

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

JESKA THAYSE DA SILVA FERNANDES DA CUNHA

**ASPECTOS FLORAIS, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE
PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

**RECIFE
2021**

JESKA THAYSE DA SILVA FERNANDES DA CUNHA

**ASPECTOS FLORAIS, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE
GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha

Coorientadores: Prof^a. Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos
Dra. Maria da Conceição Silva

**RECIFE
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C978a Cunha, Jeska Thayse da Silva Fernandes da
ASPECTOS FLORAIS, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA (Opuntia e Nopalea) / Jeska Thayse da Silva Fernandes da Cunha. - 2021.
94 f. : il.
- Orientador: Marcio Vieira da Cunha.
Coorientador: Mercia Virginia Ferreira dos .
Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (PDIZ), Recife, 2021.
1. bromatologia. 2. diversidade genética. 3. fenologia floral. 4. métodos de seleção. 5. produção de forragem. I. Cunha, Marcio Vieira da, orient. II. , Mercia Virginia Ferreira dos, coorient. III. Título



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**ASPECTOS FLORAIS, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE
GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)**

Tese elaborada por

JESKA THAYSE DA SILVA FERNANDES DA CUNHA

Aprovado em 27/10/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE
Orientador

Prof^a. Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

Prof. Dr. Mário de Andrade Lira Junior
Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo
Embrapa Semiárido

DEDICO

As pessoas que são peças fundamentais na minha vida, os meus pais (**João Bosco Fernandes** e **Maria Aparecida da Silva Fernandes**), meu cônjuge (**Marialdo Santana da Cunha**) e a minha filha (**Maria Alice Fernandes da Cunha**), que representaram toda minha força e dedicação para vencer essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar viva e me dar forças e fé nos momentos de dificuldade e me conduzir até aqui. Agradeço por todas as coisas que conquistei até agora, mas peço-lhe a sabedoria, coragem, serenidade e força para conquistar muito mais, pois há ainda uma longa jornada pela frente.

Ao meu orientador, professor Dr. Márcio Vieira da Cunha, por todo apoio, dedicação, contribuição inestimável na minha formação e no desenvolvimento da presente tese e confiança depositada em mim para a condução do trabalho.

Ao eterno professor Mario Lira de Andrade (*in memoriam*), que em vida dedicou o seu tempo para me orientar nesse trabalho. Além disso, tanto me inspirou para que eu me tornasse uma profissional melhor a cada dia.

À professora Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos, pela orientação e ensinamentos recebidos nessa jornada.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco, em especial a Estação Experimental de Arcoverde, na pessoa de Dr. Djalma Cordeiro dos Santos e a Dra. Maria da Conceição Silva, pelo apoio recebido para realização da pesquisa e aos demais companheiros Nogan e Dani pela parceria na condução do trabalho e pela estimada amizade. À dryGrow Foundation, pelo apoio financeiro concedido em algumas etapas da condução do estudo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de formação profissional. Em especial, a todos os professores do Departamento de Zootecnia (Área de Forragicultura) e aos demais, pelos conhecimentos transmitidos.

À CAPES, pela bolsa recebida, primordial na concretização dessa etapa e pelo apoio financeiro para realização da pesquisa.

A todos e todas as colegas do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, por todos os momentos de alegria e experiências compartilhadas.

A todos e todas da minha família que contribuíram direta e indiretamente, e com apoio e amor, facilitaram a realização desta nova conquista para minha vida pessoal e profissional.

ASPECTOS FLORAIS, CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* e *Nopalea*)

RESUMO

Caracterizar e avaliar novos genótipos de palma forrageira, produtivos e resistentes a pragas e doenças torna-se de fundamental importância para explorar o potencial forrageiro da cultura. Dessa forma, o conhecimento mais detalhado das mudanças morfológicas, produtivas e reprodutivas de novos genótipos de palma forrageira frente ao manejo e variações ambientais pode fornecer dados importantes para o melhoramento dessa forrageira, assim como para sua propagação. Objetivou-se estudar aspectos florais, caracterizar e selecionar genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). O trabalho foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em Arcoverde-PE, teve duração de quatro anos e compreendeu dois estudos. No primeiro estudo (entre abril de 2019 a outubro de 2020) foram avaliadas a fenologia floral, visitação floral e polinizadores em cinco genótipos de palma forrageira. As avaliações de fenologia floral ocorreram em cinco plantas de cada genótipo. Em cada planta foram selecionados em média 20 botões, totalizando 100 botões florais para cada genótipo. O comportamento dos visitantes florais foi registrado em campo através de observações visuais a campo e por meio de fotografias, totalizando 160 horas de observações diurnas, distribuídas em 32 h por cinco dias para cada genótipo, durante a antese. Os dados de fenologia floral e visitação florais foram analisados por meio de estatística descritiva, com a média seguida do desvio padrão (média \pm desvio padrão). Observou-se que o número médio de dias para antese variou de 21 a 25 dias no primeiro ano de avaliação e 21 a 24 dias no segundo ano, apresentando diâmetro e altura média de botões florais de 22 a 24 mm e 4,6 a 6,6 cm em 2019, e 22 a 24 mm e 4,9 a 6,2 cm em 2020, respectivamente. A quantidade de botões florais variou conforme período de floração dos genótipos com valores de 122 a 316 botões florais, sendo maior entre os meses de julho a setembro, período de menores precipitações pluviais, temperaturas do ar menores e aumento gradativo do brilho solar. Os visitantes mais frequentes foram as espécies *Apis melífera* (37,43%), seguido da família *Formicidae* (31,61%) e da espécie *Bombus atratus* (13,80%). O conhecimento dos aspectos florais dos genótipos estudados subsidiará os métodos de melhoramento da palma forrageira, notadamente as hibridações. No segundo estudo, a fim de possibilitar a escolha de novas variedades de palma forrageira para ampliar o cultivo e dispersão da espécie, objetivou-se caracterizar e selecionar genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) utilizando características morfológicas, produtivas, fitossanitárias e bromatológicas. O período experimental foi de abril de 2018 a julho de 2021. As parcelas experimentais foram distribuídas em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Avaliou-se as características morfológicas, produtivas, fitossanitária e bromatológica em nove genótipos de palma forrageira. Os dados foram submetidos a anova DBC em esquema fatorial 2x9, considerando como efeito aleatório blocos e fixos os genótipos de palma forrageira e ano de colheita. Quando o teste F na ANOVA foi significativo, as médias das características foram submetidas ao teste de Scott-Knott. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade. As características morfológicas largura de planta (LP), altura de planta (AP), número de cladódios (NC), largura de cladódio (LC), comprimento de cladódio (CC), espessura de cladódio (EC), área de cladódio (AC), área fotossintética total da planta (AFT), índice de área de cladódio (IAC) e produção de matéria seca (PMS) foram diferentes ($p < 0,05$) conforme os genótipos. A LP, LC e EC diferiram ($p < 0,05$) conforme os anos de avaliação. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação anos e genótipos para as características comprimento de cladódio CC, LC, AC, PMS. Houve efeito significativo dos genótipos somente para proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e nitrogênio (N). Não foi observado efeito significativo para colheita

nem interação significativa entre colheita e genótipos. Não foi observado infestação de cochonilha do carmim nos genótipos de palma forrageira. Todos os genótipos são susceptíveis ao ataque da cochonilha de escama e apresentaram nível de infestação variando de 25% a 50% nas plantas. Os genótipos que apresentaram doenças em seus cladódios, como a podridão escamosa (*Scytalidium lignicola*) e mancha de alternaria, foram acometidos até 25% dos cladódios. Os genótipos IPA-200016, IPA-100672, IPA-100676, apresentaram de 0 a 25% espinhos nas plantas. Com intensidade de seleção de 10%, observa-se que os valores para ganho genético através da seleção direta foram superiores ao ganho indireto para todas as características morfológicas e PMS e bromatológicas. Os genótipos de palma forrageira foram reunidos em dois grupos principais e dois grupos secundários, conforme o critério estabelecido com o ponto de corte de 1,22 após ajuste de níveis de fusão e com correlação cofenética (0,77**), que foi significativa pelo teste t ($p \leq 0,01$) com ajuste satisfatório, demonstrando confiabilidade na relação entre a matriz de dissimilaridade. Os genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) apresentaram diferenças morfológicas, mesmo estando no mesmo ambiente. Os genótipos IPA-200021, IPA-100676, IPA-100673, IPA-100420, e IPA-200008 não apresentaram espinhos em seus cladódios. Os genótipos, IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661, IPA-100673 e IPA-100420 não apresentaram incidência de doenças. As características que mais contribuíram para a divergência genética foram NC e AC. A existência de variabilidade genética entre os genótipos de palma forrageira nesse estudo revela que é possível selecionar os genótipos IPA-200016, IPA-200174, IPA-100676, IPA-100673 e IPA-200008 para as características de melhor interesse econômico, possuem características morfológicas, produtiva, fitossanitárias e bromatológica desejáveis para dar continuidade ao melhoramento genético da palma forrageira. A caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira permitiu a identificação de materiais superiores, com potencial para trazer ganhos à cultura da palma forrageira.

Palavras-chaves: bromatologia, diversidade genética, fenologia floral, métodos de seleção, morfologia, produção de forragem.

FLORAL ASPECTS, CHARACTERIZATION AND SELECTION OF FORAGE CACTUS GENOTYPES (*Opuntia* and *Nopalea*)

ABSTRACT

Characterizing and assessing forage cactus genotypes (*Opuntia* and *Nopalea*) that are productive and resistant to pests and diseases become essential in order to exploit the crop potential of these species. Thereby, the more detailed knowledge about the morphological, productive and reproductive changes from new forage cactus genotypes facing the management and environmental variations can provide important data for both their breeding and propagation. This study aimed to evaluate floral aspects, besides characterizing and selecting forage cactus genotypes. The experiment was carried out at the Experimental Station from the Agronomic Institute of Pernambuco, located at Arcoverde, Pernambuco. The study was divided into two studies in a four-year trial. In the first one (from April 2019 to October 2020), floral phenology, visitors, and pollinators were assessed in five forage cactus genotypes. Floral phenology was evaluated in five plants per genotype, and 20 floral buds from each plant were selected, totalizing 100 buds for each genotype. The behavior of floral visitors was recorded in the field through visual observations and photography, comprehending 160 hours of daytime observation, splitted into 32 hours per five days for each genotype, during the anthesis. Data from the floral phenology and visitors were analyzed through descriptive statistical, with the mean followed by the standard deviation (mean \pm standard deviation). The average number of days until anthesis varied from 21 to 25 in the first evaluation year, and from 21 to 24 in the second one. Floral buds' diameter varied from 22 to 24 mm in 2019 and 2020, besides their average height varied from 4.6 to 6.6 cm in 2019. Moreover, the floral buds had an average height varying from 4.9 and 6.2 in 2020. The number of floral buds changed according to the flowering period of the genotypes, with values from 122 to 316 buds and a greater number between July and September, periods that the rainfall and air temperature are lower, and there is a graduate increase of the solar radiation. The most frequent visitors were the species *Apis mellifera* (37.43%), insects from the *Formicidae* family (31.61%) and the *Bombus atratus* (13.80%). The knowledge about the genotypes' floral aspects will support the breeding methods applied in the forage cactus, mainly the hybridizations. In the second study, the objective was to characterize and select forage cactus genotypes (*Opuntia* and *Nopalea*) through morphological, productive, phytosanitary, and bromatological characteristics in order to find new varieties increasing both the cropping and spreading of these species. The experimental period occurred from April 2018 to July 2021. The experimental plots were distributed into a randomized complete block design, with three repetitions and factorial arrangement 2×9 (year \times genotype). Nine forage cactus genotypes were assessed regarding the morphological, productive, phytosanitary and bromatological traits. Data were submitted to analysis of variance, and both the genotype and year effects were fixed ones, while the block effect was random. When the F-test was significant, the means were compared by Scott-Knott's test, at 5% of probability of error. Morphological characteristics as plant's width (PW) and height (PH), number of cladodes (NC), cladode's width (CW), length (CL), thickness (CT) and area (CA), besides the total photosynthetic area (TPA), the cladode area index (CAI) and the dry matter yield (DMY) were different in the function of the genotypes. The PW, CW and CT differed ($p < 0.05$) in the function of the evaluation years. There was a significant effect of interaction between year and genotype on the CL, CW, CA and DMY. There was only a genotype effect on the contents of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and nitrogen (N). There was no significant effect of evaluation year or its interaction with genotype. No infestation by

cochineal carmine was observed on the forage cactus genotypes. Conversely, all genotypes were susceptible to the cochineal scale attack, displaying levels that varied from 25 to 50%. The genotypes had diseases on their cladodes like the squamous rot caused by *Scytalidium lignicola*, and the brown spot caused by *Alternaria* spp., which attacked almost 25% of the assessed cladodes. The genotypes named IPA-200016, IPA-100672, and IPA-100676 had the presence of spines varying from 0 to 25% on their plants. Under a selection intensity of 10%, the values of genetic gain through direct selection were greater than the indirect gain for all the morphological and bromatological traits, besides the dry matter yield. Forage cactus genotypes were separated into two principal groups and two secondary ones, according to the established criterion with the limit point of 1.22, after an adjustment of fusion levels and with cophenetic correlation (0.77**), which was significant by the T-test ($p \leq 0.01$) and had a satisfactory adjustment, demonstrating reliability regarding the dissimilarity matrix. Forage cactus genotypes, *Opuntia* and *Nopalea*, displayed morphological differences even under the same environment. The genotypes named IPA-200021, IPA-100676, IPA-10673, IPA-100420, and IPA-200008 did not present spines on their cladodes. Furthermore, diseases did not attack the genotypes IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661, IPA-100673 and IPA-100420. Both the number and area of the cladodes were the morphological traits that more contributed to the genetic divergence. The genetic variability among the forage cactus genotypes, assessed in this study, allows selecting the genotypes named IPA-200016, IPA-200174, IPA-100676, IPA-100673 and IPA-200008 aiming the traits with better economic interest, because they have desirable morphological, productive, phytosanitary and bromatological characteristics able to continue this breeding program. Both the characterization and selection of these genotypes allowed the identification of superior materials that have the potential to improve the forage cactus cropping.

Keywords: bromatology, genetic diversity, floral phenology, selection methods, morphology, forage production.

LISTA DE TABELAS

Capítulo I. Fenologia floral, visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

Tabela 1. Genótipos de palma forrageira, dos gêneros <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i> , utilizadas durante o período experimental, Arcoverde, PE- Brasil.....	39
Tabela 2. Fenologia floral de genótipos de palma forrageira (<i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>), Arcoverde-PE, 2019-2020.	42
Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre as características florais e variáveis meteorológicas em genótipos de palma forrageira.	47
Tabela 4. Visitantes florais de genótipos de palma (<i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>), Arcoverde-PE....	50

Capítulo II. Caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

Tabela 1. Genótipos de palma forrageira dos gêneros <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i> , utilizados no experimento, Arcoverde-PE, Brasil.....	62
Tabela 2. Resumo da análise de variância das características morfológicas e produtiva de genótipos de palma forrageira (<i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>)	67
Tabela 3. Média das características morfológicas de genótipos de palma forrageira <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>	69
Tabela 4. Médias das características morfológicas de genótipos de palma forrageira dos gêneros <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i> para duas colheitas.....	70
Tabela 5- Média das características morfológicas e produtivas de palma forrageira (<i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>) em função dos genótipos e ano de colheita.....	72
Tabela 6. Resumo da Análise de variância das características químico bromatológicas de genótipos de palma forrageira <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>	74
Tabela 7. Média das características químico bromatológicas de genótipos de palma forrageira <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>	76
Tabela 8. Estimativas de ganhos genéticos diretos e indiretos (%) e seleção de genótipos de palma forrageira (<i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>), pelo método de seleção direta (valores na diagonal, em negrito) e indireta para as características morfológicas e produtivas.....	81
Tabela 9. Estimativas de ganhos genéticos diretos e indiretos (%) e seleção de genótipos de palma forrageira <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i> , pelo método de seleção direta (valores na diagonal, em negrito) e indireta para as características bromatológicas.....	82

Tabela 10. Estimativas de ganhos genéticos (%) em genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) selecionados pelo método de seleção por índices para as características morfológicas e produtivas.....84

Tabela 11. Estimativas de ganhos genéticos (%) em genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) selecionados pelo método de seleção por índices para as características bromatológicas.....85

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I. Fenologia floral, visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

Figura 1. Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado a precipitação mensal nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE.....43

Figura 2. Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado ao brilho solar nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE.....44

Figura 3- Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado a temperatura média mensal nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE..45

Figura 4. Projeção de genótipos de palma forrageira nos eixos 1 e 2 dos componentes principais (PC) obtidos com base nas características florais e variáveis ambientais.....46

Figura 5. Frequência relativa de visitas realizadas às flores de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), Arcoverde-PE.....48

Figura 6. Flores de genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia*, com presença de *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) em suas estruturas reprodutivas, Arcoverde-PE.....49

Figura 7. Flores de genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia*, com presença de *Bombus atratus* (Franklin 1913) em suas estruturas reprodutivas, Arcoverde-PE.....51

Figura 8. Flores de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), com presença de *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) (A), *Phoebis sennae* (Linnaeus 1758) (B) e *Formicidae* (C) em suas estruturas reprodutivas, Arcoverde-PE.52

Capítulo II. Caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

Figura 1. Precipitação mensal durante o período experimental, 2018-2020 Arcoverde-PE. Setas indicam início e fim do período experimental.....61

Figura 2. Níveis de infestação de cochonilha de escama em genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)77

Figura 3. Incidência de doenças em genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*.....78

Figura 4-. Presença de espinhos em genótipos de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*.....79

Figura 5. Dendograma de dissimilaridade genética entre nove genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), com base na matriz de dissimilaridade estimada a partir 14 características morfológicas.....87

Figura 6. Importância relativa das características morfológicas para o estudo da diversidade genética entre os genótipos de palma forrageira, segundo critério de Singh (1981).....88

Figura 7. Dispersão gráfica em 3D dos 9 genótipos em relação às 5 primeiras variáveis canônicas de maior contribuição relativa.....89

SUMÁRIO

	Página.
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Importância da Palma forrageira	18
2.2 Caracterização da palma forrageira.....	19
2.2.1 Caracterização morfológica.....	19
2.2.2 Caracterização produtiva e bromatológica	21
2.2.3 Caracterização fitossanitária.....	23
2.2.4 Caracterização reprodutiva.....	23
2.3 Melhoramento da palma forrageira e diversidade genética	25
2.3.1 Melhoramento da palma forrageira	25
2.3.2 Diversidade genética	26
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO I	34
Fenologia floral, visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (<i>Opuntia e Nopalea</i>)..	34
RESUMO	34
ABSTRACT.....	35
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4. CONCLUSÕES	53
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
CAPÍTULO II.....	56
Caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (<i>Opuntia e Nopalea</i>).....	56
RESUMO	57
ABSTRACT.....	58
1. INTRODUÇÃO	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65

1. CONCLUSÕES	90
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1. INTRODUÇÃO

A identificação de novos genótipos de plantas forrageiras com vistas a uma produção animal sustentável constitui um dos maiores desafios frente as mudanças climáticas em regiões áridas e semiáridas, onde ocorrem grande irregularidade de chuvas.

O cultivo da palma forrageira é importante não só pela produção de forragem, para suprir a escassez de alimentos aos rebanhos, mas também pelos múltiplos serviços ecossistêmicos promovidos por essa forrageira (biocombustível, medicamentos, alimentação humana, tratamento de água, manutenção e biodiversidades de polinizadores).

Dentre as espécies de palma forrageira, as dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* são as mais cultivadas e merecem destaque, por obter resultados satisfatórios quanto a produtividade e serem resistentes a pragas e doenças, as cultivares Orelha de Elefante Mexicana, a Miúda e IPA Sertânia.

Caracterizar e avaliar novos genótipos de palma forrageira, produtivos e resistentes às pragas e doenças torna-se de fundamental importância para explorar o potencial forrageiro da cultura. Dessa forma, o conhecimento mais detalhado das mudanças morfológicas, produtivas e reprodutivas de novos genótipos de palma forrageira frente ao manejo (frequência e intensidade de colheita, espaçamento, adubação, preparo do solo, entre outros) e variações ambientais (aumento e/ou diminuição de temperatura, precipitação, umidade relativa, radiação) pode fornecer dados importantes para o melhoramento dessa forrageira, assim como para sua propagação.

As espécies de palma forrageira existentes apresentam distintas capacidades de adaptação às condições ambientais, influenciando a taxa de sobrevivência e a suscetibilidade às pragas e doenças. Em programas de melhoramento, a análise das respostas das plantas a diversos ambientes e a diferentes tipos de manejo é importante para selecionar materiais mais promissores com características desejáveis a seleção, pois os genótipos de palma forrageira podem apresentar comportamentos diferentes, quanto à morfologia, produtividade, composição químico-bromatológica, mecanismos reprodutivos e resistência às pragas e doenças.

A ocorrência de pragas como a cochonilha do carmim e de escama e doenças em palma forrageira representam uma grande ameaça para o seu cultivo. Diante disso, a introdução e seleção de novos genótipos resistentes deve ser priorizada para evitar danos econômicos aos produtores.

Um dos grandes entraves para a geração de novos clones de palma forrageira está relacionado ao seu mecanismo reprodutivo e ao abortamento de frutos em cruzamentos controlado ou não, em virtude dessas espécies serem alógamas, mas também apresentarem autogamia e cleistogamia.

O conhecimento sobre as potencialidades e alternativas do cultivo de palma forrageira em relação aos aspectos florais e reprodutivos pode ser muito importante para programas de melhoramento genético da planta, que apesar dos diversos estudos a respeito do cultivo da palma forrageira, poucos são os estudos sobre a biologia floral e polinizadores nessa cultura.

Objetivou-se avaliar os aspectos florais, caracterizar e selecionar genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), por meio de indicadores florais, morfológicos, produtivos, fitossanitário e bromatológicos. Desse modo, a presente tese está dividida da seguinte forma: Revisão de Literatura; Capítulo 1- Fenologia floral, visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) e Capítulo 2 - Caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da Palma forrageira

O cultivo de palma forrageira vem aumentando especialmente no Brasil e no México, mas também no oeste da Ásia e no Norte e no sul da África (SAMAH et al., 2016), e torna-se importante em virtude dos múltiplos serviços ecossistêmicos que essa planta oferece, tais como: produção de frutas e cladódios que podem ser usados como fontes de nutrientes e fitoquímicos (SALEHI et al., 2019; LIGUORIT et al., 2020), biocombustível, medicamentos, alimentação humana, forragem para alimentação animal, tratamento de água (BAYAR et al., 2018; VOLPE et al., 2018; REZENDE et al., 2020), manutenção e biodiversidades de polinizadores (ARBA et al., 2017).

Espécies de palma forrageira possuem características anatômicas e morfofisiológicas que favorecem sua adaptação às condições ambientais de regiões secas (CARDOSO et al., 2019), pois sua alta eficiência do uso da água a torna adaptada às condições ambientais com altas taxas de evaporação atmosférica e redução da água do solo (HARTZELL et al., 2018). Ainda, contribui de forma eficaz para o acúmulo de carbono orgânico no solo (CRUZ et al., 2018), em virtude do seu processo fotossintético denominado CAM (crassulacean acid mechanism), não requerendo grande quantidade de água para seu cultivo, se tornando uma alternativa para mitigar as mudanças climáticas nas regiões áridas e semiáridas (ANDREU-COLL et al., 2020).

