) destacou-se isoladamente; o número de frutos abortados entre a polinização aberta (9 frutos) e a autofecundação (12 frutos) não diferiram significativamente pelo teste de Tukey a 5%. A espécie *O. atropes* Rose apresentou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) no número de frutos abortados com relação aos tratamentos florais aplicados: o cruzamento (6,96 frutos) formou um primeiro grupo; polinização aberta (9 frutos) e a autofecundação (12 frutos) formaram um segundo grupo, de acordo com o teste de Tukey a 5% (Tabela 6).

**Tabela 6.** Médias do fator tipo de polinização, para cada espécie. Arcoverde - PE, 2016.

<i>N. cochenillifera</i> Salm Dyck				
Tratamentos	PF (g)	NFA	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Cruzamento	22,06 A	2,46 A	32,08 A	40,58 A
Polinização aberta	13,43 B	9 B	25,66 B	34,41 B
Autofecundação	10,26 C	12 B	23,66 C	31,50 C
<i>O. atropes</i> Rose				
Tratamentos	PF (g)	NFA	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Cruzamento	12,44 A	6,96 A	30,75 A	32,75 A
Polinização aberta	10,65 B	9 AB	29,66 A	31,33 A
Autofecundação	7,27 C	12 B	25,66 B	27,16 B

PF: peso de fruto (g); NFA: número de frutos abortados; Diâmetro: diâmetro do fruto (mm); e Altura: altura do fruto (mm). Valores acompanhados por letras iguais na mesma coluna, não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Para a espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck os frutos foram sempre maiores ( $p < 0,01$ ) em diâmetro e altura, nos cruzamentos (32,08mm e 40,58mm); foram medianos nos frutos de polinização aberta (25,66mm e 34,41mm) e menores nas autofecundações (23,66mm e 31,50mm). A diferença foi significativa ( $p < 0,01$ ) para *O. atropes* Rose: os frutos oriundos de cruzamento (30,75mm e 32,75mm) e de polinização aberta (29,66mm e 31,33mm) não diferiram quanto ao diâmetro e a altura pelo teste de Tukey a 5%, já as autofecundações deram origem, novamente, a frutos menores (25,66mm e 27,16mm) (Tabela 6).

Na espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck, existiu diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o peso dos frutos (PF) submetidos a suplementação hídrica (16,18g) e o peso dos frutos que não foram submetidos a ela (14,31 g). Não existiu diferença



significativa entre o peso do fruto (PF) para estas duas condições na espécie *O. atropes* Rose (Tabela 7). Mulas e D'hallewin (1996), avaliando peso e outras características de fruto em *O. ficus-indica*, notaram, que nas parcelas irrigadas, o peso do fruto, dobrou, quando comparado a parcelas sem irrigação.

**Tabela 7.** Médias do fator com e sem suplementação hídrica de cinco litros. Arcoverde - PE, 2016.

<i>N. cochenillifera</i> Salm Dyck				
Suplementação	PF (g)	NFA	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Com	16,18 A	10,96 A	27,77 A	36 A
Sem	14,31 B	12,5 A	26,50 B	35 A
<i>O. atropes</i> Rose				
Suplementação	PF (g)	NFA	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Com	10,51 A	12,42 A	29,16 A	31,05 A
Sem	9,73 A	15,5 A	28,22 B	29,77 B

PF: peso de fruto (g); NFA: número de frutos abortados; Diâmetro: diâmetro do fruto (mm); e Altura: altura do fruto (mm). Valores acompanhados por letras iguais na mesma coluna, não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Quanto ao número de frutos abortados (NFA), não houve diferença significativa quanto a suplementação hídrica, para ambas as espécies (Tabela 7). O motivo do grande abortamento de frutos não deve estar relacionado à escassez d'água, essas espécies aparentemente apresentam algum mecanismo de autoincompatibilidade, notado pelo total abortamento nas autofecundações, semelhante ao constatado por Piña et al. (2007) em *O. microdasys*. De Nettancourt (1997), relata a existência de um sistema de incompatibilidade genético comandado por vários alelos, já descrito em diversas famílias botânicas, com possível atuação nas cactáceas. A propagação via assexuada, por cladódios, pode ampliar, inconscientemente, o abortamento destas espécies, pois se esta incompatibilidade for norteadada por mecanismo genético, indivíduos idênticos tenderão a não produzir frutos.