Diversos estudos a respeito da digestão ruminal, ganho de peso e outras características físicas em bovinos, ovelhas ou cabras, quando incorporaram a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) na alimentação, mostram a importância dessa forrageira para além de suprir as necessidades alimentares desses animais. Vacas em lactação alimentadas com uma dieta contendo palma forrageira (*Opuntia*) reduziram a perda de peso e transição para o estro, reduzindo o tempo entre as gestações (OCHOA et al., 2017). Ao avaliar o efeito da substituição do farelo de trigo por palma forrageira em dietas à base de cana-de-açúcar sobre consumo, digestibilidade de nutrientes e parâmetros ruminais de ovinos, Lins et al. (2016) constataram maiores concentrações de acetato, propionato e butirato à medida em que se aumentou a participação de palma forrageira na dieta, resultando em uma redução dos valores de pH no rúmen.

Economicamente, o cultivo de palma é viável. Dantas et al. (2017), ao estudarem a viabilidade econômica de palma forrageira irrigada em filas estreitas, constataram que um campo forrageiro de palma forrageira (*Opuntia*) de alta densidade foi capaz de recuperar o

investimento inicial de configuração em apenas 21 meses, embora o campo fosse inteiramente de sequeiro.

Culturas forrageiras adaptadas capazes de prosperar em regiões áridas e semiáridas podem ter um impacto significativo nos próximos anos, fornecendo forragem para aumentar a alimentação de origem animal em áreas secas do planeta (MUDGAL et al., 2018). Para Sáenz (2013), o cultivo de palma forrageira contribui para o desenvolvimento dessas regiões, com resultados satisfatórios tanto para o meio ambiente quanto para a segurança alimentar.

2.2 Caracterização da palma forrageira

2.2.1 Caracterização morfológica

A palma forrageira pertence ao reino Plantae; divisão Embryophyta; subdivisão Angiospermea; classe Dicotyledoneae; subclasse Archiclamideae; ordem Opuntiales; família Cactaceae. Apresenta 178 gêneros, contemplando em torno de 2.000 espécies conhecidas. Contudo, os dois gêneros de palma utilizados para a produção de forragem no semiárido brasileiro são *Opuntia* e *Nopalea* (GALVÃO JÚNIOR et al., 2014; SOUZA et al., 2019; JARDIM et al., 2020a; JARDIM et al., 2021b).

As variedades cultivadas no Brasil que se mostram com elevado potencial para cultivo em áreas de ocorrência da cochonilha do carmim e utilização na alimentação animal, tanto de bovinos, quanto de caprinos e ovinos, são a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), e a Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffiths) (SANTOS et al., 2013).

A morfologia das espécies de palma forrageira do gênero *Opuntia* é muito peculiar, sendo resultante das adaptações evolutivas ocorridas dentro desse grupo. Entre as características mais marcantes, destacam-se a presença de aréolas com pelos e espinhos, um caule suculento com uma epiderme verde, a falta de folhas copadas e frutos constituídos por uma baga simples e 4 carnáceas, formadas por um ovário inferior fundido em tecido de caule do receptáculo (SCHEINVAR, 2012).

As plantas do gênero *Opuntia* são arborescentes, com 3 a 5 m de altura, coroa larga, glabra, caule com 60 a 150 cm de largura, cladódios obovalados com 30 a 60 cm de comprimento, 20 a 40 cm de largura e 19 a 28 mm de espessura, verde escuro, cobertos com uma camada de cera (SCHEINVAR, 2001), hábito de crescimento ereto a semiaberto (SILVA et al., 2010). Apresentam cladódios obovalados, disposição das aréolas entre 8 a 9 séries espirais, os espinhos são quase ausentes, raramente um em poucas aréolas, com

aproximadamente 1 cm de comprimento cor cinza, translúcidos (SCHEINVAR, 2001). Já as espécies de palma forrageira pertencentes ao gênero *Nopalea* possuem os mais variados portes, podem atingir de 2 a 5 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 (BRITTON e ROSE, 1963; LIM, 2012).

Diversos estudos comprovam as diferenças morfológicas entre plantas de palma forrageira. Léo et al. (2019) verificaram para palma forrageira cv. Gigante (*O. ficus-indica* Mill.) cultivado em diferentes espaçamentos em três ciclos de produção, altura de plantas variando de 92,10 a 116,1 cm, superior ao observado por Pereira et al. (2015), que ao avaliar clones de palma forrageira submetidos a diferentes condições de disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro, durante um ano de anomalia climática, verificou altura média de 52,1 cm para IPA Sertânia, 47,5 cm para Miúda e 46,9 cm para Orelha de Elefante Mexicana. Essas médias foram inferiores ao relatados por Lima et al. (2016), que ao avaliarem o efeito de diferentes intensidades de corte e anos de colheita nas características morfológicas e de produtividade da palma forrageira irrigada cv. Gigante em alta densidade de plantio, com 12 meses de rebrota, constataram alturas de plantas variando de 81,11 a 143,73 cm.

Amorim et al. (2015) caracterizaram morfológicamente onze variedades de palma forrageira pertencente ao gênero *Nopalea* e constataram largura média de planta variando de 76,25 cm a 95,50 cm. Pereira et al. (2015) verificaram largura média de 48,9 cm para IPA Sertânia, 48,8 cm para Miúda e 56,8 cm para Orelha de Elefante Mexicana, em diferentes condições de disponibilidade hídrica.

Os cladódios da palma forrageira apresentam células viscosas, cutículas espessas ou serosidade, que protegem os estômatos fazendo com que a taxa de transpiração seja minimizada (PORTO et al., 2011). A depender da espécie, do gênero e do tipo de manejo imposto, possuem diferentes dimensões quanto ao tamanho, espessura e peso, como comprova estudos realizados por Cavalcante et al. (2014), que observaram largura média de cladódio de 31,20 cm e comprimento de cladódio de 15,96 cm, após 720 dias de plantio. Edvan et al. (2020) verificaram para a Miúda 17,8 cm e 17,2 cm, para IPA Sertânia 19,2 cm e 42,8 cm e para Orelha de Elefante Mexicana, 24,4 cm e 62,3 cm para largura e comprimento dos cladódios, respectivamente, em ambientes restritos ao cultivo de palma forrageira. Segundo Silva et al. (2014), plantas do gênero *Nopalea* possuem cladódios menores em comparação aos do gênero *Opuntia*. Lima et al. (2016) avaliaram as características morfológicas da palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) em alta densidade de plantio sob irrigação e encontraram valores de

espessura média de cladódios variando de 14,53 a 20,08 mm, em diferentes intensidades de corte e anos de colheita.

Em relação aos pesos dos cladódios, Amorim et al. (2015), ao estudar onze variedades de palma forrageira do gênero *Nopalea*, constataram que o peso médio dos cladódios variou de 193,18 g a 516,52 g. Rocha et al. (2017) encontraram valores de peso médio de cladódios para Miuda de 0,175 kg, Orelha de elefante mexicana de 0,777 kg e IPA-20 (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) de 0,773 kg, com 16 meses de cultivo.

O sistema radicular da palma forrageira se caracteriza por um sistema de raízes superficiais e carnosas, com uma distribuição horizontal, atinge profundidade de até 30 cm em diferentes tipos de solo, conferindo maior sobrevivência a grandes períodos de seca, sobretudo por apresentarem características xeromórficas (MARQUES et al., 2017).

Ao estudarem aspectos anatômicos de quatro variedades de palma forrageira (F21 - *Nopalea* sp., Gigante, IPA 20 e Orelha de Elefante Africana) no Agreste pernambucano, Silva et al. (2010) observaram que todas as variedades possuíam paredes celulares espessas, provavelmente em função da maior lignificação da parede secundária. A variedade de palma forrageira Orelha de Elefante Africana foi a que apresentou maior espessura de cutícula e epiderme, com 39,2 e 220,5 μm , respectivamente, diferenciando-se das demais.

A ausência ou presença de espinhos também é uma característica que a quantidade e presença varia conforme a espécie e gênero da palma forrageira. Silva et al. (2010) verificaram poucos espinhos nas plantas, com média nos seus artículos jovens e adultos de 4,2 e 3,5 espinhos a cada 5 cm^2 , respectivamente, característica determinada pela genética da planta.

Ao estudar palmas forrageiras espinhosas pertencentes ao banco de germoplasma brasileiro e da Universidade de Catania na Itália, usando marcadores SSR para estabelecer a variabilidade genética entre os genótipos, Las Casas et al. (2017) observaram que 19 dos 23 genótipos brasileiros do gênero *Opuntia* e *Nopalea* não apresentaram espinhos em seus cladódios.

Cavalcante et al. (2008) consideram que a palma forrageira Orelha de Elefante Africana é um clone rústico, menos exigente em fertilidade do solo e resistente à cochonilha do carmim, no entanto apresenta em seus cladódios espinhos. A presença de espinhos em palma forrageira pode comprometer a palatabilidade e dificultar seu manejo como planta forrageira (Marques et al., 2017).

2.2.2 Caracterização produtiva e bromatológica

A produtividade e a composição química bromatológica da palma forrageira apresenta grande variação entre as espécies e gêneros em virtude das alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente e das práticas de manejo que são realizadas durante seu cultivo.

Em condições de sequeiro, Dubeux Júnior et al. (2015) observaram que a palma forrageira teve produtividade de até 30 t de MS.ha⁻¹.ano⁻¹. Santos et al. (2013) observaram que a palma Orelha de Elefante Mexicana apresentou produtividade média de 15,9 t de MS.ha⁻¹, a Orelha de Elefante Africana de 5,70 t MS.ha⁻¹, F21 (*Nopalea* sp.) de 18,4 t MS.ha⁻¹, Miúda de 18,08 t MS.ha⁻¹, F8 (*Opuntia atropes* Rose) de 17,18 t MS.ha⁻¹ e IPA Sertânia, de 12,06 t MS.ha⁻¹, em dois anos de cultivos.

Em geral, a palma forrageira possui baixo teor de matéria seca (MS) (124 g. kg⁻¹ de matéria verde), proteína bruta (PB) (42,8 g. kg⁻¹ de MS) e fibra em detergente neutro (FDN) (260 g. kg⁻¹ MS), níveis elevados de carboidratos não fibrosos (CNF) (528 g. kg⁻¹ de MS) (OLIVEIRA et al., 2017; SIQUEIRA et al., 2017) e alta produção de energia metabolizável (55.434 Mcal.ha⁻¹) (FILHO et al., 2020).

A Orelha de Elefante Mexicana apresenta menor valor nutritivo, mas tem sido mais tolerante às condições de seca do que *N. cochenillifera* Salm-Dyck (SILVA et al., 2018; INÁCIO et al., 2020).

Alves et al. (2016) identificaram em diferentes espécies de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* níveis expressivos de carboidratos, substâncias glicosídicas e compostos fenólicos.

Para a *N. cochenillifera* Salm-Dyck, o aumento da densidade de plantio resultou em maior produtividade e redução da concentração da maioria dos minerais (N, P e K), exceto enxofre (S), nos cladódios, explicada pelo efeito de diluição (SOUZA et al., 2017).

A palma forrageira é conhecida por ser uma importante fonte de compostos bioativos, como polifenóis, carotenóides e minerais, e devido a uma ampla diversidade genética nos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* (ALVES et al., 2017).

O cultivo de palma forrageira é influenciado pelo ambiente e as práticas de manejo, tais como o espaçamento entre plantas, estação, manejo de colheita, fertilização, cultivares, método de armazenamento e preservação podem afetar o valor nutritivo e produtividade da palma forrageira (DUBEUX JR. et al., 2021).

2.2.3 Caracterização fitossanitária

Em relação ao ataque de pragas, duas espécies de cochonilhas são os principais problemas: a cochonilha de escamas (*Diaspis echinocacti* Bouché), um inseto da ordem Hemiptera e família Diaspididae, conhecida vulgarmente por escama, piolho ou mofo da palma, e a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), pertencente à ordem Hemiptera, família Dactylopiidae (SANTOS et al., 2011).

A ocorrência dessa praga tem promovido acentuada redução da produção de palma forrageira, principalmente nos estados da Paraíba e Pernambuco, onde predomina o cultivo da espécie *O. ficus indica* Mill. cultivares Gigante, Redonda e o clone IPA-20, que são suscetíveis a essa praga (VASCONCELOS et al., 2009). Dentre as variedades de palma identificadas como resistente à cochonilha do carmim, encontra-se a Miúda e Orelha de Elefante Mexicana (SANTOS et al., 2006). As variedades de palma forrageira Miúda, Orelha de Elefante Africana e a Orelha de Elefante Mexicana também foram identificadas por Lopes et al. (2010) como resistentes.

As principais doenças relatadas nos palmais são causadas por fungos e bactérias oportunistas. Estudo realizado por Pinheiro et al. (2020) em espécies de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, identificou na área de cultivo de palma forrageira os gêneros de fitonematoides *Meloidogyne*, *Mesocriconema*, *Rotylenchulus*, *Pratylenchus*, *Trichodorus*, *Psylenchus* e maior densidade populacional nematoides do gênero *Helicotylenchus*. Já Macedo et al. (2020), ao avaliarem a ocorrência de pragas, doenças e a taxa de mortalidade em nove genótipos de palma forrageira do gênero *Nopalea* destinadas para produção de forragem, identificaram que a doença de maior ocorrência, independente do genótipo avaliado, foi a mancha de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) (49.20%) e as doenças de menor ocorrência foram a resina (*Dothiorella ribis* Fuckel) (6.87%) e a podridão mole (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovorum* (Jones 1901)) (2.58%). A praga de única ocorrência foi a cochonilha de escamas (22.69%).

A ocorrência de pragas como a cochonilha do carmim e de escama e doenças em palma forrageira representa uma grande ameaça para o seu cultivo. Diante disso, a introdução e seleção de novos genótipos resistentes deve ser priorizada para evitar danos econômicos aos produtores.

2.2.4 Caracterização reprodutiva

Em espécies de palma forrageira do gênero *Opuntia*, as flores são grandes e quando maduras podem variar de 6 a 10 cm de comprimento, de cor laranja ou amarela, geralmente abrem e fecham no mesmo dia. Seu ovário é inferior, o que significa que o ovário ocorre abaixo das partes do perianto e os estames, o estilete pode ser curto e grosso ou longo e fino, o estigma está no ápice do estilo onde o pólen é depositado, e mostra um número variável de lóbulos de 3 a 24, com perianto variando de 50 a 70 mm de diâmetro (PIMIENTA-BARRIOS e DEL CASTILLO, 2017).

A fruta é doce, succulenta, comestível, com 5 a 10 cm de comprimento e 4 a 8 cm de largura, piriforme, com cor amarela, laranja, vermelha ou púrpura com muita polpa e uma casca fina. As sementes possuem formato obovaladas a discoide com 3 a 4 mm de diâmetro (SCHEINVAR, 2001). Pinkava (1992) menciona que espécies do gênero *Opuntia* podem ser diploides, triploide, tetraploide e octaploide. Suas espécies comumente apresentam poliploidia e taxonomia muito complexa, com seus fenótipos, demonstrando elevada variabilidade, dependendo das condições ambientais prevalentes (POWELL e WEEDIN, 2001).

Em espécies do gênero *Nopalea*, as flores são 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).

As flores da palma forrageira são hermafroditas e florescem durante o dia. A maioria das flores se abre no fim da manhã, embora algumas abram à tarde. Como a maioria das gemas se desenvolve para frutas, a quantidade de frutas produzidas por uma planta é função da quantidade de cladódios férteis e da quantidade média de gemas florais, 50 por cladódio (PIMIENTA, 1993; NERD & MIZRAHII, 2010).

A palma forrageira é uma cultura de reprodução alógama, ou seja, realiza fertilização cruzada, podendo ser propagada por via sexuada. Reproduz-se assexuadamente ou sexualmente e existem vários híbridos interespecíficos (SAENZ, 2013). Contudo, o método assexuado de propagação clonal é o mecanismo mais difundido entre os produtores rurais (SANTOS et al., 2005). É importante, pois os cladódios carregam reservas de água e energia, permitindo resistir à seca prolongada (PIMIENTA-BARRIOS e DEL CASTILLO, 2017).

Assim, a palma forrageira possui como principal via de reprodução a vegetativa, dada a velocidade de estabelecimento, além das vantagens da multiplicação clonal. Porém, para fins de melhoramento genético, a via de reprodução por sementes torna-se de extrema importância, tendo em vista a diversidade genética que pode ocorrer nesse processo (GUEDES et al., 2009).

Os mecanismos reprodutivos são frequentemente controlados por fatores ambientais em palma forrageira, e diante disso algumas espécies podem exibir plasticidade fenotípica. Embora a reprodução assexuada possa ter muito sucesso, em algumas circunstâncias, a reprodução sexuada por combinação de cruzamento e endogamia se torna predominantes, também funciona como barreira genética, prevenindo ou reduzindo a hibridização e permitindo a produção de sementes quando da polinização externa não é confiável.

No entanto, essas formas de reprodução têm custos genéticos, como por exemplo, segregação de carga genética com cruzamento, depressão por endogamia com autofecundação e, provavelmente, reprodução de carga mutacional (PIMIENTA-BARRIOS e DEL CASTILLO, 2017).

2.3 Melhoramento da palma forrageira e diversidade genética

2.3.1 Melhoramento da palma forrageira

Em programas de melhoramento, a análise das respostas das plantas a diversos ambientes é importante para selecionar genótipos mais promissores, com características desejáveis. Os genótipos de palma forrageira apresentam comportamentos diferentes quanto à morfometria, produtividade, composição bromatológica, mecanismos reprodutivos e resistência a pragas e doenças.

No melhoramento genético da palma forrageira, a seleção é praticada em todas as etapas do programa, que envolve a seleção dos genitores, a escolha dos cruzamentos, a seleção na população de indivíduos oriundos dos cruzamentos realizados nas etapas seguintes com a seleção clonal. Nas fases finais do melhoramento, os clones são validados nos respectivos ambientes de produção, permitindo a identificação dos indivíduos que apresentam elevado valor genético (PAIXÃO, 2011).

Cruzamentos e autopolinizações controlados são frequentemente utilizados nos programas de melhoramento genético da palma. Essas ações são possíveis devido à manipulação floral. Os trabalhos de seleção da palma forrageira visam especificamente à busca do seguinte ideotipo: 1. planta com baixa presença de pelos e de espinhos; 2. planta resistente as cochonilhas do carmim e de escamas; 3. planta com pouco ou nenhum sintoma das principais doenças; 4. elevada produção de forragem; 5. baixa perda no estande e 6. qualidade da forragem similar as variedades atualmente cultivadas (LIRA, et al., 2006).

Com intuito de geração e propagação de novos clones, o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) têm gerado e selecionado genótipos para as condições do Semiárido nordestino, demandando assim, conhecimentos relacionados à sua reprodução de forma sexuada. O programa de melhoramento da palma forrageira lançou as cultivares predominantemente plantadas na região e vem alcançando incrementos produtivos ao longo dos anos (SANTOS et al., 2011).

Atualmente, a Estação Experimental do IPA em Arcoverde mantém um Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de palma forrageira constituído por genótipos dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, dos quais 50% são genótipos introduzidos e 50% gerados pelo IPA, com identificação das espécies *Opuntia ficus-indica* Mill, *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, *Opuntia stricta* Haw, *Opuntia undulata* Griffiths, *Opuntia robusta* JCWendl. ex Pfeif f., *Opuntia atropes* Rose., na condição *in vivo* (COSTA et al., 2021).

No melhoramento genético de plantas, o reconhecimento do sistema reprodutivo é a chave para alcançar os objetivos do programa de melhoramento. 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).

No entanto, um dos grandes entraves para a geração de novos clones de palma forrageira está relacionado a seu mecanismo reprodutivo e ao abortamento de frutos em cruzamentos controlado ou não, em virtude dessas espécies serem alógamas, mas também apresentarem autogamia e cleistogamia. Dessa forma, no melhoramento genético a coleta de frutos de polinização livre constitui um dos caminhos para que sejam obtidos novos genótipos e sementes oriundas desses frutos que são de interesse para o melhoramento genético, têm suas plantas clonadas e mantidas conservadas *in vivo* (COSTA et al., 2021).

Para Boyle e Anderson (2017), os sistemas de reprodução afetam significativamente a magnitude e distribuição da diversidade genética em espécies de palma forrageira. Considerando o estágio inicial do programa de melhoramento genético da palma forrageira, a utilização de métodos simples como a introdução e a seleção massal pode conduzir a obtenção de resultados satisfatórios, utilizando poucos recursos e em curto período (COSTA et al., 2021).

2.3.2 Diversidade genética

A diversidade genética em palma forrageira é limitada pelo número restrito de progenitores e a perda de variação genética que geralmente ocorre durante a domesticação da

cultura devido a eliminação de características indesejáveis, perda aleatória de alelos e mudanças nas frequências gênicas por causa da adaptação ao ambiente (BOYLE e ANDERSON, 2017).

A diversidade genética do BAG de palma do IPA, talvez seja, atualmente, a coleção com maior patrimônio genético do mundo (COSTA et al., 2021).

A palma forrageira é uma cultura perene, de colheita anual ou bienal, e em muitos casos, apesar de pertencentes ao mesmo gênero, quando conduzida em condições de sequeiro, ao longo do seu ciclo produtivo pode desenvolver diferentes respostas em função das alterações sazonais e interanuais ambientais. Essa plasticidade da palma forrageira deve-se a sua diversidade genética.

A quantificação da diversidade genética pode ser realizada por meio de características morfológicas, produtivas, fitossanitárias, moleculares, entre outros, permitindo identificar novos genótipos de palma forrageira de acordo com as principais características desejáveis importantes (produtividade, ausência de espinhos, resistência a pragas e doenças) para dar continuidade ao melhoramento da cultura.

Em estudo mais recente, a fim de avaliar a diversidade genética em genótipos de palma forrageira, Amani et al. (2019) utilizaram cerca de 63 características ao estudar a variabilidade morfológica de espécies de *Opuntia* em uma coleção *ex situ* na Tunísia.

Nefzaoui (2019) utilizando-se de descritores morfológicos da FAO CactusNet e oito marcadores moleculares pela técnica SSR, observou uma relação de $r = 0,4$ entre os caracteres morfológicos e as distâncias genéticas ao avaliar 300 acessos provenientes de um banco de germoplasma de palma forrageira.

Ao utilizarem 19 características quantitativas para estimar a diversidade genética com métodos uni e multivariados, Alves et al. (2016), observaram que as análises de variância e diversidade revelaram diferenças significativas entre sete genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, com a possível formação de três ou quatro grupos geneticamente distintos em virtude da divergência genética.

Ao estimar a divergência genética entre onze genótipos de palma forrageira por meio da caracterização morfológica em propagação *in vitro* e relacioná-la à caracterização molecular, Rocha et al. (2020) identificaram similaridade morfológica entre pares de genótipos de diferentes gêneros e espécies, sendo possível diferenciar genótipos, discriminando aqueles considerados morfológicamente semelhantes.

Todavia, ainda são escassos estudos de diversidade genética com palma forrageira que possam contribuir para o melhoramento genético e desenvolvimento de cultivares mais

produtivas, com maior adaptação às distintas condições ambientais e mais resistentes a pragas e doenças.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. A. L. et al. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.

ALVES, F. A. L., et al. Seasonal variability of phenolic compounds and antioxidant activity in prickly pear cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* genres. **Food Science and Technology**. v. 37, p. 536-543, 2017.

AMORIM, P. L. et al. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230–238. 2015.

AMANI, E. et al. Morphological variability of prickly pear cultivars (*Opuntia* spp.) established in ex-situ collection in Tunisia. **Scientia Horticulturae**, p.163–175, 2019.

ANDREU-COLL, L. et al. Economic estimation of cactus pear production and its feasibility in Spain. **Trends in Food Science and Technology**, v.103, p.379–385. 2020

ARBA, M. et al. Biology, flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp.: A review and some observations on three varieties in Morocco. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.60, p.1–11, 2017.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, n.1, p.127-134. 2018.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013. 523 p.

BOYLE, T. H.; ANDERSON, E. F. Biodiversity and Conservation. In: NOBEL, P. S. (org.). **Cacti: biology and uses**, London: University of California Press, Ltd, 2017. p. 125-140.

BRITTON, N.L.; E ROSE, J. N.; **The Cactaceae**: descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Washington: Courier Corporation, 1963. p. 321.

CARDOSO, D. B. et al. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, p. 23–31. 2019.

CAVALCANTI, M. C. A. et al. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) e palma orelha de elefante (*Opuntia* sp). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 30, n. 2, p. 173- 179, 2008.

CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.4, p.424–433. 2014.

COSTA, A. F. et al. Conservação e uso de germoplasma dos BAG do Instituto Agronômico de Pernambuco: forrageiras e fruteiras nativas/exóticas. **Revista de Recursos Genéticos**, v. 7, n. 1, 2021.

CRUZ, B. A. et al. Cultivation of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. under different soil management practices: A possible sustainable agricultural system to promote soil carbon sequestration and increase soil microbial biomass and activity. **Land Degradation & Development**, v. 29, n.1, p.38- 46. 2018.

DANTAS, S. D., LIMA, G. D.; DA MOTA, E. P. Economic feasibility of irrigated forage cactus in narrow rows in the potiguar semiarid. **Revista iPecege**, v.3, n.1, p.59-74. 2017.

DUBEUX, J. C. B. et al. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae**, p. 181-186, 2015

DUBEUX, J. C. B. et al. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review: **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, 114890, 2021.

EDVAN, R. L. et al. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10 n. 1, p. 1-10, 2020.

GALVÃO JÚNIOR, J. G. et al. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, p. 78-85, 2014.

GUEDES, R. S. et al. Germinação e vigor de sementes de *Opuntia ficus-indica* Mill. após tratamentos para superar a dormência. **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.20-26, 2009.

HARTZELL, S., BARTLETT, M. S.; PORPORATO, A. Unified representation of the C₃, C₄, and CAM photosynthetic pathways with the Photo3 model. **Ecological Modelling**, v.384, p.173-187, 2018.

INÁCIO, J. G. et al. Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. v. 33, p. 35–43, 2020.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 1–11, 2021a.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 38, p. 1-12, 2021.

LÁS CASAS, G. et al. Genetic diversity in opuntia spp. Cultivated for forage production. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 19 n.1, p.1–10, 2017

LÉDO, A. A. et al. Yield and water use efficiency of cowpea under water deficit do feijão-caupi **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p.119–125. 2019.

LIGUORI, G. et al. Effect of addition of *Opuntia ficus-indica* mucilage on the biological leavening, physical, nutritional, antioxidant and sensory aspects of bread. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 129, n. 2, p. 184-191, 2020.

LIMA, G. F. D. C. et al. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 481–488, 2016.

LIM, T. K. *Nopalea cochenillifera*. In: _____. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Netherlands: Springer, 2012. p . 656-659.

LINS, S. E. B. et al. Spineless cactus as a replacement for wheat bran in sugar canebased diets for sheep: intake, digestibility, and ruminal parameters. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 1, p. 26-31, 2016.

LIRA, M. A. et al. Genética e melhoramento da palma forrageira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALMA E OUTRAS CACTÁCEAS, 2, 2011. **Anais**. Garanhuns: UFRPE, 2011.

LIRA, M. A. et al. Meio século de pesquisa com a palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*): ênfase em manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 16, 2006. **Anais**. Recife: ABZ, 2006.

LOPES, E. B. et al. 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**, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.

MACEDO, A. J. S. et al. The cactus pear culture, origin, introduction, expansion, utilities and future perspectives: Literature Review. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967-62987, 2020.

MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MUDGAL, V.; MEHTA, M. K.; RANE, A. S. Lentil straw (*Lens culinaris*): an alternative and nutritious feed resource for kids. **Animal Nutrition**. v.4, p. 417–421, 2018.

PEREIRA, P. D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28 n. 3, p. 184–195, 2015.

NEFZAOU, M. et al. Assessment of genetic diversity of Brazilian and Mediterranean cactus cultivars by SSR markers and morphological traits. **Acta Horticulturae**, v. 1247, p. 171-182., 2019.

NERD, A.; MIZRAHI, Y. Reproductive biology of cactus fruit crops. **Horticultural Reviews**, v. 18, p. 321-346, 2010.

OCHOA, O. G. et al. Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus interval. **Tropical Animal Health and Production**, v.49, p.1025–1033, 2017.

OLIVEIRA, J. P. F.; et al. Spineless cactus as a replacement for sugarcane in the diets of finishing lambs. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, n. 1, p. 139-144, 2017.

PAIXÃO, S. L. et al. Estimativas de parâmetros genéticos em clones de palma forrageira no município de São Bento do Una. **Revista Científica Produção Animal**, v. 13, n. 1, p. 28-32, 2011.

PIMENTA, B. E.; BARBERA, G.; INGLESE, P. Cactus pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) International Network: An effort for productivity and environmental conservation for arid and semiarid lands. **Cactus and Succulent Journal**. v. 65, p. 225-229. 1993.

PIMIEN-TA-BARRIOS E.; DEL CASTILLO R. F. Reproductive Biology. In NOBEL, P. S. (org.). **Cacti: biology and uses**, London: University of California Press, Ltd, p. 75-90. 2017.

PINKAVA, D. J. et al. Chromosome numbers in some cacti of western north america -vi- with nomenclatural changes. **Madroño**, v. 39, p. 08-113. 1992.

PINHEIRO, F. F. et al. Nematoids associated with fodder palm culture. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p.69576-69590, 2020.

POWELL, A. M.; WEEDIN, J. F. Chromosome numbers in Chihuahuan Desert Cactaceae. III. Trans Pecos Texas. **American Journal of Botany**, v. 88, p. 481-485, 2001.

PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; BRITO L. T. L. Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas. In: MEDEIROS, S. S. et al. (Org.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido-INSA, 2011. p.59-85.

REZENDE, F. M. et al. Nutritional effects of using cactus cladodes (*Opuntia stricta* Haw) to replace sorghum silage in sheep diet. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 1875-1880, 2020.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Arquivo de Zootecnia**. v. 66, n. 255, p. 363-371, 2017.

ROCHA FILHO, R. R. et al. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland áreas? **Journal of Arid Environments**, v. 186, 104426, 2020.

ROCHA, S. S. et al. Congruence between morphological and molecular markers for genetic diversity analysis applied to forage palm genotypes propagated via bioreactors. **Industrial Crops and Products**, v. 147, 112230, 2020.

SÁENZ, C. *Opuntias* as a natural resource. In: _____ **Agro-industrial utilization of cactus pear**. Rome: FAO, 2013. p. 1-5.

SAMAH, S. et al. Genetic diversity, genotype discrimination, and population structure of mexican *Opuntia* sp., determined by ssr markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 34, n.1, p.146–159, 2016.

SANTOS, D. C. et al. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. **Documentos**, 30).

SANTOS, D. C. et al. Genótipos de palma forrageira para áreas atacadas pela cochonilha do carmim no sertão pernambucano. CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 21, 2011 Búzios. **Anais**. Búzios: CBMP, 2011.

SANTOS, D. C. et al. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, p. 111–121, 2013.

SALEHI, E. et al. *Opuntia ficus indica* fruit gum: extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 206, p. 565-572, 2019.

SCHEINVAR, L. Taxonomia das Opuntias utilizadas. In: INGLESE, P.; BARBERA, G.; PIMIENTA BARRIOS, E. (Org.) **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p.20-27.

SCHEINVAR, L. Usos e importância das Cactáceas. In: WORKSHOP SOBRE A PALMA FORRAGEIRA: USOS E PERSPECTIVAS PARA O SEMIÁRIDO, 1, 2012, Feira de Santana. **Anais**. Feira de Santana, 2012. p.151.

SILVA, N. G. M. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma- forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SILVA, R. C. et al. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. **South African Journal of Animal Science**, v. 48, p. 516–525, 2018.

SIQUEIRA, M. C. B. et al. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. **Animal Feed Science and Technology**. v. 226, p. 56- 64, 2017.

SOUZA, T. C. et al. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 555-560, 2017.

SOUZA, J. S. R. **Produção e composição do leite de cabras saanen alimentadas com diferentes carboidratos associados à ureia**. 2019. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistente à cochonilha do carmim (*Dactylopius sp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

VILELA, R. C. F. et al. Reproductive system and genetic diversity of four species of *Myrciaria* (Myrtaceae, jaboticabeiras). **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 727-734, 2012.

VOLPE, M., GOLDFARB, J. L., FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, n. 1, p. 310-318, 2018.

CAPÍTULO I

Fenologia floral, visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

Fenologia floral, visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

RESUMO

Apesar dos diversos estudos a respeito do cultivo da palma forrageira, há poucos estudos sobre a biologia floral e polinizadores nessa cultura. O conhecimento sobre as características florais, polinização, morfologia e funcionalidade floral pode ser muito importante para programas de melhoramento genético da planta. Portanto, objetivou-se estudar sobre a fenologia floral, visitantes florais e polinizadores em espécies de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). O trabalho foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), em Arcoverde-PE, entre abril de 2019 a outubro de 2020. Foram avaliadas a fenologia floral, visitação floral e polinizadores em cinco genótipos de palma forrageira. As avaliações de fenologia floral ocorreram em cinco plantas de cada genótipo. Em cada planta foram selecionados em média 20 botões, totalizando 100 botões florais para cada genótipo. O comportamento dos visitantes florais foi registrado em campo através de observações visuais a campo e por meio de fotografias, totalizando 160 horas de observações diurnas, distribuídas em 32 h por cinco dias para cada genótipo, durante a antese. Os dados de fenologia floral e visitação florais foram analisados por meio de estatística descritiva, com a média seguida do desvio padrão (média \pm desvio padrão). Observou-se que o número médio de dias para antese variou de 21 a 25 dias no primeiro ano de avaliação e 21 a 24 dias no segundo ano, apresentando diâmetro e altura média de botões florais de 22 a 24 mm e 4,6 a 6,6 cm em 2019, e 22 a 24 mm e 4,9 a 6,2 cm em 2020, respectivamente. A quantidade de botões florais variou conforme período de floração dos genótipos com valores de 122 a 316 botões florais, sendo maior entre os meses de julho a setembro, período de menores precipitações pluviais, temperaturas do ar menores e aumento gradativo do brilho solar. Os visitantes mais frequentes foram as espécies *Apis melífera* (37,43%), seguido da família *Formicidae* (31,61%) e da espécie *Bombus atratus* (13,80%). O conhecimento dos aspectos florais dos genótipos estudados subsidiará os métodos de melhoramento da palma forrageira, notadamente as hibridações.

Palavras-chave: antese, *Apis melífera*, botões florais, floração.

Floral phenology, visitors and pollinators of forage cactus (*Opuntia* and *Nopalea*)

ABSTRACT

Despite the many studies about the forage cactus cropping (*Opuntia* and *Nopalea*), there are few ones regarding the floral biology and pollinators of this species. Knowledge about the floral characteristics, pollination, flower morphology and functionality can be very important for the forage cactus breeding programs. Therefore, this study aimed to evaluate the floral phenology, visitors, and pollinators of forage cactus species. The experiment was carried out at the Experimental Station from the Agronomic Institute of Pernambuco, located at Arcoverde, Pernambuco. The study was divided into two studies in a four-year trial. In the first one (from April 2019 to October 2020), floral phenology, visitors, and pollinators were assessed in five forage cactus genotypes. Floral phenology was evaluated in five plants per genotype, and 20 floral buds from each plant were selected, totalizing 100 buds for each genotype. The behavior of floral visitors was recorded in the field through visual observations and photography, comprehending 160 hours of daytime observation, splitted into 32 hours per five days for each genotype, during the anthesis. Data from the floral phenology and visitors were analyzed through descriptive statistical, with the mean followed by the standard deviation (mean \pm standard deviation). The average number of days until anthesis varied from 21 to 25 in the first evaluation year, and from 21 to 24 in the second one. Floral buds' diameter varied from 22 to 24 mm in 2019 and 2020, besides their average height varied from 4.6 to 6.6 cm in 2019. Moreover, the floral buds had an average height varying from 4.9 and 6.2 in 2020. The number of floral buds changed according to the flowering period of the genotypes, with values from 122 to 316 buds and a greater number between July and September, periods that the rainfall and air temperature are lower, and there is a graduate increase of the solar radiation. The most frequent visitors were the species *Apis mellifera* (37.43%), insects from the *Formicidae* family (31.61%) and the *Bombus atratus* (13.80%). The knowledge about the genotypes' floral aspects will support the breeding methods applied in the forage cactus, mainly the hybridizations.

Keywords: anthesis, *Apis mellifera*, floral buds, flowering.

1. INTRODUÇÃO

No semiárido brasileiro, onde ocorrem grande irregularidade de chuvas, a palma forrageira é uma planta adaptada ao déficit hídrico, devido sua alta eficiência no uso da água, além de manter seu valor nutritivo ao longo do ano. Plantas forrageiras adaptadas capazes de prosperar em terras semiáridas podem contribuir significativamente nos próximos anos, fornecendo forragem para aumentar a alimentação animal (MUDGAL et al., 2018).

A palma forrageira possui frutas e cladódios que podem ser usados como fontes de nutrientes e fitoquímicos (SALEHI et al., 2019; LIGUORIT al., 2020), pode ser usada como biocombustível (BAYAR et al., 2018), medicamentos (BOUHRIM et al., 2021) e tratamento de água (VOLPE et al., 2018; KADDA et al., 2021), assim como auxilia na manutenção e biodiversidade de polinizadores (ARBA et al., 2017).

Mandujano et al. (2010) afirmam que 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.

A fenologia floral é o estudo dos fenômenos biológicos acomodados em uma determinada taxa periódica, como brotamento, floração e maturação das frutas e que se relacionam com o clima da localidade em que ocorrem (RAMÍREZ-BULLÓN et al., 2014), e por ser um evento crucial no ciclo de vida das plantas as condições favoráveis são necessárias para maximizar a reprodução, e, portanto, a sobrevivência das espécies em seu ambiente natural (CAPOVILLA et al., 2015).

Alguns estudos feitos anteriormente avaliaram os padrões fenológicos, características florais e sistemas reprodutivos associados ao ambiente em que vivem e à fauna polinizadora, como de *Opuntia polyacantha* Haw. e *Opuntia phaeacantha* Engelm. (OSBORN et al., 1988), *Opuntia imbricata* (Haw.) DC. (MCFARLAND et al., 1989), *Opuntia brunneogemma* (F. Ritter) C. Schlindwein e *Opuntia viridirubra* (F. Ritter) P. J. Braun & Esteves. (SCHLINDWEIN & WITTMANN, 1997) e *Opuntia spinosissima* Mill. (NEGRÓN-ORTIZ, 1998).

No entanto, o conhecimento sobre os aspectos florais de cultivares de palma forrageira de interesse econômico para alimentação animal são escassos e merecem atenção em virtude de serem mais difundidos entres os produtores em diversas regiões do semiárido nordestino. Dentre as espécies de palma forrageira, as dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* são as mais

cultivadas e merecem destaque, por obterem resultados satisfatórios quanto a produtividade e serem resistentes a pragas e doenças, as cultivares Orelha de Elefante Mexicana, a Miúda e IPA Sertânia.

A floração da palma forrageira não é sincronizada e as fases fenológicas se sobrepõem, com o início da formação do botão floral começando bem antes do final da emissão de ambos os botões vegetativos e florais. A maturação dos frutos também pode começar pouco antes do fim da floração (PIMIENTA-BARRIOS; DEL CASTILLO 2017; REYES-AGUERO et al., 2006; SEGANTINI et al., 2010).

O conhecimento sobre os aspectos florais é importante para a compreensão das interações planta-inseto e sua conservação no contexto do emergente relacionado às questões de mudança climática, crise de polinizadores e perda de biodiversidade (VANBERGEN 2013).

A interação entre flores e polinizadores é uma das mais importantes associações bióticas, pois não só garante a sobrevivência a longo prazo de ambas as espécies participantes (planta com flor e o polinizador), mas em última análise, a sobrevivência de quase todas as espécies terrestres de animais, incluindo a *Homo sapiens* L., fortemente dependente dos alimentos oriundos das polinizações (JANEBA, 2009).

O conhecimento sobre os aspectos florais em genótipos de palma forrageira pode ser muito importante para programas de melhoramento genético para fins de cruzamento dentro de flores hermafroditas e entre indivíduos em uma população.

Apesar dos diversos estudos a respeito do cultivo da palma forrageira, há poucos estudos sobre a biologia floral e polinizadores nessa cultura. Portanto, objetivou-se estudar sobre a fenologia floral, visitantes florais e polinizadores em espécies de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agonômico de Pernambuco (IPA), no município de Arcoverde-PE (8°25' S; 37°05' W), microrregião do sertão do Moxotó, numa altitude 680,70 m, temperatura média do ar anual de 23,9 °C, e precipitação pluvial média anual de 731 mm (INMET, 2019). O período do estudo foi de abril de 2019 a outubro de 2020.

Cinco genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), com sete anos de cultivo e com espaçamento de plantio de 2 m x 2 m, foram avaliados quanto a fenologia floral, visitação floral e polinizadores (Tabela 1). Estes foram selecionados entre 17 genótipos de palma forrageira

dispostos no Banco Ativo de Germoplasma do IPA (BAG) em virtude do aparecimento de botões florais conforme o período de avaliação.

2.1 Determinação da fenologia floral

As avaliações de fenologia floral ocorreram em cinco plantas de cada genótipo e ocorreram de acordo com o período de aparecimento de botões florais para cada genótipo, sendo estas feitas em meses diferentes, de acordo com o mês de florescimento.

Em cada planta foram selecionados em média 20 botões, totalizando 100 botões florais para cada genótipo, para mensurar a quantidade de dias até a antese. O início dessa contabilização ocorreu quando os botões possuíam até dois centímetros de altura (eixo longitudinal).

Após identificação, foram realizadas mensurações quinzenalmente do diâmetro (eixo transversal) e altura do botão floral, que prosseguiram até a abertura da flor. Para mensurar o diâmetro utilizou-se paquímetro digital e para altura, uma régua graduada de 30 cm. Mensalmente, a contar do início da coleta de dados (abril de 2019) até o término do estudo (outubro de 2020), foi contabilizado o número de novos botões florais por genótipo, número de flores abertas e turno de abertura da flor.

O número mensal de botões florais foi relacionado com as médias mensais das variáveis meteorológicas precipitação pluvial (mm), temperatura do ar (°C) e fotoperíodo. As informações referentes aos dados meteorológicos foram obtidas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Tabela 1. Genótipos de palma forrageira, dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, utilizadas durante o período experimental, Arcoverde-PE, Brasil.

Genótipos	Espécie	Nome vulgar
IPA-200174	<i>Opuntia undulata</i> (Griffiths)	Orelha de Elefante Africana
IPA-200021	<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck	F21
IPA-200008	<i>Opuntia atropes</i> Rose	F8
IPA-100004	<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck	Miúda
IPA-200205	<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck	IPA Sertânia

2.2 Determinação de visitantes florais e polinizadores

O comportamento dos visitantes florais foi registrado em campo através de observações visuais a campo e por meio de fotografias, totalizando 160 horas de observações diurnas,

distribuídas em 32 h por cinco dias para cada genótipo, durante a antese. Os horários de avaliação ocorreram das 7:00 h às 17:00 h, onde foi identificado o visitante, número de flores visitadas, número de flores disponíveis, frequência das visitas durante o dia e o tempo que os insetos permaneciam nas flores. A identificação do visitante foi realizada por registro direto e fotografias. O número de flores visitadas e disponíveis, pela contagem direta no momento da visitação. A frequência dos visitantes florais foi estimada através da contagem direta das visitas diurnas e o tempo de visitação, com auxílio de cronômetro digital.

Os visitantes foram classificados como: 1) polinizador principal, aquele que conseguia contactar as estruturas reprodutivas, que mostrou-se bastante frequente em suas visitas (> 10 visitas horas⁻¹) e que apresentava grãos de pólen, sendo considerado, portanto, o polinizador mais efetivo; 2) polinizador secundário, aquele que contactava as estruturas reprodutivas, porém menos frequente (< 10 visitas horas⁻¹) e que apresentava ou não grãos de pólen; ou 3) pilhador, aquele visitante que não contactava as estruturas reprodutivas e roubava o recurso floral, de acordo com a classificação de Inouye (1980) adaptada para palma forrageira.

2.4 Análises estatísticas

Os dados de fenologia floral e visitação florais foram analisados por meio de estatística descritiva, com a média seguida do desvio padrão (média \pm desvio padrão). Todas as análises foram realizadas utilizando o software RStudio, versão 1.4.1717 (RSTUDIO TEAM, 2020).

Foi realizada análise de correlação entre as características avaliadas e as variáveis meteorológicas por meio do aplicativo Genes - Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2016).

Para estudar a relação entre as características florais e variáveis meteorológicas com os genótipos, foi realizada análise de componentes principais baseada na matriz de correlação de Pearson por meio do software RStudio, versão 1.4.1717 (RSTUDIO TEAM, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fenologia Floral

Os genótipos de palma forrageira se mostraram estáveis quanto ao número médio de dias para antese, variando de 21 a 25 dias no primeiro ano de avaliação e de 21 a 24 dias no segundo ano. Apresentaram diâmetro e altura média de botões florais variando de 22 a 24 mm e de 4,6 a 6,6 cm em 2019 e de 22 a 24 mm e de 4,9 a 6,2 cm em 2020 (Tabela 2).

Em relação ao período preferencial de antese, os genótipos F21, Miúda, IPA Sertânia e Orelha de Elefante Africana (OEA) iniciaram a abertura floral preferencialmente no período matutino para os dois anos de avaliação, entre 7:30 a 11:30 horas, enquanto o genótipo F8 no primeiro ano iniciou a abertura no período vespertino, entre 12:00 as 15:00 horas e para o segundo ano iniciou a abertura no período matutino, entre 8:00 as 11:00 horas. A antese das flores é diurna e sua duração é de apenas um dia.

Ao estudar a fenologia floral e frutificação de três variedades de palma forrageira no Marrocos, Arba et al. (2017) constataram que o período que antecede a antese foi diferente de uma variedade para outra, com duração de 15 a 23 dias, e que as flores de palma forrageira são comumente diurnas e a antese começa no início da manhã após o nascer do sol.

Reyes-Agüero et al. (2006) constataram que o período requerido para abertura do botão floral de palma forrageira dura em média de 20 a 40 dias. A avaliação sobre fenologia floral de genótipos de palma forrageira nesse estudo entra em concordância com os resultados validados anteriormente. Isto pode significar que os genótipos de palma forrageira, apesar de serem de espécie e gênero diferentes, se assemelham entre si quanto a duração de dias que antecede a antese.

A longevidade média das flores dos genótipos de palma forrageira nesse estudo é de aproximadamente 8 h, podendo variar conforme a duração de luz solar. As flores iniciam sua abertura por volta das 7:30 h e começam o processo de fechamento próximo das 16:00 h, fechando-se totalmente por volta das 17:00 h.

Os genótipos do gênero *Nopalea* possuem características semelhantes quanto ao período preferencial da antese, cor da flor e mês de surgimento de botões florais, assim como para os genótipos do gênero *Opuntia*. Esses indicadores são importantes para se planejar em qual estação do ano deve-se utilizar cruzamentos e autopolinizações no programa de melhoramento genético da palma forrageira para esses genótipos permitindo ao melhorista tomar decisões para evitá-los ou explorá-los.

Tabela 2. Fenologia floral de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), Arcoverde-PE, 2019-2020.