Mistro et al. (2013) relatam a problemática de *Coffea canefora* em escala comercial. Uma cultivar clonal dessa espécie deve ser composta por vários genótipos, pois, caso contrário, não haverá formação de frutos, muito menos de sementes. Logo temos duas possibilidades: ou a *N. cochenillifera* Salm Dyck e a *O. atropes* Rose são constituídas por vários genótipos; ou aceitam pólen de espécies e

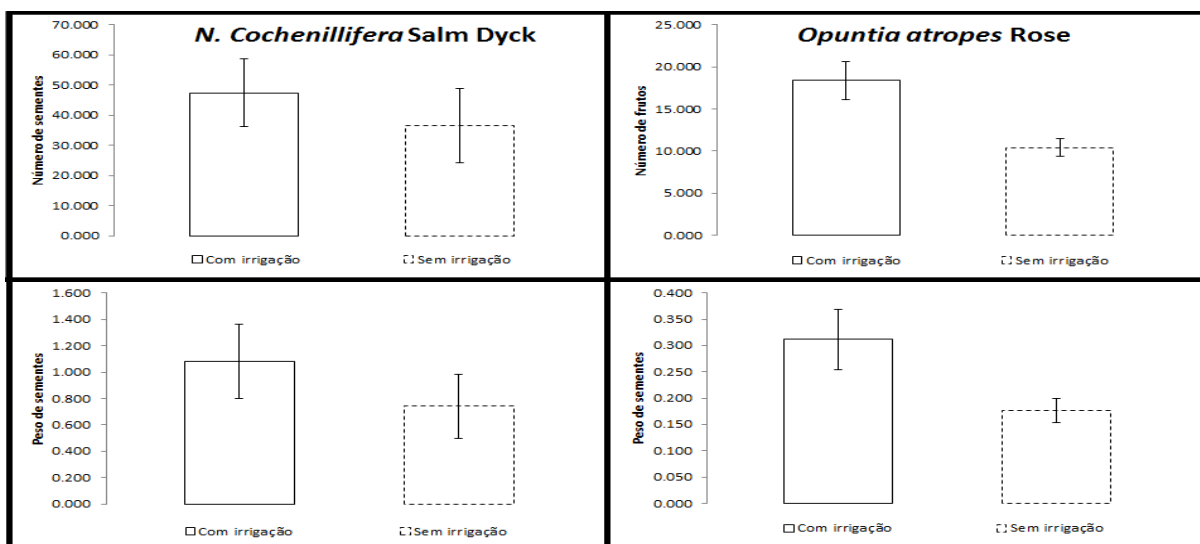


variedades, compatíveis. Pois, flores mantidas sob polinização aberta formaram frutos com sementes viáveis, assim como flores polinizadas manualmente com a mistura de grãos de pólen.

Outro fator que pode ampliar o elevado grau de abortamento de frutos é a redução de polinizadores. A *O. atropes* Rose é uma espécie de polinização exclusivamente entomófila, realizada por abelhas e borboletas (Reyes-Agüero et al. 2006). Já a *N. cochenillifera* Salm Dyck tem polinização ornitófila, realizada pelo beija-flor (Grant e Hurd, 1979). Esses agentes podem ter sofrido alguma redução populacional, pois a polinização manual reduziu bastante o abortamento floral. Fato semelhante foi registrado em *Arrojadoa rhodantha* (Cactaceae), nesta espécie só foram produzidos frutos nas condições naturais, com a presença confirmada dos polinizadores, e manualmente (Kiill et al. 2012).

Para a espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck, a diferença entre o diâmetro do fruto que receberam a suplementação (27,77mm) e dos que não receberam (26,50mm) mostrou-se significativa ( $p < 0,05$ ). Na espécie *O. atropes* Rose, a diferença entre o diâmetro dos frutos suplementados (29,16) e dos frutos não suplementados (28,22) foi significativa ( $p < 0,05$ ). Quanto à altura a *N. cochenillifera* Salm Dyck não mostrou diferença significativa para essa variável, sob estas condições. Enquanto a *O. atropes* Rose demonstrou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre frutos suplementados (31,05mm) e fruto que não receberam a adição d'água (29,77mm) (Tabela 7).