2019						
Genótipos	DPA	DB (mm)	AB (cm)	PDA	Cor da Flor	SBF
F21	25,7±2,59	24,8±2,49	5,7±1,22	Matutino	Vermelho	Julho
F8	25,0±1,80	24,2±1,85	4,6±1,04	Vespertino	Amarela	Agosto
Miúda	22,9±1,73	22,3±1,75	6,6±1,23	Matutino	Vermelho	Julho
IPA Sertânea	25,1±1,61	24,9±1,56	6,4±1,01	Matutino	Alaranjado	Julho
OEA	21,7±1,77	22,5±2,65	5,2±1,39	Matutino	Amarela	Novembro
2020						
F21	24,1±2,04	23,1±2,6	6,2±1,50	Matutino	Vermelho	Julho
F8	23,6±2,60	23,5±1,98	4,9±1,09	Matutino	Amarela	Julho
Miúda	22,7±2,04	22,4±1,43	6,9±1,52	Matutino	Vermelho	Julho
IPA Sertânea	24,5±1,37	24,7±1,73	5,9±1,03	Matutino	Alaranjado	Agosto
OEA	21,0±1,77	22,5±1,44	6,1±1,95	Matutino	Amarela	Outubro

Médias seguidas de desvio padrão.

DPA: Dias para antese, DB: diâmetro de botões florais, AB: altura de botões florais, PDA: período preferencial da antese, SBF: Surgimento de botões florais.

A quantidade de botões florais variou conforme período de floração dos genótipos. O genótipo F21 emitiu botões por mais tempo (maio a dezembro, em 2019 e 2020). A quantidade de botões florais foi maior nos meses de julho e agosto, para os genótipos F21, F8, IPA Sertânia e Miúda, com média de 122 a 316 botões florais (Figura 1). Para o genótipo OEA a quantidade de botões florais foi maior quando se observa ausência de precipitações, sendo uma característica intrínseca do próprio genótipo.

A ocorrência de precipitação pluvial em meses anteriores e durante os meses de avaliações provavelmente promoveu maior desenvolvimento de botões florais entre os genótipos (Figura 1), fato que está de acordo com a correlação positiva entre precipitação pluvial e número de botões florais e quantidades de dias para antese. (Tabela 3).

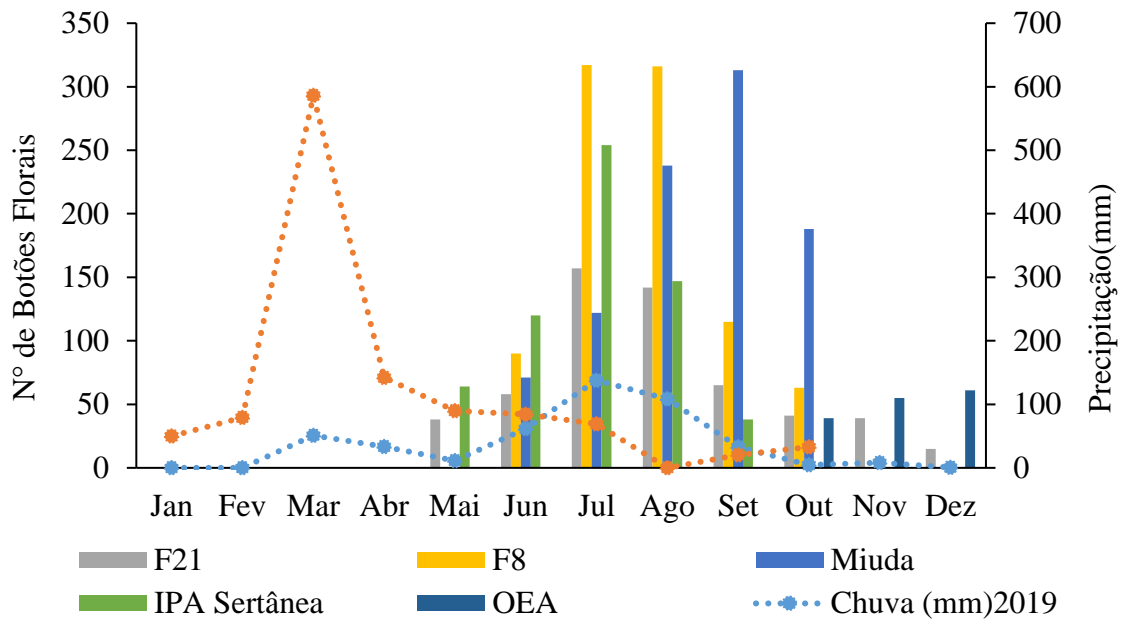


Figura 1. Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado a precipitação mensal nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE. Dados meteorológicos: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

No que se refere a umidade relativa do ar, a quantidade de botões foi maior para todos os genótipos quando a umidade relativa atingia 50% (Figura 2), fato que está de acordo com a correlação positiva entre a umidade relativa do ar para todas as características florais avaliadas. (Tabela 3).

Quando elevada, a umidade relativa do ar favorece o aumento de vapor de água na atmosfera, resultando em uma menor taxa de transpiração pelas plantas, o que por sua vez favorece a absorção de CO₂, aumentando a dinâmica de aparecimento de cladódios e produtividade da cultura (BARBOSA et al., 2018).

O aparecimento de novos cladódios pode condicionar o surgimento de botões florais. Nesse estudo observou-se que os cladódios que estavam localizados na região mediana apical e apical da planta e que geralmente são cladódios mais novos, posicionados nas partes mais altas da planta, mais expostos à luz solar e umidade relativa do ar emitiram um maior número de botões florais, mesmo sem a quantificação desse número por ordem de cladódios. Ainda não se tem estudos avaliando os efeitos da umidade relativa quanto o aparecimento e quantidades de botões florais em palma forrageira.

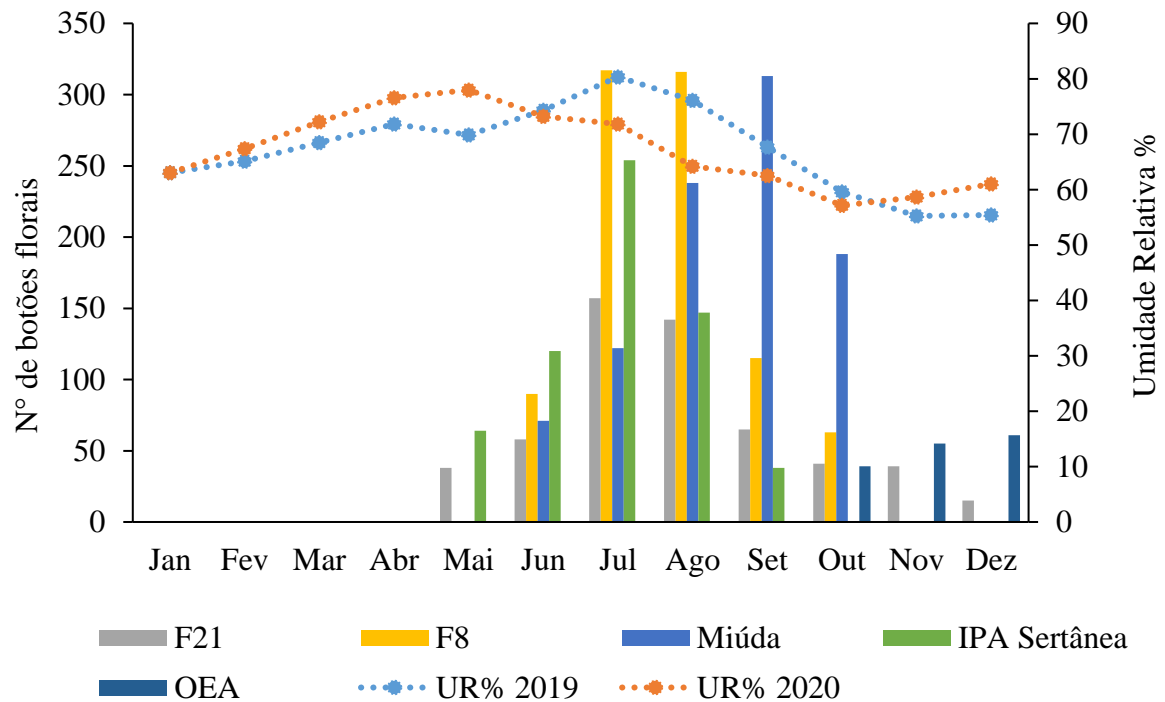


Figura 2. Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado a Umidade relativa mensal do ar nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE.

Dados meteorológicos: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

O fotoperíodo oscilou entre 11 h e 15 min, no dia mais curto, e 12 h e 41 min, no dia mais longo. A partir de junho observa-se aumento mensal na quantidade de botões florais dos genótipos de palma forrageira, se estendendo até dezembro, período também que se observa um aumento nas horas de luz (Figura 3).

O aumento gradativo do fotoperíodo pode ser relacionado ao início do processo de florescimento desses botões florais para todos os genótipos. Vale ressaltar que há correlação positiva para a quantidade de dias para antese, número de botões florais e flores abertas disponíveis (Tabela 3). A luz é uma condição abiótica que está relacionada ao florescimento de muitas espécies, onde a duração dos dias e a qualidade da luz são um fator estimulante para a sazonalidade da floração (SAMS et al. 2016).

Pastoriza (2016), ao adquirir informações sobre o florescimento e a fenologia floral de clones de palma forrageira do gênero *Opuntia*, relatou que o aumento mensal e gradativo de novos botões florais esteve relacionado com o aumento do fotoperíodo. Apesar dos estudos

terem sido realizados com genótipos diferentes, fica evidenciado que o fotoperíodo influencia na quantidade de botões florais de palma forrageira.

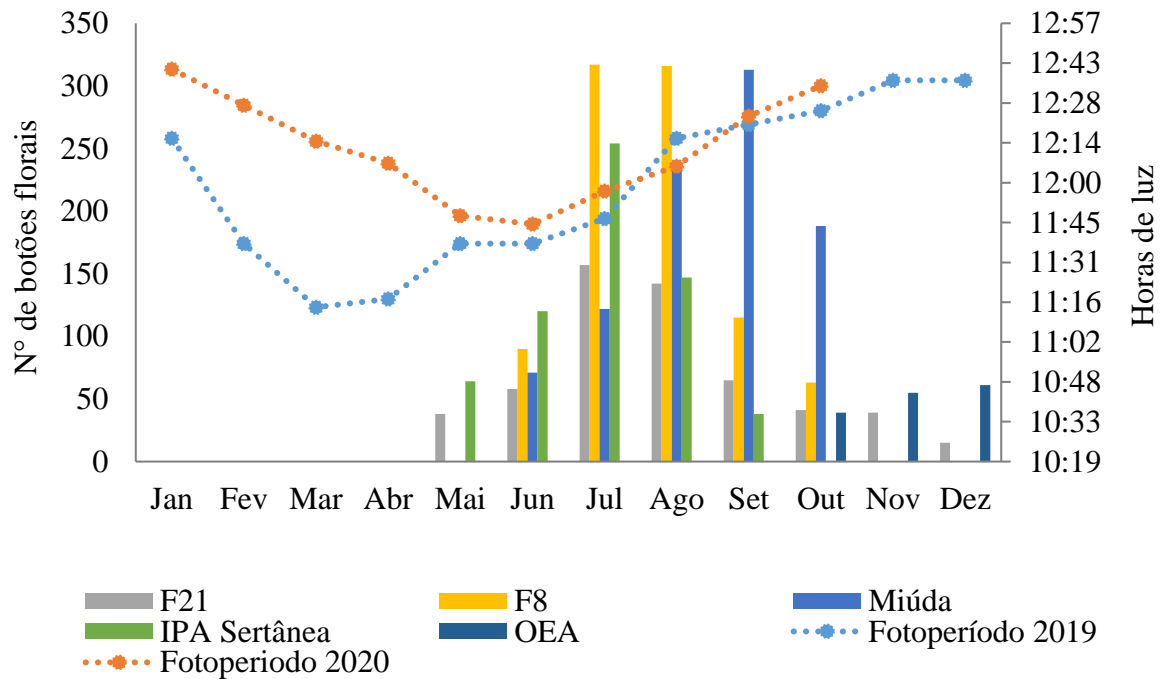


Figura 3. Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado ao fotoperíodo nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE. Dados meteorológicos: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

Nos meses de junho a agosto, período que se observa menores temperaturas médias do ar, a quantidade de botões florais foi maior para os genótipos F21, Miúda, IPA Sertânea e F8. Com aumento gradativo da temperatura observa-se uma diminuição na quantidade desses botões, com exceção do genótipo OEA, que iniciou a emissão de botões florais em outubro e se estendeu até dezembro, período de maior temperatura (Figura 4).

O genótipo OEA é um material vegetal que pode ser selecionado em programas de melhoramento na utilização de técnicas de cruzamentos como progenitor para obtenção de novos genótipos diante das mudanças climáticas, sobretudo do aumento da temperatura.

A temperatura é um importante estímulo ambiental que contribui para a produção floral de muitas espécies de plantas (SEATON et al. 2015), mas, para esse estudo, não foi um fator determinante, pois o aumento da quantidade de botões florais foi variável para cada genótipo e esteve relacionado com o período de surgimento desses botões florais que variou conforme os

meses (Figura 4). Além disso, nenhuma característica floral apresentou correlação significativa com a temperatura média do ar (Tabela 3).

Em regiões subtropicais, botões florais de *Opuntia* começam a surgir quando a temperatura média do ar mensal excede 16°C em março ou abril no hemisfério norte e em setembro ou outubro no hemisfério sul (NERD e MIZRAHI, 1995). Pastoriza (2016) relata que o número de botões florais em clones de *Opuntia* aumentou após um período de precipitação pluvial e baixa temperatura do ar média mensal (19°C).

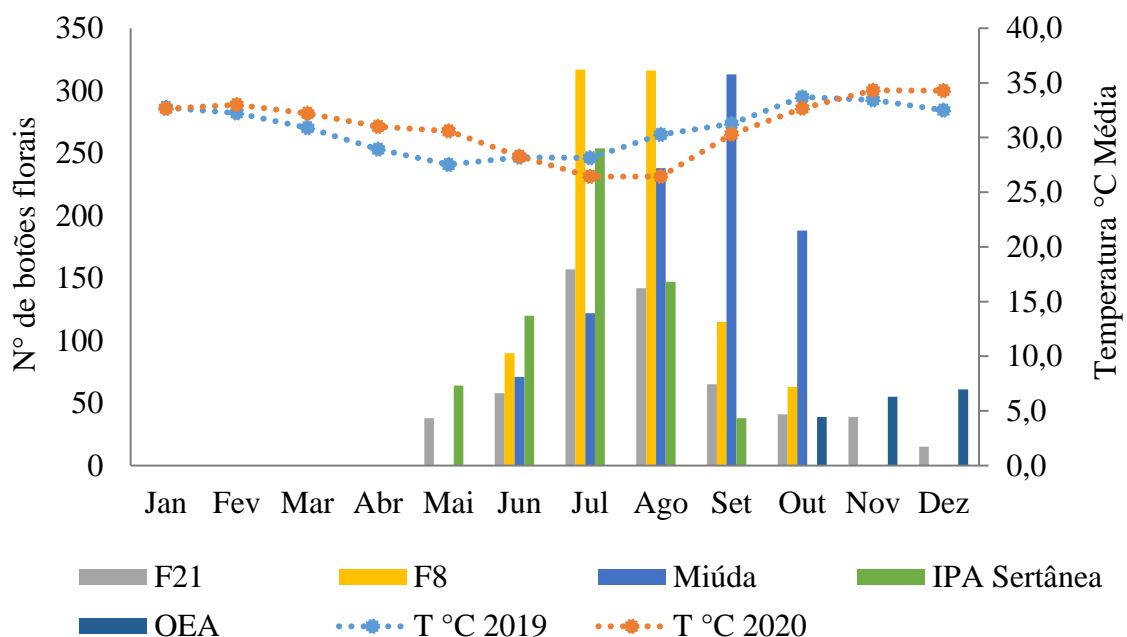


Figura 4- Número médio de botões florais por genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), relacionado a temperatura média mensal nos anos de 2019 e 2020, Arcoverde, PE. Dados meteorológicos: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

Os mecanismos reprodutivos são frequentemente controlados por fatores ambientais (precipitação, umidade, temperatura, e foto período) em palma forrageira e diante destas algumas espécies podem exibir plasticidade fenotípica. (PIMIENTA-BARRIOS e DEL CASTILLO, 2017).

Em programas de melhoramento de palma forrageira, o conhecimento sobre os fatores ambientais que influenciam na expressão do comportamento fenotípico dos genótipos é importante, pois pode-se explorar a interação entre o genótipo x ambiente e, com base nisso, definir estratégias de melhoramento para se obter e selecionar novos genótipos.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre as características florais e e variáveis meteorológicas em genótipos de palma forrageira.

Variáveis meteorológicas	DPA	DB	AB	NB	FD	FV	QV
Temperatura média do ar (°C)	-0,30	-0,24	0,24	-0,22	0,54	0,85*	0,18
Precipitação pluvial (mm)	0,47	0,28	0,37	0,66*	-0,14	-0,11	-0,10
Fotoperíodo	0,30	-0,24	0,24	0,22	0,54	0,85*	0,18
Umidade relativa	0,40	0,32	0,36	0,45	0,33	0,61	0,28

DPA: Dias para antese, DB: diâmetro de botões florais, AB: altura de botões florais, NB: número de botões florais, FD: flores disponíveis, FV: flores visitadas, QV: quantidade de visitas.

**, *Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A análise de componentes principais (PCA) foi usada para as características florais e meteorológicas (precipitação, temperatura e fotoperíodo), avaliadas nos genótipos de palma forrageira (Figura 4).

Os eixos 1 e 2 explicam 63,68% da variação dentre as características dos genótipos avaliados. A projeção dos genótipos nos eixos 1 e 2 discrimina aproximadamente três grupos de genótipos. O primeiro grupo formado pelos genótipos F21, F8 e IPA Sertânia, com maior influência dos variáveis dias para antese e diâmetro do botão floral. O segundo grupo formado somente pelo genótipo Miúda, com maior influência da temperatura e altura do botão floral e um terceiro grupo formado somente pelo genótipo OEA, com maior influência do fotoperíodo (Figura 4).

A ausência de correlação significativa das características florais com algumas variáveis meteorológicas (Tabela 3) tornou possível identificar baixa associação de variáveis, sendo mais evidenciado a depender do tipo do genótipo e pode estar relacionada com a tendência de que os fatores filogenéticos dos genótipos podem desencadear, fatores estes que devem ser investigados em estudos futuros.

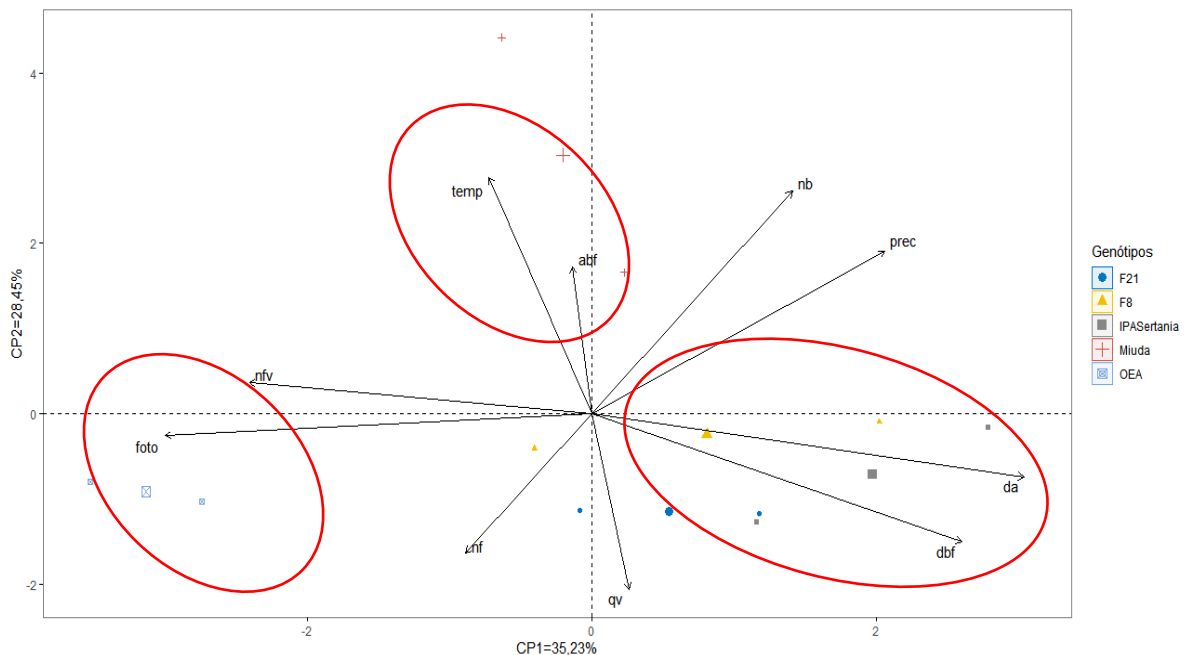


Figura 4. Projeção de genótipos de palma forrageira nos eixos 1 e 2 dos componentes principais (PC) obtidos com base nas características florais e variáveis ambientais.

DPA: Dias para antese, DBF: diâmetro de botões florais, AB: altura de botões florais, NB: número de botões florais, FD-flores disponíveis, NFV: Número de flores visitadas, QV- quantidade de visitas, T°C- temperatura do ar, PREP- precipitação e FOTO- fotoperíodo.

3.2 Visitação Floral e polinizadores

Os visitantes florais mais frequentes durante todo período de observação nos genótipos de palma forrageira foram a espécie *Apis melífera* (Linnaeus, 1758), com 37,43% das visitas, seguido de espécies da família *Formicidae* (31,61%) e da espécie *Bombus atratus* (13,80%) (Figura 4).

Os visitantes florais observados nesse estudo são de suma importância para validar os estudos anteriores e relacionar a interação desses genótipos com seus visitantes florais (Figura 5). Os principais trabalhos sobre a polinização de *Opuntia* foram feitos na região de origem do grupo e mostram que as flores são visitadas principalmente por abelhas (GRANT e HURD, 1978).

Em estudo realizado por Lenzi e Orth (2011), com o objetivo de verificar a diversidade de visitantes florais e os potenciais polinizadores de *O. monacantha* (Willd.), foi verificado que as flores dessa espécie são visitadas por poucas espécies de insetos, como abelhas, coleópteros e formigas. Embora as borboletas, beija-flor, formigas, besouros e pássaros sejam visitantes das flores do gênero *Opuntia*, as abelhas são as mais frequentes e os polinizadores mais prováveis.

Já para o gênero *Nopalea*, por sua vez, suas flores são adaptadas à polinização por pássaros, notadamente beija-flor (PIMIENTA-BARRIOS e DEL CASTILLO, 2017).

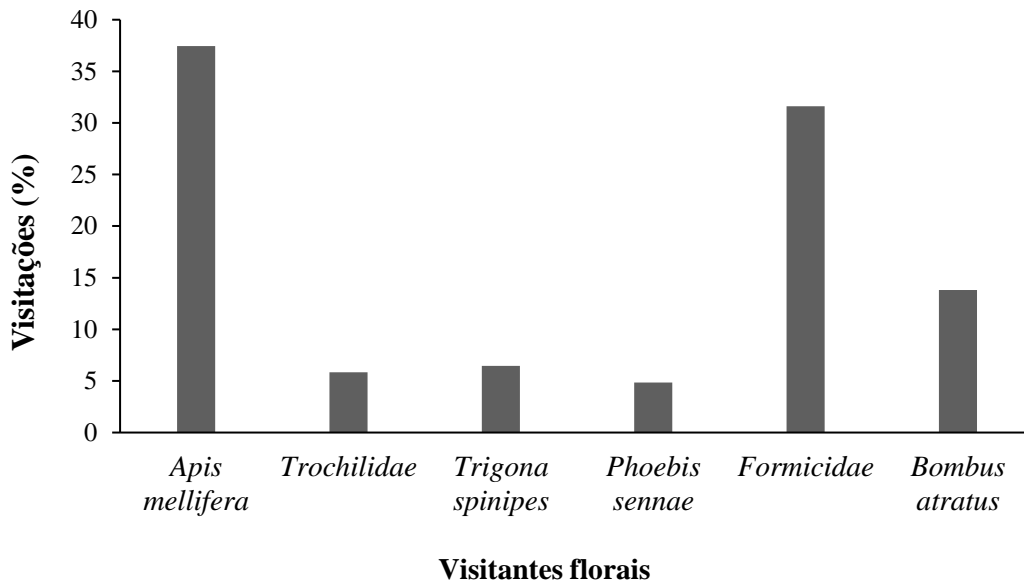


Figura 5. Frequência relativa de visitas realizadas às flores de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), Arcoverde-PE.

De acordo com o comportamento dos visitantes florais (Tabela 4), foi possível observar que o principal polinizador dos genótipos de palma forrageira foi a *A. melífera* (Linnaeus 1758), com maior frequência (Figura 5), tempo e maior número de visitas nas flores, além de contactar as estruturas reprodutivas (estigma e anteras), com presença de grãos de pólen em suas estruturas (Figura 6).

Como polinizador secundário está a *Bombus atratus* (Franklin 1913), que contactou as estruturas reprodutivas, porém menos frequente e que apresentou ou não grãos de pólen em suas estruturas (Figura 7) e por fim os polinizadores empilhadores, das famílias *Trochilidae* e *Formicida*, e as espécies *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) e *Phoebis sennae* (Linnaeus 1758), que não contactavam as estruturas reprodutivas e roubava o recurso floral (Figura 8).

Nesse estudo os visitantes florais passaram maior tempo nas flores dos genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia* (F8 e Orelaha de Elefante Africana), (Tabela 4). As flores de palma forrageira do gênero *Opuntia* são atrativas aos insetos em virtude de sua cor, seu tamanho grande, aberto e radial. Segundo Armbruster (2017), o fenótipo floral é um fator que determina a frequência de polinizadores em certas espécies de plantas.

Palma forrageira do gênero *Opuntia* compreende, na maioria das vezes, plantas com um longo período de floração, flores grandes com forma de Cyathea, tépalas numerosas, cores

atrativas, fragrância leve e suave, numerosas anteras com pólen muito nutritivo, estilete saindo do centro dos estames, estigmas pegajosos e verdes, lobos de estigmas que facilitam o pouso de insetos e ocasionalmente nectários (NERD & MIZRAHI, 1995).

Tabela 4. Visitantes florais de genótipos de palma (*Opuntia* e *Nopalea*), Arcoverde-PE.

Genótipo	Visitante	Nome vulgar	Nº visitas*	Tempo*	Tipo de visitante
F21	<i>Apis mellifera</i>	Abelha	11	3h33 min	PP
	<i>Trochilidae</i>	Beija-Flor	7	15 min	PI
	<i>Formicidae</i>	Formiga comum	7	20 min	PI
	<i>Trigona spinipes</i>	Abelha arapuá	3	2h33 min	PI
F8	<i>Apis mellifera</i>	Abelha	16	3h16 min	PP
	<i>Bombus atratus</i>	Mamangava	8	2h50 min	PS
	<i>Trigona spinipes</i>	Abelha arapuá	1	1h	PI
	<i>Phoebis sennae</i>	Borboleta	3	40 min	PI
Miúda	<i>Formicidae</i>	Formiga comum	23	1h10 min	PI
	<i>Trochilidae</i>	Beija-Flor	4	6 min	PI
	<i>Formicidae</i>	Formiga comum	13	35 min	PI
	<i>Apis mellifera</i>	Abelha	15	8 min	PP
IPA Sertânia	<i>Apis mellifera</i>	Abelha	12	50 min	PP
	<i>Formicidae</i>	Formiga comum	16	3h33 min	PI
OEA	<i>Phoebis sennae</i>	Borboleta	6	2h33 min	PI
	<i>Apis mellifera</i>	Abelha	17	1h9 min	PP
	<i>Bombus atratus</i>	Mamangava	17	1h10 min	PS
	<i>Trigona spinipes</i>	Abelha arapuá	8	52 min	PI

*Número médio de visitas e tempo total de visitação durante 5 dias de observação
PP: principal polinizador; PS: polinizador secundário; PI: pilhador).

Os recursos florais disponíveis nos genótipos de palma forrageira beneficiam os visitantes florais, que acabam polinizando também as plantas de cultivo próximas ao cultivo de palma forrageira. Diante disso, os possíveis polinizadores identificados nesse estudo (Tabela 4) mostram a importância do papel de cada polinizador em cultivos de palma forrageira, podendo serem utilizados para auxiliar no melhoramento genético.

Além disso, a variação no número de visitantes que a planta atrai por meio dos aspectos florais pode vir a influenciar na eficácia em que suas flores são polinizadas, uma vez que a visitação floral não é sinônimo de polinização, pois esses visitantes tendem a utilizar recursos florais sem transferir pólen. Tanto os polinizadores e pilhadores podem danificar as estruturas reprodutivas dessas flores durante o processo de visitação.

Em palma forrageira o processo de polinização ocorre de forma cruzada, quando o pólen de uma flor fertiliza outra flor da mesma espécie ou de espécies diferentes, com auxílio de polinizadores ou manualmente, e por meio da autopolinização, quando o pólen da antera é transferido para o estigma de uma mesma flor, ou de outra flor na mesma planta.

Dessa forma, no melhoramento genético, a coleta de frutos de polinização livre constitui um dos caminhos para que sejam obtidos novos genótipos. Assim, sementes oriundas desses frutos, que são de interesse para o melhoramento genético, têm suas plantas clonadas e mantidas/conservadas *in vivo* (COSTA et al., 2021).

Atualmente, um dos principais entraves para a geração de novos clones de palma forrageira está relacionado a seu mecanismo reprodutivo e ao abortamento de frutos em cruzamentos controlados ou não, em virtude dessas espécies serem alógamas, mas também apresentarem autogamia e cleistogamia.

Estima-se que as abelhas sejam responsáveis pela polinização de 40 a 90% dos vegetais, sendo indispensável pela reprodução vegetal da maioria das plantas em praticamente todos os ambientes terrestres (OLLERTON et al., 2011).

As perspectivas futuras sugerem que várias culturas agrícolas poderão ter sua polinização interrompida devido a falta do polinizador por causa da falta de condições climáticas (POTTS et al., 2016), isso porque as espécies podem não ter tempo hábil para acompanhar a rápida mudança climática (SETELLE et al., 2016).



Figura 6. Flores de genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia*, com presença de *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) em suas estruturas reprodutivas, Arcoverde-PE.



Figura 7. Flores de genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia*, com presença de *Bombus atratus* (Franklin 1913) em suas estruturas reprodutiva, Arcoverde-PE.



Figura 8. Flores de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), com presença de *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) (A), *Phoebis sennae* (Linnaeus 1758) (B) e *Formicidae* (C) em suas estruturas reprodutiva, Arcoverde-PE.

É necessário que mais estudos sejam realizados a fim de contribuir com informações a respeito da fenologia floral e polinizadores em cultivos de palma forrageira de diferentes espécies.

4. CONCLUSÕES

Os genótipos de palma forrageira F21, F8, Miúda, IPA Sertânia e Orelha de Elefante Africana apresentaram floração de forma sazonal.

O número de botões florais de genótipos de palma forrageira foi maior entre os meses de julho a setembro, período de baixas precipitações pluvias, temperaturas médias do ar menores e aumento gradativo da quantidade horas de luz.

A espécie *Apis mellífera* apresentou-se como polinizador principal em genótipos de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*).

A contribuição desse estudo em relação a fenologia floral, visitantes e polinizadores para os genótipos de palma forrageira abre perspectivas para a sua continuidade, envolvendo também outras áreas geográficas de cultivo de palma forrageira com diferentes manejos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBA, M. et al. Biology, flowering and fruiting of the Cactus *Opuntia* spp.: A review and some observations on three varieties in Morocco. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, p. 1–11, 2017.

ARMBRUSTER W. S. The specialization continuum in pollination systems: diversity of concepts and implications for ecology, evolution and conservation. **Functional Ecology** v. 31: p. 88–100., 2017.

BARBOSA, M. L. et al. Variáveis ambientais influenciando a expressão de características morfológicas em clones de palma forrageiro. **Revista Ciencia Agronomica**. V. 49, p.399–408, 2018.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, n.1, p.127-134. 2018.

BOUHRIM, M. et al. Phenolic content and antioxidant, antihyperlipidemic, and antidiabetogenic effects of *Opuntia dillenii* seed oil. **The Scientific World Journal**, v. 9, n. 1, p. 381-388, 2020.

CAPOVILLA, G. et al. Control of flowering by ambient temperature. **Journal of Experimental Botany** v. 66, p. 59-69, 2015.

COSTA, A. F. et al. Conservação e Uso de Germoplasma dos BAG do Instituto Agrônomo de Pernambuco: Forrageiras e Fruteiras Nativas/Exóticas. **Revista RG News**, v. 7, n. 1, 2021.

GRANT, V.; HURD, P. D. Pollination of the Southwestern *Opuntias*. **Plant Systematics and Evolution**, v. 133, p. 15-28, 1978.

INOUYE, D.W. The terminology of floral larceny. **Ecological Society of America**. V. 61, p. 1251-1253, 1980.

JANEBA, Z. Insect flower visitors and pollinators of cacti from the southwest USA: A contribution to the identification of insect flower visitors/pollinators of some globular cacti (tribe Cactaceae) and opuntias (tribes Opuntieae and Cylindropuntieae) from the southwest USA. **Bradleya**, v.27 p. 59–68, 2009.

KADDA, S. et al. Temperature Effects on Yields, Fatty Acids and Tocopherols of Prickly Pear (*Opuntia Ficus Indica* L.) Seed Oil of Oriental Region of Morocco. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2021

LENZI, M.; ORTH, A. I. Floral visitors of the *Opuntia monacantha* (Cactaceae) in sandbank of the Florianopolis, SC, Brazil TT- Visitantes florais de *Opuntia monacantha* (Cactaceae) em restingas de Florianopolis, SC, Brasil. **Acta Biologica Paranaense**, v. 40, p.19–32, 2011.

LIGUORI, G. et al. Effect of addition of *Opuntia ficus-indica* mucilage on the biological leavening, physical, nutritional, antioxidant and sensory aspects of bread. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.129, n.2, p.184-191, 2020.

MANDUJANO, M. et al. Reproductive biology of Cactaceae. In: RAMAWAT, K. (Org.) **Desert Plants**. Heidelberg: Springer, 2010. p.197-230.

MCFARLAND, J. D.; KEVAN, P. G.; LANE, M. A. Pollination biology of *Opuntia imbricata* (Cactaceae) in southern Colorado. *Canadian Journal of Botany* v. 67, p. 24–28, 1989.

MUDGAL, V.; MEHTA, M. K.; RANE, A. S. Lentil straw (*Lens culinaris*): an alternative and nutritious feed resource for kids. **Animal Nutrition**. v.4, p. 417–421, 2018.

NERD, A.; MIZRAHI, Y. Biologia reprodutiva de plantações de frutas de cacto. **Horticultural Reviews**, v. 2, p. 321-346, 2010.

NEGRÓN-ORTIZ, V. Reproductive biology of a rare cactus, *Opuntia spinosissima* (Cactaceae), in the Florida Keys: why is seed set very low. *Sex Plant Reproduction*. p. 208–212. 1998.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many Flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, p. 321-326. 2011.

OSBORN, M. M.; KEVAN, P. G.; LANE, M. A. Pollination biology of *Opuntia polyacantha* and *Opuntia phaeacantha* (Cactaceae) in southern Colorado. *Plant Systematics and Evolution* v. 159, p. 85–94, 1988.

- PASTORIZA, R. J. G.; **Biologia floral da palma forrageira: ocorrência de mecanismos reprodutivos e causa do abortamento de frutos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Melhoramento Genético de Plantas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife.
- PIMIEN-TA-BARRIOS E.; DEL CASTILLO, R. F. Reproductive Biology. In: NOBEL, P. S. (Org.). **Cacti: biology and uses**. London: University of California Press Ltd, 2017. p. 75-90.
- POTTS, S. G. et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, v. 540, p. 220–229, 2016.
- REYES-AGUERO, J. A.; AGUIRRE, J.R.; VALIENTE-BANUET, A. Biologia reprodutiva de Opuntia. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 549-585, 2006.
- R CORE TEAM, 2020. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>
- SALEHI, E. et al. *Opuntia ficus indica* fruit gum: extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 206, p. 565-572, 2019.
- SAMS, C. E. et al. Light quality impacts on growth, flowering, mineral uptake and petal pigmentation of marigold. **Acta Horticulturae**. v. 1134, p. 139-146, 2016.
- SEATON, D. D. et al. Linked circadian outputs control elongation growth and flowering in response to photoperiod and temperature. **Molecular Systems Biology**. v. 11, p. 1-19, 2015.
- SCHLINDWEIN C.; WITTMANN, D. Stamen movements in flowers of Opuntia (Cactaceae) favour oligolectic pollinators. **Plant Systematics and Evolution**, v. 204, p. 179–193, 1997.
- SETTELE, J.; BISHOP, J.; POTTS, S. G. Climate change impacts on pollination. **Nature Plants**. v. 2, 16092. 2016.
- SEGANTINI, D. M. et al. Fenologia da palma forrageira em Selviria- Estado do MS, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n.2, p. 630-636, 2010.
- SYDENHAM, M. A. K. et al. Disentangling the contributions of dispersal limitation, ecological drift, and ecological filtering to wild bee community assembly. **Ecosphere**, v. 8, n. 1, 2017.
- VANBERGEN, A. J. In _____: Insect Pollinators Initiative. Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. Ed. Frontiers in Ecology and the Environment, p. 251–259, 2013.
- VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 310-318, 2018.

CAPÍTULO II

Caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

Caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)

RESUMO

A palma forrageira é uma planta adaptada ao déficit hídrico e apresenta múltiplos serviços ecossistêmicos em regiões áridas e semiáridas. A fim de possibilitar a escolha de novas variedades de palma forrageira para ampliar o cultivo e dispersão da espécie, objetivou-se caracterizar e selecionar genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). O estudo foi conduzido durante os anos de 2018 a 2021. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados com três repetições e nove genótipos de palma forrageira. Avaliou-se as características morfológicas, produtivas, fitossanitária e bromatológica em nove genótipos de palma forrageira. As características morfológicas largura de planta (LP), altura de planta (AP), número de cladódios (NC), largura de cladódio (LC), comprimento de cladódio (CC), espessura de cladódio (EC), área de cladódio (AC), área fotossintética total da planta (AFT), índice de área de cladódio (IAC) e produção de matéria seca (PMS) foram diferentes ($p < 0,05$) conforme os genótipos. A LP, LC e EC diferiram ($p < 0,05$) conforme os anos de avaliação. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação anos e genótipos para as características comprimento de cladódio CC, LC, AC, PMS. Houve efeito significativo dos genótipos somente para proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e nitrogênio (N). Não foi observado efeito significativo para colheita nem interação significativa entre colheita e genótipos. Não foi observado infestação de cochonilha do carmim nos genótipos de palma forrageira. Todos os genótipos são susceptíveis ao ataque da cochonilha de escama e apresentaram nível de infestação variando de 25% a 50% nas plantas. Os genótipos que apresentaram doenças em seus cladódios, como a podridão escamosa (*Scytalidium lignicola*) e mancha de alternaria, foram acometidos até 25% dos cladódios. Os genótipos IPA-200016, IPA-100672, IPA-100676, apresentaram de 0 a 25% espinhos nas plantas. Com intensidade de seleção de 10%, os valores para ganho genético através da seleção direta foram superiores ao ganho indireto para todas as características morfológicas, PMS e bromatológicas. Os genótipos foram reunidos em dois grupos principais e dois grupos secundários, conforme o ponto de corte de 1,22 após ajuste de níveis de fusão e com correlação cofenética (0,77**), que foi significativa pelo teste t ($p \leq 0,01$). Os genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) apresentaram diferenças morfológicas, mesmo estando no mesmo ambiente. As características que mais contribuíram para a divergência genética foram NC e AC. A existência de variabilidade genética entre os genótipos de palma forrageira nesse estudo revela que é possível selecionar os genótipos IPA-200016, IPA-200174, IPA-100676, IPA-100673 e IPA-200008 por possuírem características morfológicas, produtiva, fitossanitárias e bromatológica desejáveis para dar continuidade ao melhoramento genético da palma forrageira. A caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira permitiu a identificação de materiais superiores, com potencial para trazer ganhos a cultura da palma forrageira.

Palavras-chave: cochonilha do carmim, cochonilha de escama, ganho genético, morfologia, produtividade.

Characterization and selection of cactus pear genotypes (*Opuntia* and *Nopalea*)

ABSTRACT

Forage cactus is a plant adapted to water deficit and displays many ecosystem services in semiarid and arid regions. The objective of this study was to characterize and select forage cactus genotypes (*Opuntia* and *Nopalea*) through morphological, productive, phytosanitary, and bromatological characteristics in order to find new varieties increasing both the cropping and spreading of these species. The experimental period occurred from April 2018 to July 2021. The experimental plots were distributed into a randomized complete block design, with three repetitions and factorial arrangement 2×9 (year \times genotype). Nine forage cactus genotypes were assessed regarding the morphological, productive, phytosanitary and bromatological traits. Data were submitted to analysis of variance, and both the genotype and year effects were fixed ones, while the block effect was random. When the F-test was significant, the means were compared by Scott-Knott's test, at 5% of probability of error. Morphological characteristics as plant's width (PW) and height (PH), number of cladodes (NC), cladode's width (CW), length (CL), thickness (CT) and area (CA), besides the total photosynthetic area (TPA), the cladode area index (CAI) and the dry matter yield (DMY) were different in the function of the genotypes. The PW, CW and CT differed ($p < 0.05$) in the function of the evaluation years. There was a significant effect of interaction between year and genotype on the CL, CW, CA and DMY. There was only a genotype effect on the contents of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and nitrogen (N). There was no significant effect of evaluation year or its interaction with genotype. No infestation by cochineal carmine was observed on the forage cactus genotypes. Conversely, all genotypes were susceptible to the cochineal scale attack, displaying levels that varied from 25 to 50%. The genotypes had diseases on their cladodes like the squamous rot caused by *Scytalidium lignicola*, besides the brown spot caused by *Alternaria* spp., which attacked almost 25% of the assessed cladodes. The genotypes named IPA-200016, IPA-100672, and IPA-100676 had the presence of spines varying from 0 to 25% on their plants. Under a selection intensity of 10%, the values of genetic gain through direct selection were greater than the indirect gain for all the morphological and bromatological traits, besides the dry matter yield. Forage cactus genotypes were separated into two principal groups and two secondary ones, according to the established criterion with the limit point of 1.22, after an adjustment of fusion levels and with cophenetic correlation (0.77**), which was significant by the T-test ($p \leq 0.01$) and had a satisfactory adjustment, demonstrating reliability regarding the dissimilarity matrix. Forage cactus genotypes, *Opuntia* and *Nopalea*, displayed morphological differences even under the same environment. The genotypes named IPA-200021, IPA-100676, IPA-10673, IPA-100420, and IPA-200008 did not present spines on their cladodes. Furthermore, diseases did not attack the genotypes IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661, IPA-100673 and IPA-100420. Both the number and area of the cladodes were the morphological traits that more contributed to the genetic divergence. The genetic variability among the forage cactus genotypes, assessed in this study, allows selecting the genotypes named IPA-200016, IPA-200174, IPA-100676, IPA-100673 and IPA-200008 aiming the traits with better economic interest, because they have desirable morphological, productive, phytosanitary and bromatological characteristics able to continue this breeding program. Both the characterization and selection of these genotypes allowed the identification of superior materials that have the potential to improve the forage cactus cropping.

Keywords: cochineal carmine, cochineal scale, genetic gain, morphology, productivity.

1. INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas, onde ocorrem irregularidades de chuvas, o cultivo de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é importante em virtude dos múltiplos serviços ecossistêmicos que essa planta pode promover (ARBA et al., 2017; BAYAR et al., 2018; VOLPE et al., 2018; SALEHI et al., 2019; LIGUORIT et al., 2020; REZENDE et al., 2020).

Para Cardoso et al. (2019), espécies de palma forrageira possuem características anatômicas e morfofisiológicas que favorecem sua adaptação às condições ambientais de regiões secas e contribuem para cultivo dessa cultura. A palma forrageira quando cultivada em condições de sequeiro ao longo do seu ciclo produtivo pode sofrer modificações no crescimento e no desenvolvimento em resposta às alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente.

Genótipos de palma forrageira estão sujeitos à ação de fatores bióticos, como pragas e doenças (GRANATA et al., 2017; COVARRUBIAS, 2017), e fatores abióticos, por exemplo, seca, salinidade, radiação solar e temperatura extrema, limitam o crescimento de várias culturas e causam danos fisiológicos na capacidade fotosintética (AL-TURKI et al., 2014; LIMA et al., 2018) e podem afetar a produção de forragem.

Entre as possibilidades de avaliar as respostas da planta ao ambiente em que se encontra, os aspectos fitossanitários, morfológicos e produtivos, vêm sendo amplamente utilizados em diversos estudos. Rocha et al. (2017) afirmaram que as características morfológicas e estruturais da planta podem afetar a resposta produtiva da cultura.

Para Las Casa et al. (2017), as características morfológicas permitem identificar espécies e variedades de acordo com as principais características agrônômicas importantes, como tamanho do cladódio e ausência de espinhos.

Nefzaoui et al. (2017) afirmam que além das características morfológicas e produtivas, os aspectos fitossanitários estão sendo amplamente utilizados para avaliar a diversidade genética de palma forrageira, assim como para selecionar materiais mais resistentes a pragas, doenças e mais produtivos.

O melhoramento genético de palma forrageira trouxe avanços significativos em relação à produtividade, resistência e tolerância a pragas importantes da cultura, tais como a cochonilha do carmim, conforme verificado por Santos et al. (2013) e Vasconcelos et al. (2009). Os genótipos Orelha de Elefante Mexicana, Orelha de Elefante Africana e Miúda apresentam resistência à cochonilha do carmim. Esses resultados só foram obtidos em virtude de diversas

técnicas estatísticas e métodos de seleção utilizando características morfológicas, produtivas e fitossanitárias.

Recentemente, novas variedades de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, consideradas como resistentes e de resistência intermediária, vêm sendo utilizadas pelo IPA (Instituto Agronômico de Pernambuco), tais como Orelha de Elefante Mexicana, Orelha de Elefante Africana, F-08, e F-21, em estudos para compor as diversas etapas do programa de melhoramento dessa forrageira.

Para selecionar genótipos de palma forrageira superiores várias características podem ser avaliadas por meio de seleção direta e indireta e índices de seleção. Os índices de seleção são uma análise de seleção estabelecida simultaneamente por uma combinação linear de características para maximizar os ganhos da seleção em todos os atributos considerados (CRUZ et al., 2012). Assim, o conhecimento a respeito dos ganhos genéticos de seleção pode identificar características que podem ser usadas como critérios de seleção direta e indireta, melhorando a eficiência do processo de seleção.

A introdução de novos genótipos resistentes a pragas e doenças é crucial para garantia de produtividade dos palmais, suprimento de forragem ao animal e geração de renda aos produtores, especialmente nos períodos de seca.