A polinização cruzada favoreceu um número considerável de frutos com sementes, permitindo inferir sobre a influência da suplementação hídrica no número e no peso das sementes. Basicamente para a *N. cochenillifera* Salm Dyck o número médio de sementes, nos frutos que receberam a adição d'água, foi de 47,3 ( $\sigma = \pm 27,5$ ); e nos frutos que não receberam foi de 36,6 ( $\sigma = \pm 12,37$ ). O peso médio de sementes dos frutos mantidos sob suplementação foi de 1,1 g ( $\sigma = \pm 0,28$ ) na condição oposta foi de 0,7 g ( $\sigma = \pm 0,24$ ) (Figura 14).



**Figura 14.** Número de sementes e peso de sementes (g) para as espécies: *N. cochenillifera* Salm Dyck; e *O. atropes* Rose. Quantitativo oriundo dos tratamentos florais com cruzamentos, através da mistura de grãos de pólen.

Para a *O. atropes* Rose o número médio de sementes obtido nos frutos conduzidos sob suplementação foi de 18,40 ( $\sigma = \pm 2,2$ ); enquanto que nos frutos conduzidos sem adição d'água foi de 10,40 ( $\sigma = \pm 1,0$ ). Para o peso de sementes verificou-se, na condição suplementada, 0,31 g ( $\sigma = \pm 0,05$ ); e na condição oposta, 0,17 g ( $\sigma = \pm 0,02$ ) (Figura 14). Para o número de sementes na *O. atropes* Rose verificou-se diferença significativa através do teste U ( $U= 0,50$ ;  $p < 0,01$ ) entre as condições com suplementação e sem. Para as demais situações não foi constatado diferença significativa. Em *O. microdasys*, Peña et al. (2007), não identificou diferença significativa na produção de sementes sob condição aceitável de disponibilidade hídrica. Já Mulas e D'hallewin (1996), em *O. Ficus-indica*, verificaram diferença entre o peso das sementes, sendo maior nos frutos conduzidos sob irrigação.

#### 4.5. Considerações finais

A avaliação prévia do sistema reprodutivo indicou a possibilidade de autofecundação na espécie *N. cochenillifera* Salm Dyck, contudo a utilização de variados meios de polinização indicou que essa espécie é alógama e, provavelmente, auto-incompatível. A *O. atropes* Rose foi classificada corretamente como alógama e, provavelmente, também é auto-incompatível.

A *N. cochenillifera* Salm Dyck apresenta estigma receptível logo após a antese, enquanto a *O. atropes* Rose mostra visível aumento de receptividade 08:00 horas após antese. Durante a antese é o melhor momento para coletar pólen, quando o objetivo for hibridização, neste momento a viabilidade é máxima.

Para a hibridação os melhores momentos são: no momento da antese e oito horas após, respectivamente para as espécies *N. cochenillifera* Salm Dyck e *O. atropes* Rose

A suplementação hídrica não contribuiu para reduzir o número de frutos abortados.

Os frutos polinizados manualmente e mantidos sob suplementação tendem a possuir um maior número de semente na espécie *O. atropes* Rose. Esse fato pode contribuir para o melhoramento genético da espécie, devido à facilidade na obtenção de um maior número de progênies.

#### 4.6. Referencial bibliográfico

Alvarenga T, Fonseca F, Junior FS e Silveira C (2015) Estudo do sistema reprodutivo de *microlíxia fulva* cham.(melastomataceae). **SaBios-Revista de Saúde e Biologia 10**: 80-85.

Boyle TH (1997) The genetics of self-incompatibility in the genus *Schlumbergera* (Cactaceae). **Journal of Heredity 88**: 209-214.

Bunch R (1997) Update on cactus pear breeding program and new products at D'Arrigo Bros. J. **Professional Association for Cactus Development 2**: 60-65.

Cruden RW (1977) Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. **Evolution 31**: 32-46.

Dafni A (1992) Pollination ecology: a practical approach. **Oxford: IRL Press Ltd**, 250 p.