A fim de possibilitar a escolha de novas variedades de palma forrageira para ampliar o cultivo e dispersão da espécie, objetivou-se caracterizar e selecionar genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) utilizando características morfológicas, produtivas, fitossanitárias e bromatológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), localizado no município de Arcoverde, Pernambuco, Brasil, com altitude de 680,70 m, latitude 8°25' S e longitude 37°05' W, temperatura média anual de 23,7°C, variando de 13°C a 35°C nos meses de junho a dezembro, e precipitação pluvial média anual de 731 mm (INMET, 2021) respectivamente. O período experimental foi de abril de 2018 a julho de 2021. Na Figura 1 é apresentada a precipitação pluvial mensal durante o período experimental, desde o estabelecimento em 2018 até a conclusão das avaliações, em julho de 2021, sendo evidenciada a grande variabilidade pluviométrica dentro do ano e entre anos.

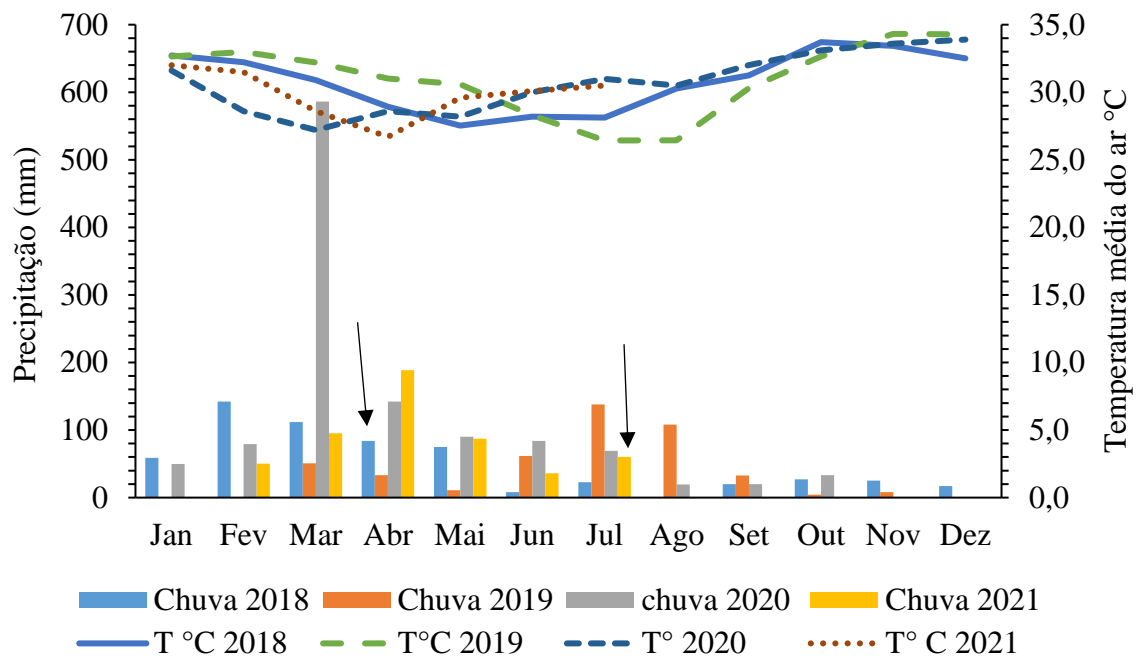


Figura 1. Precipitação mensal durante o período experimental, 2018-2020 Arcoverde-PE. Setas indicam início e fim do período experimental. Setas indicam início (abril 2018) e término (julho de 2021) do período experimental.
Fonte: INMET,2021.

Em abril de 2018, no estabelecimento do experimento, o solo foi preparado através de uma gradagem simples e em seguida foi realizado o plantio de um cladódio por cova, na posição vertical de nove genótipos de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, com espaçamento de 1,5 m entre linha e 0,20 m entre plantas dentro das linhas. Os genótipos foram provenientes do programa de melhoramento de palma forrageira do IPA/UFRPE, sendo que alguns já são cultivados e outros foram oriundos de pré-seleção realizada pelo IPA, base em produtividade e aspecto fitossanitário (menor incidência de pragas e doenças), conforme listados na Tabela 1.

Tabela 1. Genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, utilizados no experimento, Arcoverde-PE, Brasil.

Genótipos	Espécie	Nome vulgar no BAG
IPA-200016	<i>Opuntia stricta</i> (Haw)	Orelha de Elefante Mexicana
IPA-100672	<i>Opuntia stricta</i> (Haw)	Orelha de Elefante Mexicana Seleção Lisa
IPA-200174	<i>Opuntia undulata</i> (Griffiths)	Orelha de Elefante Africana
IPA-100661	<i>Opuntia undulata</i> (Griffiths)	Orelha de Elefante Africana Melhorada sem espinho
IPA-200021	<i>Nopalea cochenillifera</i> (Salm Dyck)	F21 Original
IPA-100676	<i>Nopalea cochenillifera</i> (Salm Dyck)	F21 Seleção sementes
IPA-100673	<i>Opuntia stricta</i> (Haw)	Orelha de Elefante Mexicana Seleção pelo
IPA-100420	<i>Nopalea cochenillifera</i> (Salm Dyck)	F21 Seleção cultura de tecido
IPA-200008	<i>Opuntia atropes</i> (Rose)	F8

2.2 Delineamento experimental e manejo

As parcelas experimentais foram distribuídas em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Cada bloco foi composto por nove tratamentos (genótipos). Cada tratamento foi composto por três filas com 20 plantas. As duas filas laterais foram utilizadas como bordadura e a fila central foi considerada com área útil da parcela, descartando a última planta de cada extremidade, totalizando 18 plantas por genótipo.

Durante o período experimental foram realizadas duas colheitas, a primeira colheita foi realizada com um ano após o plantio (abril de 2019) e a segunda colheita foi realizada em junho de 2020, em ambas as colheitas se preservou os cladódios primários das plantas. Após cada colheita foi realizada uma adubação, em maio de 2019 e agosto de 2020, com esterco bovino, na proporção de 20 t de matéria orgânica/ha⁻¹. O experimento foi avaliado por três anos e quando necessário foram feitas capinas mecânicas para eliminação de plantas invasoras.

2.3 Avaliações das características morfológicas

As avaliações das características morfológicas tais como: altura da planta, largura da planta, comprimento, largura e espessura do cladódio, número de cladódios, área de cladódio, área fotossintética total da planta e índice de área de cladódio e presença de espinhos iniciaram após estabelecimento do palmar em abril de 2018 e com frequência de avaliação a cada três meses com término em julho de 2021, totalizando 16 avaliações durante o período experimental.

Para mensuração da altura e largura da planta foi utilizada uma trena com fita de aço, graduada em centímetros. A altura foi mensurada desde a superfície do solo até o cladódio mais alto, enquanto a largura foi obtida ao se utilizar as duas maiores dimensões laterais ocupadas pela planta.

A mensuração do comprimento, largura e espessura dos cladódios em todos os cladódios foram realizadas por meio de uma fita métrica, considerando as partes de maior comprimento e largura do cladódio. Para obtenção da espessura foi utilizado um paquímetro digital, na região mediana do cladódio. O número de cladódios foi obtido através da contagem deles.

Para determinação quanto à presença de espinhos e incidência de doenças também foi utilizada uma escala de notas, sendo: 1 - Ausência; 2 - Planta com até 25%; 3 - 26 a 50%; 4 - 51 a 75% e 5 - Acima de 76% (PEREIRA et al., 2014).

A área de cladódio foi estimada através da seguinte fórmula: $AC = CC \times LC \times 0,632$, no qual CC representa o comprimento do cladódio e LC, a largura do cladódio. A área fotossintética total da planta (AFT) foi estimada pela multiplicação da AC pelo número de cladódios. O índice de área do cladódio (IAC) foi estimado pela relação entre AFT e a área do solo ocupada pela planta (SALES et al., 2013).

2.4. Características fitossanitárias

Para as características fitossanitárias, atribuiu-se uma escala de notas adaptada para cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti* Bouché) e cochonilha de carmim (*Dactylopius opuntiae* Cocherell), segundo metodologia de Santos (1992), considerando a avaliação da porcentagem de infestação da planta pelo ataque desses insetos, sendo: 1 - Planta não atacada; 2 - Plantas com até 25% infestação, 3 - 26 a 50%; 4 - 51 a 75% e 5- Acima de 76%.

2.5 Produtividade

Para determinar a produtividade foram realizadas duas colheitas, a primeira colheita (abril de 2019) e a segunda colheita (junho de 2020) nas quais foram colhidos os cladódios de 18 plantas da área útil preservando-se os cladódios primários tanto no primeiro quanto no segundo ano de colheita. Durante as colheitas as plantas foram pesadas em uma balança industrial. A estimativa da produção de matéria verde levou em consideração o somatório do peso de 18 plantas da área útil da parcela em função da área ocupada na parcela experimental (6,75 m), pela seguinte equação: produção total de massa verde do tratamento*100/área útil da parcela

(6,75m) para o primeiro ano de colheita (abril de de 2019) e segundo ano de colheita (junho de 2020).

A estimativa do teor de matéria seca foi feita pela coleta de três plantas por parcela experimental, as quais foram armazenadas em sacos plásticos, transportadas para o laboratório, cortadas em pequenos pedaços e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, até peso constante, para obtenção dos teores de matéria seca (MS). A produção em matéria seca (PMS) foi determinada multiplicando-se a produção de matéria verde pelos teores de MS. Determinou-se o teor de matéria seca (MS) seguindo metodologia de Detmann et al. (2012). A PMS foi expressa em toneladas de matéria seca por hectare por ano (t de MS.ha⁻¹.ano⁻¹).

2.6 Características bromatológicas

Para avaliação das características bromatológicas, as amostras foram pres secas e em seguida foram moídas em moinho de facas tipo Willey em peneira de 1 mm, colocadas individualmente em sacos identificados para análise no Laboratório de Forragicultura, no Departamento de Zootecnia da UFRPE, para determinação dos teores de MS e matéria mineral (MM). As análises de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas no laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). As análises dos teores de MS, MM, FDN e FDA foram realizadas segundo metodologia Detmann et al. (2021). As análises para determinação dos teores de proteína bruta (PB), Potássio (K), Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), Nitrogênio (N) e Sódio (Na) foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), conforme certificação N:288-296/21.

2.7 Análise estatísticas

Para análise dos dados, inicialmente foi verificada as premissas da análise de variância (ANOVA). As variáveis morfológicas, altura e largura da planta, não atenderam as premissas de normalidade (Teste Cramer-von Mises $p \leq 0,05$) e homocedasticidade (teste de Bartlett) e foram transformadas seguindo a recomendação de Boxcox para Log (x). Foi realizada a média para as características de comprimento, largura e espessura do cladódio e foi levado em consideração a distribuição dos cladódios por ordem para cada genótipo em cada avaliação. Em seguida, os dados foram submetidos a anova DBC em esquema fatorial 2x9, considerando como efeito aleatório blocos e fixos os genótipos de palma forrageira e ano de colheita. Quando o

teste F na ANOVA foi significativo, as médias das características foram submetidas ao teste de Scott-Knott. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

Os dados de infestação de cochonilha de carmim, escama, presença de espinhos e incidência de doenças foram analisados por meio de estatística descritiva, com a média das notas seguida do erro padrão.

Essas análises estatísticas foram realizadas utilizando o software RStudio, versão 1.4.1717 (RSTUDIO TEAM, 2020).

Foram utilizados quatro diferentes índices de seleção: índice distância genótipo-ideótipo (CRUZ, 2006), índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), índice base (WILLIAMS, 1962) e índice baseado na soma de Ranks (MULAMBA; MOCK, 1978), envolvendo as características morfológicas e produtivas e as características bromatológicas. Foi realizada seleção direta e indireta para cada característica, aplicando intensidades de seleção de 10%, selecionando-se os três melhores genótipos de palma forrageira, respectivamente.

A diversidade genética entre os genótipos foi estimada utilizando a análise de agrupamento pelo método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). A estabilização do cluster foi determinado pelo coeficiente cofenético. A distância euclidiana foi utilizada como medida de dissimilaridade. A importância relativa dos caracteres em relação à diversidade genética foi avaliada pelo método de Singh (1981) e pelo método de componentes principais, segundo metodologia apresentadas por Cruz et al. (2016).

As análises foram realizadas com auxílio do software Genes - Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características morfológicas e PMS.

As características morfológicas largura de planta (LP), altura de planta (AP), número de cladódios (NC), largura de cladódio (LC), comprimento de cladódio (CC), espessura de cladódio (EC), área de cladódio (AC), área fotossintética total da planta (AFT), índice de área de cladódio (IAC) e produção de matéria seca (PMS) foram diferentes ($p < 0,05$) conforme os genótipos. A LP, LC e EC diferiram ($p < 0,05$) conforme os anos de avaliação. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação anos e genótipos para as características comprimento de

cladódio CC, LC, AC, PMS. Os coeficientes de variação estão adequados para as características avaliadas (Tabela 2).

Os genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) são materiais vegetais de espécies e gêneros diferentes e que apresentam divergência fenotípicas, mesmo sendo cultivados na mesma área e expostos as mesmas condições de ambiente. A variabilidade genética se torna um critério essencial para a seleção. As respostas fenotípicas em plantas são de natureza quantitativa sendo controladas pelo fator genético, pelo ambiente e pela interação genótipo x ambiente.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das características morfológicas e produtiva de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*).

FV	GL	Valor de F				
		AP	LP	N° C	CC	LC
Bloco	2					
Genótipos	8	0,00256*	0,02625 *	0,01255*	0,001964*	0,00255*
Colheita	1	0,59454ns	0,02676 *	0,95701ns	0,74680ns	0,001524*
G x C	8	0,06616ns	0,09108ns	0,471371ns	0,027213*	0,016061*
CV%		10,04	16,52	28,71	11,74	12,11

FV	GL	Valor de F				
		EC	AC	AFT	IAC	PMS t/ha
Bloco	2					
Genótipos	8	0,034540 *	0,04656*	0,00678*	0,007987*	0,0026045*
Colheita	1	0,009397 *	0,06843ns	0,18749ns	0,003610*	0,8282ns
G x C	8	0,672ns	0,001898 *	0,107806ns	0,48866ns	0,009761*
CV%		20,66	19,30	40,24	42,00	25,22

AP: altura da planta (cm), LP: largura da planta (cm), NC: número de cladódios, CC: comprimento de cladódio (cm), LC: largura de cladódio total (cm), EC: espessura de cladódio (mm), AC: área do cladódio (cm²), AFT: área fotossintética da planta (cm²), IAC índice de área do cladódio, PMS: produção de matéria seca (t de MS.ha⁻¹.ano⁻¹),

*significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Para a característica altura da planta, os genótipos que se destacaram foram IPA-200021 e IPA-100676, que apresentaram as maiores médias de altura de planta, enquanto os genótipos que tiveram menores médias foram IPA-100672, IPA-200174, IPA-100420 e IPA-200008. Identificar genótipos mais altos e mais largos são fatores importantes como estratégia de manejo, influenciando desde o estabelecimento do palmar, na definição da população de plantas, finalidade da exploração e o manejo de colheita.

O genótipo que apresentou maior número de cladódio foi IPA-100676, e o que apresentou menor número de cladódios foi o IPA-100661 (Tabela 3). O hábito de crescimento semiaberto das plantas induz a maior número de brotação de cladódios por terem maior aproveitamento fotossintético e evitar sombreamento. Os genótipos que apresentaram maior número de cladódios possuem esse hábito de crescimento, o que possivelmente influenciou diretamente na resposta da planta.

O genótipo que apresentou maior área fotossintética total da planta foi o IPA-200021 (Tabela 3). Essa característica possui relação direta com a área do cladódio e o número de cladódio. Tendo em vista essa relação, esse genótipo, apesar de não apresentar maior área de cladódio, apresentou maior número de cladódios, o que resultou em área fotossintética total da planta superior aos demais genótipos. A determinação da área fotossintética total da planta ou cladódio é uma ferramenta fundamental no estudo da ecofisiologia (SCHMILDT et al., 2014). No caso da palma forrageira essa função é assumida pelos cladódios de diferentes ordens.

O maior índice de área de cladódio (IAC) foi para o genótipo IPA-100676 (Tabela 3). Essa característica possui relação direta com a área fotossintética total da planta e o espaço ocupado por ela no solo. Esse genótipo apresentou uma maior área fotossintética total da planta e está no grupo de genótipos que apresentaram maiores alturas de plantas. Genótipos de palma forrageira mais produtivos apresentam maiores IAC, o que representa maior eficiência da planta em utilizar a água para produzir massa verde e seca (SILVA et al., 2020).

A quantidade de cladódios é uma característica que influencia diretamente na arquitetura da planta e o espaço ocupado por ela, na taxa fotossintética da planta e no IAC. Dessa forma, os genótipos que apresentaram maior IAC também possuem maior área de interceptação de luz, melhorando assim a taxa fotossintética pelos cladódios e maior eficiência em utilizar água para o acúmulo de biomassa verde e seca da parte aérea da palma forrageira, assim como aumenta a capacidade dos cladódios em armazenar água.

Tabela 3. Média das características morfológicas de genótipos de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*.

Genótipos	AP (cm)	NC	AFT (cm ²)	IAC
IPA-200016	92,5 e	32,16d	7781,71d	1,03c
IPA-100672	76,5h	25,66e	7116,97e	0,97d
IPA-200174	85,16g	24,16e	8957,34c	0,90d
IPA-100661	94,5 d	21,5e	7122,83d	0,67e
IPA-200021	134,66 a	55,33b	10902,84b	1,09c
IPA-100676	129,00b	93,16a	15574,97a	2,12a
IPA-100673	112,83 c	55,66b	7116,97d	1,61b
IPA-100420	88,66f	58,50b	11655,29b	1,63b
IPA-200008	86,16g	50,66c	11837,60b	1,57b

AP: altura da planta, NC: número de cladódios, AFT: área fotossintética da planta, IAC: índice de área do cladódio

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Ocorreu uma diminuição na LP e EC na segunda colheita (Tabela 4). De acordo com Silva et al. (2015) a palma forrageira quando cultivada em condições de sequeiro pode sofrer modificações no seu crescimento e desenvolvimento.

Nesse estudo, nas duas colheitas preservou-se os cladódios de primeira ordem para todos os genótipos. Assim, segundo Souza et al. (2020), a preservação de cladódios de primeira ou segunda ordem resultam em plantas mais altas ou mais largas (Tabela 4). Segundo Silva et al. (2016), para genótipos de palma forrageira que apresentam maiores larguras de plantas, o cultivo deve ser planejado com maior espaçamento entre plantas, devido à competição por água, luz e nutrientes. Em estudos realizados por Rahul et al. (2018) e López et al. (2018), as características morfológicas como a altura e largura da planta influenciaram diretamente na PMS.

Pereira et al. (2017) avaliaram genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, sob irrigação, e observaram que embora a palma forrageira apresente mecanismo morfofisiológico MAC, quando estudados sob déficit hídrico, os cladódios apresentam redução da espessura, relativo ao baixo teor de água, acúmulo de ácido málico, condutância estomática, tamanho e taxa de desenvolvimento do cladódio normais.

A compreensão da resposta dos genótipos ao ambiente é essencial para a seleção de novos genótipos e melhores práticas de manejo. O desenvolvimento da palma forrageira está diretamente relacionado às práticas de manejo e as mudanças no ambiente, que

podem resultar no avanço ou atraso da colheita (AMORIM et al., 2017; SAKAR et al., 2019).

Tabela 4. Médias das características morfológicas de genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* para duas colheitas.

Características Morfológicas	Colheita 2019	Colheita 2020
LP (cm)	138,50a	126,33b
EC(mm)	16.75a	14.18b

LP largura da planta (cm), LCT largura de cladódio total (cm), ECT espessura de cladódio Total (mm).

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

As respostas fenotípicas em plantas são de natureza quantitativa sendo controladas pelo fator genético, pelo ambiente e também pela interação genótipo x ambiente. Essas características foram fortemente influenciadas pelo fator genético dos genótipos que são de gêneros e espécies diferentes e pelo ambiente que teve influência devido a variabilidade de precipitação pluviométrica que ocorreu entres os meses e entre os anos, sendo observada maior precipitação para os anos de 2019 e 2020.

Quanto ao desdobramento da interação colheita e genótipos, observa-se variação no CC, LC e AC e aumento de PMS de uma colheita para outra (Tabela 5). Observa-se uma diminuição no CC dos genótipos IPA 200016, IPA 100672, IPA 200174 e IPA 100661, na LC dos genótipos IPA 100661 e 100420, na AC dos genótipos IPA IPA 100661 IPA 100676, IPA 100420 e IPA 200008 e PMS do genótipo IPA 100420 de uma colheita para outra. Para os demais genótipos observou-se aumento dessas características.

A interação genótipo x ambiente ocorreu em virtude das diferenças fenotípicas entre os genótipos de palma forrageira que são gêneros diferentes e conforme variação ambiental existente entre os anos, ocasionando mudança no desempenho relativo de genótipos nas diferentes características.

Segundo Silva et al. (2014), plantas do gênero *Nopalea* possuem cladódios menores em comparação aos do gênero *Opuntia*. Para este estudo as plantas dos genótipos de palma forrageira *Nopalea* apresentaram cladódios com menores dimensões de comprimento, largura e espessura, podendo distribuir seus cladódios com crescimento vertical, apresentando plantas com maior altura e menor largura.

Por outro lado, os genótipos de palma forrageira *Opuntia* apresentaram cladódios com dimensões maiores, e distribuem seus cladódios com crescimento lateral, devido à

sua forma estrutural, apresentando plantas com menores alturas e maiores larguras. Apesar de terem maior área de cladódio em função do comprimento e largura de seus cladódios, esses genótipos possuem poucos cladódios em suas plantas o que influenciará na taxa fotossintética total da planta, assim como no índice de área de cladódios por serem características que estão associadas diretamente com número de cladódios.

A área do cladódio tem relação direta com a largura e comprimento do cladódio. A área total de cladódio é uma característica importante para estimar a capacidade fotossintética dessa planta, adaptação ao estresse e potencial produtivo, sendo uma das variáveis utilizadas para mensurar o crescimento vegetativo. Valores mais altos de área do cladódio representam maior área fotossintética, fornece maior acúmulo de água, apresenta alta capacidade de retenção de água nas células do parênquima e nos vacúolos do clorênquima (LUCENA et al., 2019).

Em relação a PMS, oito genótipos apresentaram maior produção de matéria seca na segunda colheita (junho de 2020) (Tabela 5). Sabe-se que a produtividade da palma forrageira está condicionada a fatores abióticos, de manejo e às características morfológicas do próprio genótipo, o que ficou evidenciado para os genótipos nesse estudo que apresentaram respostas diferentes de produtividade mesmo pertencente ao mesmo gênero e estando nas mesmas condições locais, condicionando a resposta fenotípica e genética que cada genótipo possui.

Tabela 5- Média das características morfológicas e produtivas de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em função dos genótipos e ano de colheita.

Genótipos	CC		LC		AC		PMS	
	Colheita		Colheita		Colheita		Colheita	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
IPA-200016	38,39Bc	44,00Ab	34,00Ab	34,33Aa	825,34Bb	952,21Aa	36,58Ba	40,79 Aa
IPA-100672	35,90Ac	33,99Bb	33,83Ab	33,33Aa	771,22 Ab	730,41Ab	18,06Ab	18,19Ac
IPA-200174	54,08Aa	52,98Ba	45,50Aa	45,20Aa	1509,37Aa	1510,55Aa	18,22Bb	22,48Ab
IPA-100661	52,95Aa	41,95Bb	44,26Aa	39,16Ba	1531,15Aa	1057,78Ba	28,89Bb	33,67Ab
IPA-200021	44,34Bb	45,16Aa	17,94Bd	22,50Ab	503,51 Bc	638,02Ab	40,71Aa	41,44Aa
IPA-100676	43,65Bb	49,41Aa	21,16Bc	32,81Aa	582,23Ac	444,57 Bb	39,40Aa	40,63Aa
IPA-100673	41,86Bb	43,87Ab	21,08Bc	24,50Ab	558,24 Bc	671,90Ab	38,43Aa	35,41Bb
IPA-100420	44,43Bb	51,32Aa	15,07Ad	13,43Bb	422,17Ac	380,74Bb	27,26Bb	31,01Ab
IPA-200008	43,10Bb	40,79Ab	15,70Bd	17,38Ab	425,82Ac	368,99Bb	22,67Ab	27,16Ab

CC comprimento de cladódio (cm), LC largura de cladódio (cm), AC área do cladódio (cm²), PMS (t de MS.ha⁻¹.ano⁻¹t) produção de matéria seca.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (p<0,05).

3.2 Características bromatológicas

Houve efeito significativo dos genótipos somente para proteína bruta (PB), FDN, FDA e nitrogênio (N). Não foi observado efeito significativo para colheita nem interação significativa entre Colheita e genótipos. Os coeficientes de variação estão adequados para as características avaliadas, existindo pouca variabilidade genética (Tabela 6).

Os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), e macronutrientes são considerados adequados quando estão sob condições de sequeiro, que o foi o caso dos genótipos nesse estudo (Tabela 6). A palma forrageira quando cultivada em condições de sequeiro prioriza o acúmulo de água nos cladódios, reduzindo o acúmulo de teor de matéria seca (PEREIRA et al., 2017) e aumentando a taxa de acúmulo de forragem (ROCHA et al., 2017).

Os macronutrientes em maior quantidade nos genótipos de palma forrageira foram $K > Ca > Mg > N > Na > P$, (Tabela 6). As diferentes composições bromatológicas observadas entre os genótipos de palma forrageira podem estar associados a especificidade da espécie assim como do gênero, atreladas as respostas fenotípicas que podem variar, segundo Dubeux et al. (2010), em função idade da planta, ordem do cladódio (posição), cultivar, fertilização e manejo da colheita, densidade de plantio e fatores ambientais.

O fósforo desempenha papel importante nos mecanismos fisiológicos e bioquímicos nas plantas tais como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e crescimento celular.

Entre os nutrientes essenciais, o potássio tem um papel regulador crucial e funcional no processo metabólico das plantas, como auxiliar capacidade de absorção de água e no controle de abertura e fechamento estomático, promovendo mecanismos de defesa contra o estresse (CHAKRABORTY et al., 2016).

Dick et al. (2020) encontraram altas concentrações de K em comparação com o Na em cladódios de *Opuntia*, com níveis de K quatro vezes maiores que os de Na, caracterizando como o mineral mais abundante em palma forrageira. Para esse estudo, o potássio foi o elemento mineral em maior concentração comparado aos demais. Essas maiores concentrações de K e menores concentrações de Na, também foram destacados por Méndez et al. (2015) em clones *Opuntia* (*O. dillenii* e *O. ficus-indica*). Isso é uma característica que contribui para a resistência ao déficit hídrico em áreas semi-áridas.

Tabela 6. Resumo da Análise de variância das características bromatológicas de genótipos de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*.

Fontes de Variação	GL	Valor de F				
		MS	PB	MM	FDA	FDN
Bloco	2					
Genótipos	8	0,3906ns	0,03105*	0,3712ns	0,02278*	0,00163*
Colheita	1	0,2441ns	0,70370ns	0,6460ns	0,28386ns	0,924324ns
G xC	8	0,5295ns	0,40657ns	0,4669ns	0,52253ns	0,429731ns
Cv%		18,6	22,4	31,7	7,7	5,6
Média		118,7	44,8	120,3	186,3	230,3

Fontes de Variação	GL	Valor de F					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
Bloco	2						
Genótipos	8	0,0011*	0,0201ns	0,0216ns	0,042ns	0,0211ns	0,0319ns
Colheita	1	0,8037ns	0,5642ns	0,7909	0,1594	0,993ns	0,3655ns
G xC	8	0,5023ns	0,4559	0,4230	0,6070	0,4024	0,5028
Cv%		6,00	2,66	2,76	3,34	1,13	3,2
Média		6,85	1,53	23,65	22,28	11,88	6,38

MS matéria seca (g.kg⁻¹), PB proteína bruta (g.kg⁻¹), MM matéria mineral(g.kg⁻¹), FDA fibra em detergente ácido (g.kg⁻¹), FDN fibra em detergente neutro (g.kg⁻¹), N nitrogênio (g.kg⁻¹), P fósforo (g.kg⁻¹), K potássio (g.kg⁻¹), Ca cálcio (g.kg⁻¹), Mg magnésio (g.kg⁻¹) e Na sódio (g.kg⁻¹).

ns- não significativo, *significativo a 5%, pelo teste F

Observadas as diferenças significativas para as características químicas e bromatológicas (Tabela 7), os genótipos de palma forrageira foram agrupados por meio do teste de média de Scott Knott.

Os genótipos que apresentaram maior teor de PB e N foram o IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661 e IPA-100420 e estão de acordo com os valores mencionados em outros estudos (Tabela 7). A palma forrageira possui baixo teor de proteína bruta e com isso não deve ser fornecida aos animais exclusivamente como única fonte alimentar, sendo necessário a suplementação com outro alimento proteico.

Nesse estudo, os genótipos do gênero *Opuntia* apresentaram maior teor de PB e N em virtude de possuírem menor número de cladódios e menor altura de planta, crescimento lento comparado aos demais genótipos, resultando em menor diluição da PB quando comparados aos genótipos do gênero *Nopalea*.

Em relação ao teor de N verificado nos genótipos, é provável que tenham relação com as adubações orgânicas realizada anualmente durante a condução do experimento, que incorporaram esse elemento no solo e em seguida foi extraído pela planta.

Os genótipos que apresentaram maior teor de MM foram IPA-200016 e IPA-100676 (Tabela 7). De maneira geral a palma forrageira apresenta altos teores minerais e varia conforme gênero e espécie e o manejo da cultura.

Os genótipos IPA-200016, IPA-100672, IPA-200174 e IPA-100661 apresentaram maior teor de FDA e FDN (Tabela 7). Esses genótipos quando colhidos possuíam maiores quantidades de cladódios maduros e uma menor emissão de cladódios a partir da quarta ordem, quando comparados aos demais genótipos, possivelmente uma característica atribuída às espécies do gênero *Opuntia*. Pessoa et al. (2020) avaliaram a composição química de cladódios de cinco genótipos do gênero *Opuntia* em diferentes fases fenológicas e verificaram maiores concentrações de FDN nos cladódios na fase madura, relacionando ao completo desenvolvimento do cladódio.

Tabela 7. Média das características químico bromatológicas de genótipos de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*.

Genótipos	Características bromatológicas			
	PB	FDA	FDN	N
IPA-200016	43,5b	169,8c	226,8c	6,78d
IPA-100672	52,0a	192,9a	235,8c	8,41b
IPA-200174	53,7a	179,6b	194,9e	8,97a
IPA-100661	55,6a	200,4a	244,1b	9,53a
IPA-200021	39,1b	168,9c	271,9a	5,04e
IPA-100676	33,4b	197,9a	230,0c	4,76f
IPA-100673	35,5b	201,8a	207,2d	4,76f
IPA-100420	50,2a	183,7b	249,5b	7,85c
IPA-200008	40,1b	182,1b	212,4d	5,60e
Média	44,8	186,3	230,3	6,85

PB proteína bruta (g.kg^{-1}), MM matéria mineral (g.kg^{-1}), FDA fibra em detergente ácido (g.kg^{-1}), FDN fibra em detergente neutro (g.kg^{-1}), N nitrogênio (g.kg^{-1})

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, ($p < 0,05$).

3.3 Características fitossanitárias

Não foi observada infestação de cochonilha do carmim nos genótipos de palma forrageira. Existe diferentes graus de resistência às pragas e as plantas podem ser classificadas como imunes, altamente resistentes, com resistência moderada, susceptíveis ou altamente susceptíveis, a depender da resposta da planta ao ataque do inseto (VASCONCELOS et al., 2009). Assim, os genótipos IPA-200016, IPA-100672, IPA-200174, e IPA-100661 podem ser considerados imune, pois não permitiram o desenvolvimento do inseto, enquanto os genótipos IPA-200021, IPA-100676, IPA-100420 e IPA-200008 com notas entre 0,00 e 1,00, respectivamente, podem ser considerados altamente resistentes, com nenhum ou poucas plantas infestadas com a cochonilha do carmim.

Em trabalho desenvolvido por Vasconcelos et al. (2009), visando selecionar clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim, constatou-se por observações *in loco*, que os insetos apesar da fixação, não se reproduziram sobre os cladódios de Orelha de Elefante Africana.

Todos os genótipos são susceptíveis ao ataque da cochonilha de escama e apresentaram nível de infestação variando de 25% a 50% nas plantas (Figura 2). Sabe-se que a ocorrência das cochonilhas do carmim e de escama está entre os fatores que mais

limitam a produção da palma forrageira. Apesar de todos os genótipos serem susceptíveis a praga, não houve comprometimento do estande e da PMS.

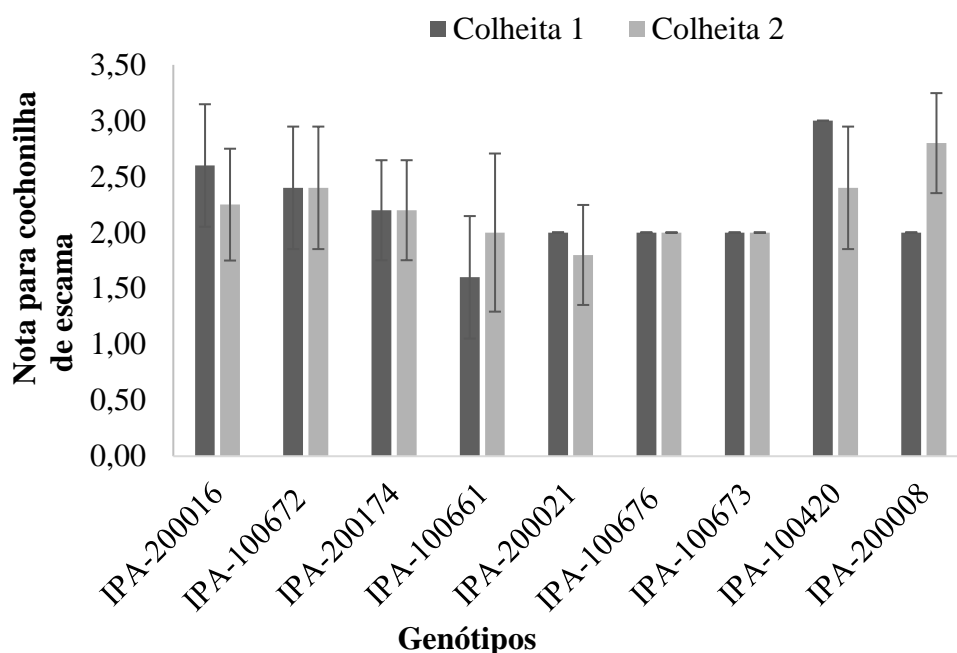


Figura 2. Níveis de infestação de cochonilha de escama em genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)
Escala de valores percentuais 1 a 5: 1 - Ausência; 2 - Planta com até 25%; 3 - 26 a 50%; 4 - 51 a 75% e 5 - Acima de 76% (SANTOS, 1992).

Não foi observada incidência de doenças para os genótipos IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661, IPA-100673, e IPA-200021 seleção cultura de tecido em ambas os anos de colheita (Figura 3).

Os genótipos que apresentaram doenças em seus cladódios, como a podridão escamosa (*Scytalidium lignicola*) e mancha de alternaria, foram acometidos até 25% dos cladódios e não chegou a comprometer a produção de matéria seca, nem a sobrevivência das plantas no estande. Dentre as principais doenças fúngicas que acometem a palma forrageira, a podridão escamosa foi observada em todos os palmais visitados durante estudo realizado por Souza et al. (2017) da cultivar Gigante no Semiárido da Paraíba.

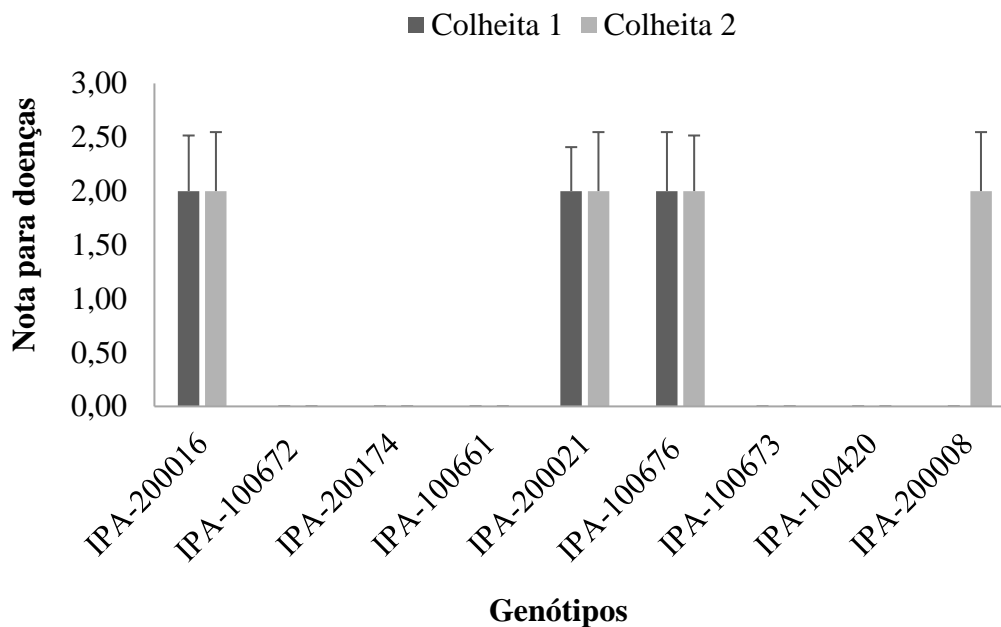


Figura 3. Incidência de doenças em genótipos de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*.

Escala de valores percentuais 1 a 5: 1 - Ausência; 2 - Planta com até 25%; 3 - 26 a 50%; 4 - 51 a 75% e 5 - Acima de 76% (SANTOS, 1992).

De maneira geral, os genótipos IPA-200016, IPA-100672, IPA-100676, apresentaram de 0 a 25% de espinhos nas plantas, característica determinada pela genética da planta. Sendo uma característica de desejabilidade, a ausência de espinhos em genótipos de palma forrageira é importante para aceitação da forragem pelo animal e para colheita, que em geral é manual (Figura 4). Marques et al. (2017) afirmam que a presença de espinhos em palma forrageira pode comprometer a preferência do animal pelo alimento e dificultar seu manejo como planta forrageira.

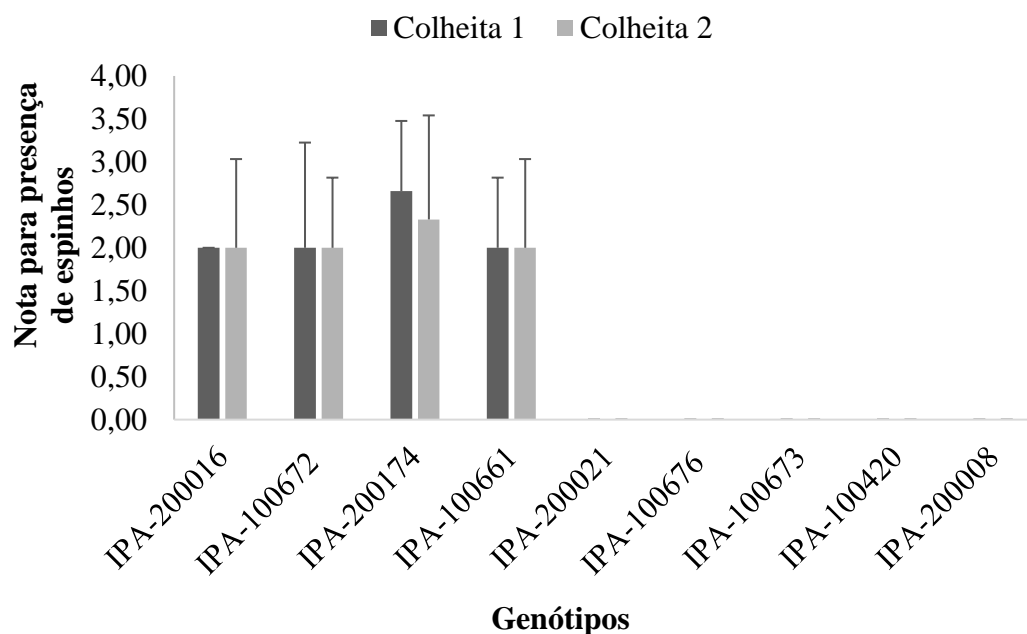


Figura 4- Presença de espinhos em genótipos de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*. Escala de valores percentuais 1 a 5: 1 - Ausência; 2 - Planta com até 25%; 3 - 26 a 50%; 4 - 51 a 75% e 5 - Acima de 76% (SANTOS, 1992).

3.4 Seleção e ganhos genéticos

Com intensidade de seleção de 10%, observa-se que os valores para ganho genético através da seleção direta foram superiores ao ganho indireto para todas as características morfológicas e PMS (Tabela 8) e bromatológicas (Tabela 9). A seleção direta também proporcionou maiores ganhos individuais para todas as características. Os maiores ganhos genéticos obtidos para a seleção direta ocorreram para as seguintes características morfológicas: largura da planta, número de cladódio e área fotossintética total da planta. Todas as características, com exceção de espessura de cladódio, apresentaram ganho positivo quando correlacionada com a produção de matéria seca (Tabela 8).

Em relação aos ganhos genéticos para as características bromatológicas, os teores de N, F, K e Ca tiveram maiores ganhos genéticos na seleção direta (Tabela 8). Em programas de melhoramento genético de palma forrageira, deve-se primeiro selecionar plantas resistentes às pragas e doenças e com maior potencial produtivo, aliadas a outras características da planta.

O genótipo IPA-100676 foi selecionado em nove características morfológicas e quanto a PMS, com exceção para característica espessura de cladódio (Tabela 8).

Enquanto o genótipo IPA-100661, foi selecionado em nove características bromatológicas (Tabela 9). Esses são materiais promissores para dar continuidade nas próximas etapas de melhoramento genético da palma forrageira. No entanto, outros genótipos podem ser incorporados em cruzamentos como estratégia de hibridação interespecífica para criar variabilidade ou transferir características de importância econômica que apresentaram ganhos genéticos diretos e indiretos, com base na seleção para as características desejadas.

Tabela 8. Estimativas de ganhos genéticos diretos e indiretos (%) e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), pelo método de seleção direta (valores na diagonal, em negrito) e indireta para as características morfológicas e produtivas.

Características	AP	LP	NC	CC	LC	EC	AC	AFT	IAC	PMS	Genótipos selecionados
AP	21,96	0,15	35,86	7,99	13,26	-0,23	23,7	65,21	18,15	30,21	IPA-200021, IPA-100676 e IPA-100673
LP	-2,89	46,32	4,5	-0,95	4,71	-1,12	2,54	7,84	8,08	16,4	IPA-200016, IPA-200174, e IPA-100676
NC	8,38	-0,09	61,66	3,72	6,01	-4,49	12,9	88,26	32,69	12,66	IPA-200021, IPA-100676 e IPA-200008
CC	21,96	0,15	35,86	7,99	13,26	-0,23	23,7	65,21	18,15	30,21	IPA-100676 IPA-100661e IPA-100673
LC	5,15	-0,18	38,22	4,27	15,36	4,08	18,21	68,04	21,87	4,38	IPA-200174, IPA-100676 e IPA-100673
EC	1,49	-0,17	-46,57	0,82	-1,52	6,75	-1,44	-33,43	-20,27	-3,61	IPA-100673, IPA-200174 e IPA-100661
AC	21,96	0,15	35,86	7,99	13,26	-0,23	23,7	65,21	18,15	30,21	IPA-200021, IPA-100676 e IPA-10066
AFT	8,38	-0,09	61,66	3,72	6,01	-4,49	12,9	81,91	32,76	17,66	IPA-100676 , OEM S e IPA-200008
IAC	8,67	0,11	57,16	3,53	8,9	-2,02	12,81	78,09	36,41	17,13	IPA-100676 , IPA-100673 e IPA-100420
PMS	17,55	5,04	21,25	6,19	8,6	-5,03	18,32	40,15	12,61	33,24	IPA-200021, IPA-100676 e IPA-100673

AP: altura da planta (cm), LP: largura da planta (cm), NC: número de cladódios, CC: comprimento de cladódio (cm), LC: largura de cladódio total (cm), EC: espessura de cladódio (mm), AC: área do cladódio (cm²), AFT: área fotossintética da planta (cm²), IAC índice de área do cladódio, PMS: produção de matéria seca (t de MS.ha⁻¹.ano⁻¹).

Tabela 9. Estimativas de ganhos genéticos diretos e indiretos (%) e seleção de genótipos de palma forrageira *Opuntia* e *Nopalea*, pelo método de seleção direta (valores na diagonal, em negrito) e indireta para as características bromatológicas.

Características	MS	PB	MM	FDA	FDN	N	P	K	Ca	Mg	Na	Genótipos selecionados
MS	6,68	4,57	-11,52	4,33	-3,14	6,39	20,39	4,17	8,21	-5,39	2,76	IPA-100661, IPA-100673, IPA-100420
PB	2,07	18,58	-4,88	-0,31	0,18	29,64	21,86	-0,86	-3,24	-12,48	1,07	IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661
MM	-6,64	-6,20	11,75	-1,51	-1,73	-7,14	-7,31	-10,13	6,64	5,29	-9,64	IPA-200016, IPA-100676, IPA-100673
FDA	5,41	-0,84	-3,27	6,82	-2,72	1,77	14,15	9,02	15,75	3,72	8,51	IPA-100661, IPA-100676, IPA-100673
FDN	-2,58	0,33	-2,47	-1,79	10,98	-1,23	10,25	10,06	-1,32	7,15	10,92	IPA-100661, IPA-200021, IPA-100420
N	1,95	19,88	-3,77	0,43	-0,45	30,08	22,6	-1,53	0,78	-11,62	0,08	IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661
P	5,02	11,85	-3,12	2,79	3,07	18,27	37,32	2,38	18,57	-1,66	-1,66	IPA-100661, IPA-100676, IPA-100420
K	1,80	-0,82	-7,61	3,12	5,29	-2,17	4,18	21,25	-2,54	2,29	16,44	IPA-100661, IPA-200021, IPA-100673
Ca	1,82	-1,58	2,56	2,8	-0,35	0,57	16,73	-1,30	41,40	10,61	-2,95	IPA-100661, IPA-100676, IPA-100420
Mg	-2,6	-13,28	4,44	1,44	4,2	-18,44	-3,25	2,56	23,12	19,01	3,86	IPA-200021, IPA-100673, IPA-200008
Na	1,28	1,09	-7,74	3,15	6,14	0,12	7,14	17,6	-6,16	3,69	19,85	IPA-100672, IPA-100661, IPA 200021

Os ganhos de seleção foram diferentes conforme os índices estudados. O índice proposto por Mulamba e Mock (1978), que hierarquiza os genótipos para cada característica por meio da atribuição de valores absolutos àqueles de melhor desempenho, proporcionou maiores ganhos satisfatórios para as características morfológicas e produtivas (Tabela 10). E o Índice Base Willians (1962) proporcionou maiores ganhos satisfatórios para as características bromatológicas (Tabela 11).