De Nettancourt D (1997) Incompatibility in angiosperms. **Sexual Plant Reproduction 10**: 185-199.

Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia 35**: 1039-1042.

Grant V e Hurd PD (1979) Pollination of the southwestern opuntias. **Plant Systematics and Evolution 133**: 15-28.

Hauser EJP e Morrison JH (1964) The cytochemical reduction of nitro blue tetrazolium as an index of pollen viability. **American Journal of Botany 51**: 748-752.

Holland JN e Deangelis DL (2002) Ecological and evolutionary conditions for fruit abortion to regulate pollinating seed-eaters and increase plant reproduction. **Theoretical population biology 61**: 251-263.

Inglese P, Basile F e Schirra M (2002) Cactus pear fruit production. In: Cacti Biology and Uses. **University of California Press, USA**, 163-183 p.

Kiill LHP, Santos APB, Martins CTDVD, Silva NBG e Silva TA (2012) Pollination ecology of the cactus *Arrojadoa rhodantha* in a seasonal hiper-xerophilous tropical forest. **SITIENTIBUS série Ciências Biológicas 12**: 303-312.

Lima GFC, Wanderley AM, Guedes FX, Rego MMT, Dantas FDG, Silva JGM, Novaes LP e Aguiar EM (2015) **Palma forrageira irrigada e adensada: uma reserva forrageira estratégica para o semiárido potiguar**. Parnamirim: EMPARN, 62 p. (EMPARN documentos; 45).

Mandujano MC, Carrillo-Angeles I, Martínez-Peralta C e Golubov J (2010) Reproductive biology of Cactaceae. In: **Desert plants**. Springer Berlin Heidelberg, 197-230 p.

Mandujano MC, Golubov J e Huenneke L (2013) Reproductive Ecology of *Opuntia macrocentra* (Cactaceae) in the Northern Chihuahuan Desert. **The American Midland Naturalist 169**: 274-285.

Marques VB, Araújo NA, Moreira RA, Ramos JD e Rizental MS (2012) Ocorrência de insetos na pitaita no município de Lavras-MG. **Agrarian 5**: 88-92.

Mistro JC, Fazuoli LC, Resende MDVD e Vencovsky R (2013). Ganho genético em uma população de café robusta submetida a seleção clonal. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 5 p.

Mondragón-Jacobo C (1999) Preliminary genetic studies on cactus pear (*Opuntia* spp, Cactaceae) germplasm from Central México. Ph. D. Diss, Purdue University. West Lafayette, **Indiana**, 136 p.

Mulas M e D'hallewin G (1996) Fruit quality of four cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivars as influenced by irrigation. In: **III International Congress on Cactus Pear and Cochineal 438**, 115-122 p.

Negrón-Ortiz V (1998) Reproductive biology of a rare cactus, *Opuntia spinosissima* (Cactaceae), in the Florida Keys: why is seed set very low?. **Sexual Plant Reproduction 11**: 208-212.

Nerd A, Karady A e Mizrahi Y (1991) Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts on productivity. **HortScience** **26**: 527-529.

Pessoa SPM, Moraes JQ e Silva CA (2013) Apomixia facultativa em *Smilax fluminensis* Steud.(Smilacaceae), espécie dióica de fragmentos florestais, Centro Oeste do Brasil. **Revista Árvore** **37**: 1025-1035.

Piña HH, Montaña C e Mandujano MC (2007) Fruit abortion in the Chihuahuan-Desert endemic cactus *Opuntia microdasys*. **Plant Ecology** **193**: 305-313.

Reyes-Agüero JA, Aguirre RJR e Valiente-Banuet A (2006) Reproductive biology of *Opuntia*: A review. **Journal of arid environments** **64**: 549-585.

Stephenson AG (1981) Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. **Annual review of ecology and systematics**, p. 253-279.

## 5. Conclusões

- 1- Os clones avaliados do gênero *Opuntia* possuem flores casmogamas de sistema reprodutivo misto que realizam autofecundações frequentemente. Não ocorre cleistogamia, contudo a apomixia foi registrada nos clones 37 e 111.
- 2- As espécies *N. cochenillifera* Salm Dyck e *O. atropes* Rose, provavelmente, são auto-incompatíveis.