Já o índice distância genótipo-ideotipo, que consiste em fixar um valor ideal para cada característica, criando desse modo o genótipo ideal (ideótipo), parte das médias fenotípicas ajustadas e das distâncias euclidianas de cada indivíduo ao genótipo ideal. Não foi satisfatório para seleção direta e indireta em virtude dos ganhos genéticos de seleção pois a maioria das características apresentaram-se negativas, notadamente para PMS, característica importante para seleção de genótipos (Tabela 8).

Comparando os genótipos de palma forrageira selecionados para cada índice de seleção numa intensidade de 10 %, foi possível observar que o genótipo IPA-100676 foi selecionado em três índices de seleção para as características morfológicas e PMS, e bromatológicas, e os genótipos IPA-100661 e IPA-100673 somente para as características bromatológicas (Tabela 11).

O uso de diferentes índices de seleção para seleção de genótipos de palma forrageira proporciona resultados complementares. Assim, a interpretação em conjunto permite selecionar de maneira mais racional genótipos de palma forrageira, possibilitando auxiliar a melhoria em estudos que envolva mais de uma característica, permitindo dessa forma que sejam selecionados genótipos com características que atendam a necessidade do produtor e do mercado.

Tabela 10. Estimativas de ganhos genéticos (%) em genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) selecionados pelo método de seleção por índices para as características morfológicas e produtivas.

Características	Índice distância	Índice Base	Índice soma de Rank	Índice clássico
	genótipo-ideótipo Cruz (2006)	Willians (1962)	Mulamba & Mock (1978)	Smith (1936) Hazel (1943)
AP	-9,3	8,38	9,78	8,67
LP	-0,17	-0,09	0,24	0,11
NC	-19,8	61,66	42,39	57,16
CC	-5,54	3,72	2,62	3,53
LC	-10,92	6,01	15,15	8,9
EC	-0,01	-4,49	-1,78	-2,02
AC	-17,65	12,9	17,39	12,81
AFT	-42,29	88,26	71,35	78,09
IAC	-11,68	32,69	23,37	36,41
PMS	-16,53	12,66	26,21	17,13
Genótipos selecionados	IPA-200174, IPA-100661 IPA-100420	IPA-200021, IPA-100676 IPA-200008	IPA-200016, IPA-100676 IPA-100673	IPA-100676, IPA-100673 , IPA-100420

AP: altura da planta (cm), LP: largura da planta (cm), NC: número de cladódios, CC: comprimento de cladódio (cm), LC: largura de cladódio total (cm), EC: espessura de cladódio (mm), AC: área do cladódio (cm²), AFT: área fotossintética da planta (cm²), IAC índice de área do cladódio, PMS: produção de matéria seca (t de MS. ha⁻¹. 2 ano⁻¹).

Tabela 11. Estimativas de ganhos genéticos (%) em genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) selecionados pelo método de seleção por índices para as características bromatológicas.

Características	Índice distância	Índice Base	Índice soma de Rank	Índice clássico
	genótipo-ideótipo Cruz (2006)	Willians (1962)	Mulamba & Mock (1978)	Smith (1936) Hazel (1943)
MS	2,15	2,9	2,9	3,17
PB	5,0	3,18	15,92	2,05
MM	-5,99	0,20	-5,65	-2,86
FDA	-0,02	3,8	2,97	3,3
FDN	1,0	4,65	5,5	0,24
N	5,23	7,15	24,43	0,91
P	11,11	35,42	37,5	16,67
K	-8,97	3,99	5,68	3,15
Ca	-6,88	39,91	2,09	-16,89
Mg	-0,29	10,06	-3,49	-3,88
Na	3,03	3,03	12,12	12,12
Genótipos selecionados	IPA-200016, IPA-100672 IPA-200008	IPA-100661, IPA-100676 IPA-100673	IPA-100661, IPA-100676 IPA-100673	IPA-100661, IPA-100676 IPA-100673

3.5 Diversidade genética

De acordo com o dendrograma obtido pelo método de agrupamento hierárquico de UPGMA, os genótipos de palma forrageira foram reunidos em dois grupos principais e dois grupos secundários, conforme o critério estabelecido com o ponto de corte de 1,22 após ajuste de níveis de fusão (Figura 5). A consistência do dendrograma também foi corroborada pela correlação cofenética (0,77**), que foi significativa pelo teste t ($p \leq 0,01$) com ajuste satisfatório, demonstrando confiabilidade na relação entre a matriz de dissimilaridade.

O primeiro grupo foi formado somente pelo genótipo IPA-100672. O segundo grupo formado agrupou os demais genótipos de palma forrageira, com os genótipos IPA-200021 e IPA-200008 sendo os mais divergentes. Dentro desse grupo os genótipos foram agrupados em dois subgrupos, o primeiro formado somente por genótipos do gênero *Nopalea* (IPA-200021, IPA-100676 e IPA-100420) e o segundo subgrupo formado somente por genótipos de gênero *Opuntia* (IPA-200016, IPA-200174, IPA-100661, IPA-100673 e IPA-200008), pois possuem características fenotípicas contrastantes.

A formação de grupos com genótipos com homogeneidade interna e heterogeneidade entre os subgrupos exige uma avaliação mais minuciosa dos genótipos de palma forrageira a fim de realizar seu aproveitamento nos programas de melhoramento, de modo que a divergência genética entre eles seja considerada, sobretudo quando o desempenho individual do genótipo está associado as características de maior relevância agrônômica e econômica.

A diversidade genética em palma forrageira é limitada pelo número restrito de progenitores e a perda de variação genética que geralmente ocorre durante a domesticação da cultura devido a eliminação de características indesejáveis, perda aleatória de alelos e mudanças nas frequências gênicas por causa da adaptação ao ambiente (BOYLE e ANDERSON, 2017).

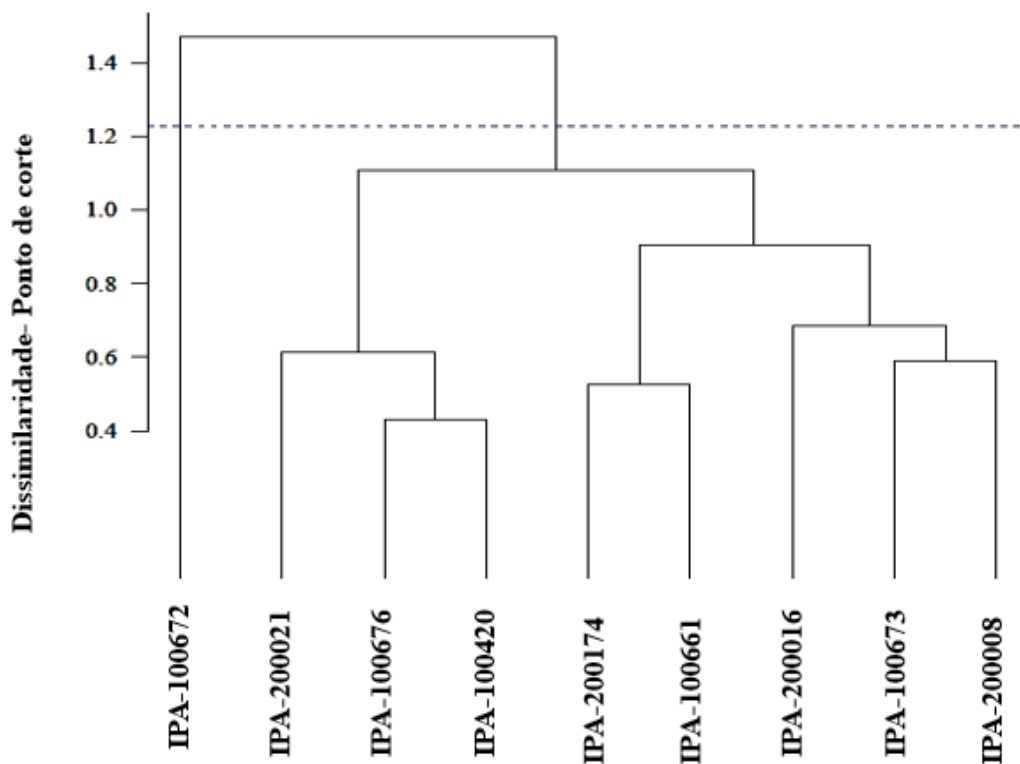


Figura 5. Dendrograma de dissimilaridade genética entre nove genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), com base na matriz de dissimilaridade estimada a partir 14 características morfológicas. No eixo y, encontram-se as distâncias relativas e no x, a identificação dos genótipos.

Pelo método de Singh (1981), constatou-se que as características AP, LP, NC, CC, EC e AC, contribuíram com 94,89% da divergência genética. Duas variáveis (LC e EC) contribuíram com apenas 5,04% e sete delas não contribuem para a diversidade genética (Figura 6).

A estimativa da importância relativa das características é de fundamental interesse em programas de melhoramento que se utilizam respostas fenotípicas da planta a curto prazo, pois possibilita concluir a respeito da viabilidade e o quanto que cada característica contribui quando utilizadas para futuros estudos de divergência genética das características de importância econômica e agrônômica em palma forrageira.

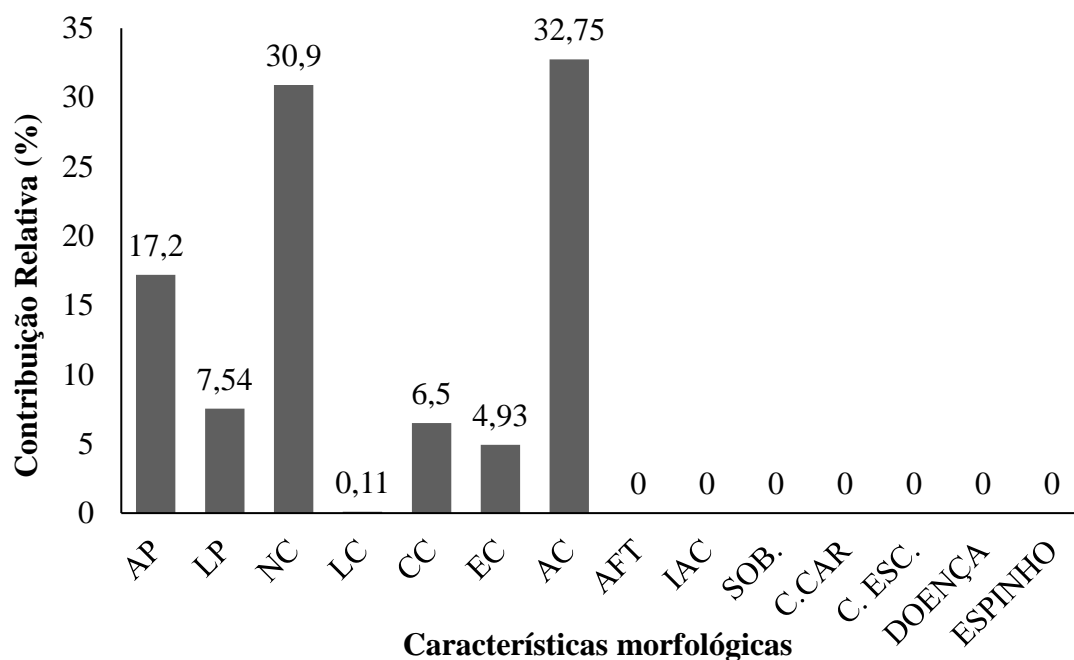


Figura 6. Importância relativa das características morfológicas para o estudo da diversidade genética entre os genótipos de palma forrageira, segundo critério de Singh (1981).

AP: altura da planta (cm), LP: largura da planta (cm), NC: número de cladódios, LC: largura de cladódio (cm), CC: comprimento de cladódio (cm), EC: espessura de cladódio, AC: área do cladódio (cm²), AFT: área fotossintética da planta (cm²), IAC: índice de área cladódio, SOB: sobrevivência, C.CAR: cochonilha de carmim, C. ESC: cochonilha de Escama.

No gráfico de dispersão dos genótipos de palma forrageira, elaborado com base nas cinco primeiras variáveis canônicas (AC, NC, AP, LP E CC) e de maior contribuição relativa para diversidade genética dispostas no espaço tridimensional (Figura 7), observa-se a formação de três grupos. O primeiro grupo formado pelos genótipos de palma forrageira (IPA-200016, IPA-200174, IPA-100661, IPA-200021 IPA-100420, IPA-100673 e IPA-200008), o segundo grupo formado somente pelo genótipo IPA-100676 e o terceiro grupo formado somente pelo genótipo IPA-100672.

Similar ao dendograma os genótipos de palma forrageira que apresentaram maiores desempenho para as características (Tabela 8), foram agrupados no mesmo grupo, enquanto os demais que apresentaram menor desempenho foram agrupados isoladamente em grupos separados. O grupo 1 e 2 são os mais similares e o mais distante é o grupo 3. Assim, no grupo 1 merecem destaque os genótipos IPA-200016, IPA-200174, IPA-100676, IPA-100673 e IPA-200008, por possuírem respostas desejáveis quanto as características avaliadas. Diante disso devem ser utilizados para dar continuidade no programa de melhoramento em palma forrageira (Tabela 8).

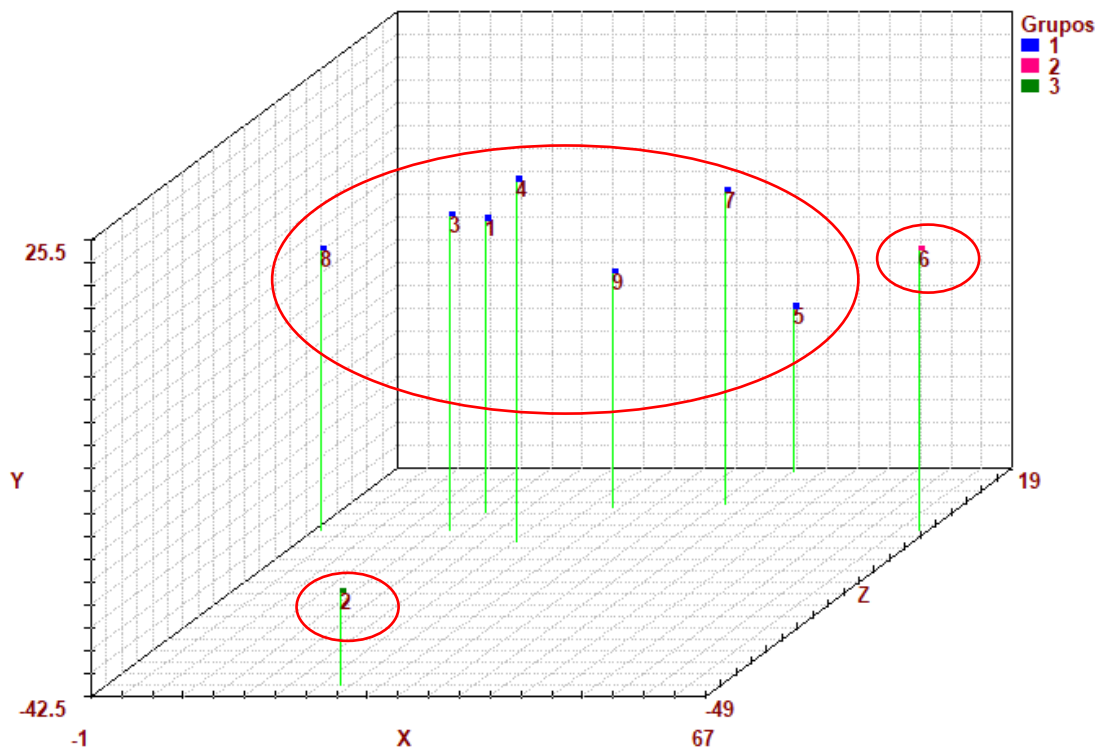


Figura 7. Dispersão gráfica em 3D dos 9 genótipos em relação às 5 primeiras variáveis canônicas de maior contribuição relativa.

1: IPA-200016, 2: IPA-100672, 3: IPA-200174, 4: IPA-100661, 5: IPA-200021, 6: IPA-100676, 7: IPA-100673, 8: IPA-100420, 9: IPA-200008.

A diversidade genética observada entre os genótipos foi importante para compreender as relações filogenéticas entre espécies e gêneros através das características morfológicas avaliadas.

A compreensão da diversidade genética nos níveis intra e interespecíficos, conforme verificados nos métodos utilizados, na qual constatou-se formação de grupos distintos de genótipos com base nas correlações genotípicas e fenotípicas das características avaliadas, é imprescindível para o direcionamento de novas estratégias tendo como base cruzamentos intra e interespecíficos no programa de melhoramento de palma forrageira, para aproveitamento de heterose de genótipos que possuem características com baixa carga genética.

1. CONCLUSÕES

Os genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) apresentaram diferenças morfológicas, mesmo estando no mesmo ambiente.

Todos os genótipos de palma forrageira foram identificados com resistentes a cochonilha do Carmim e susceptíveis a cochonilha de escama.

Os genótipos IPA-200021, IPA-100676, IPA-100673, IPA-100420, e IPA-200008 não apresentaram espinhos em seus cladódios.

Os genótipos, IPA-100672, IPA-200174, IPA-100661, IPA-100673 e IPA-100420 não apresentaram incidência de doenças.

As características que mais contribuíram para a divergência genética foram número de cladódios e área de cladódios.

A existência de variabilidade genética entre os genótipos de palma forrageira nesse estudo revela que é possível selecionar os genótipos IPA-200016, IPA-200174, IPA-100676, IPA-100673 e IPA-200008 para as características de melhor interesse econômico, possuem características morfológicas, produtiva, fitossanitárias e bromatológica desejáveis para dar continuidade ao melhoramento genético da palma forrageira.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-TURKI, T.A., MASRAHI, Y.S., SAYED, O.H. Photosynthetic adaptation of *Euphorbia fractiflexa* (Euphorbiaceae) and survival in arid regions of the Arabian Peninsula. *J. Plant Interact.* V.9, p. 107–111, 2014.

AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. ***Pesquisa Agropecuária Tropical***, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017

ANDREU-COLL, L. et al. Economic estimation of cactus pear production and its feasibility in Spain. ***Trends in Food Science and Technology***, v. 103, p.379–385, 2020.

ARBA, M. et al. Biology, flowering and fruiting of the Cactus *Opuntia* spp.: A review and some observations on three varieties in Morocco. ***Brazilian Archives of Biology and Technology***, v. 60, p.1–11, 2017.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. ***Food Chemistry***, v. 241, n.1, p.127- 134, 2018.

BOYLE, T. H.; ANDERSON, E. F. **Biodiversity and Conservation**. In: Nobel, P. S. (Org). *Cacti: biology and uses*. p. 125, 2017

CHAKRABORTY, K. et al. External potassium (K⁺) application improves salinity tolerance by promoting Na⁺-exclusion, K⁺- accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars. **Plant Physiol. Biochem.** V. 103, p. 143–153, 2016.

CARDOSO, D. B. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, p. 23–31, 2019.

COVARRUBIAS, J. M. Insect pests of cactus pear. In: INGLESE, P. et al. (Org.). **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear: CAM crops for a hotter and drier world**. FAO, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome. p.125-132, 2017.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: UFV, 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. Ed. Viçosa: UFV, 2012. 514p.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016

CRUZ, B. A. Cultivation of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. under different soil management practices: A possible sustainable agricultural system to promote soil carbon sequestration and increase soil microbial biomass and activity. **Land Degradation & Development**, v. 29, p. 38-46, 2018.

DETMANN, E. et al. **Métodos para Análise de Alimentos - INCT - Ciência Animal**. 2 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 214p. 2021.

DICK, M. et al. Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten free crackers. **Food Chem**, 2020.

DUBEUX JR., J.C.B. et al. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-201. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 5, p. 129–135, 2010.

GALIZZI, F.A., et al. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus-indica*, in a traditional farm setting in Argentina. **Journal of Arid Environments**. V. 59, p. 115–132, 2004.

GRANATA, G.; FAEDDA, R.; OCHOA, M. J. Diseases of cactus pear. In: INGLESE, P. et al. (Org.). **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear: CAM crops for a**

hotter and drier world. FAO, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome. p.115-122, 2017.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. ed. **Fisiologia vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.

NEFZAOU, M.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C. Multivariate analysis of phenotypic traits of forage cactus accessions in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON CACTUS PEAR AND COCHINEAL: “CAM crops for a hotter and drier world”, 9, 2017. **Proceedings.** Coquimbo: FAO-ICARDA-CACTUSNET, 2019. p. 29.

LAS CASAS, G. Genetic diversity in opuntia spp. Cultivated for forage production. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 19, p. 1–10, 2017.

LIGUORI, G. et al. Effect of addition of *Opuntia ficus-indica* mucilage on the biological leavening, physical, nutritional, antioxidant and sensory aspects of bread. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 129, n. 2, p. 184-191, 2020.

LIMA, L. R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga*, v. 31, p. 191-201, 2018.

LÓPEZ, U. S. et al. Yield of forage, grain and biomass in eight hybrids of maize with different sowing dates and environmental conditions. **Revista Mexicana de Ciências Pecuárias**, v. 9, n. 1, p. 86-104, 2018.

LUCENA, L. R. R. et al. Estimation of cladode area of *Nopalea cochenillifera* using digital images. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 21, p. 32–42, 2019.

MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MÉNDEZ, L.P. et al. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. **Food Chem.** V.188, p. 393–398, 2015.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40–51. 1978.

PESSOA, D.V. et al. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: nutritional value. **Journal of Arid Environments.** 2020.

PEREIRA, P. D. C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 184–195, 2015.

PEREIRA, P. C. et al. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 776-785, 2017.

R CORE TEAM, 2020. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>

RAHUL, D. et al. Effect of shade levels on growth, and biomass production of cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. v. 7, p. 3145–3153, 2018.

REZENDE, F. M. et al. Nutritional effects of using cactus cladodes (*Opuntia stricta* Haw) to replace sorghum silage in sheep diet. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 1875-1880, 2020.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Arquivo de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 363-371, 2017.

SAKAR, E. H. et al. Codification and description of almond (*Prunus dulcis*) vegetative and reproductive phenology according to the extended BBCH scale. **Scientia Horticulturae**. v. 247, p. 224–234, 2019.

SALES, A. T. et al. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 7, n. 1, p. 19-24, 2013.

SALEHI, E. et al. *Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 206, p. 565-572, 2019.

SANTOS, D.C. **Estimativas de parâmetros genéticos em caracteres de clones da palma forrageira**. 1992. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS, D. C. et al. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111–121, 2013.

SCHMILDT, E. R. et al. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. **Coffee Science**. v. 9, p.155-167, 2014.

SILVA, N. G. M. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma- forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade- **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SILVA, P. F. et al. Morphology and biomass yield of forage cactus under mineral fertilization in organic soil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 37, p. 3497–3505, 2016.

SILVA, A. S. et al. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoproductivas sob correlações canônicas. **Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 100-106, 2020.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, p. 237-245. 1981.

SOUZA, A. E. F.; NASCIMENTO, L. C.; SOUZA, B. O. Principal components of the intensity of squamous rot on prickly pear plantations in the semiarid region of the state of Paraíba, Brazil. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 370–376, 2017.

SOUZA, M.S. et al. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. **Archivos Agronomy Soil Scienc.** v. 52, 2020.

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 827-831, 2009.

VOLPE, M., GOLDFARB, J. L., FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 310-318, 2018.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v. 18, p. 375-393, 1962.

WHITE, P. J. Improving potassium acquisition and utilisation by crop plants. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** V. 176, p. 305–316. 2013.