

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**DESCRITORES MORFOLÓGICOS E INDICADOR DE  
METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO EM CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA**

**NÚBIA MEIRELLY LOPES DA SILVA EPIFÂNIO**

**RECIFE - PE  
FEVEREIRO - 2019**

*EPIFÂNIO, N. M. L. S. Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de Palma forrageira.*

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**DESCRITORES MORFOLÓGICOS E INDICADOR DE  
METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO EM CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA**

**NÚBIA MEIRELLY LOPES DA SILVA EPIFÂNIO  
(ENGENHEIRA AGRÔNOMA)**

**RECIFE - PE  
FEVEREIRO - 2019**

**NÚBIA MEIRELLY LOPES DA SILVA EPIFÂNIO**

**DESCRITORES MORFOLÓGICOS E INDICADOR DE  
METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO EM CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba), como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Forragicultura

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Mércia Virginia Ferreira dos Santos

Conselheiros: Prof. Dr. José Carlos Batista Dubeux Jr.

Prof. Dr. Mário de Lira Andrade (*in memoriam*)

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO – 2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

E64d Epifânio, Núbia Meirelly Lopes da Silva.  
Descritores morfológicos e indicador de metabolismo  
fotossintético em clones de Palma forrageira / Núbia Meirelly Lopes  
da Silva Epifânio. – Recife, 2019.  
84 f.: il.

Orientador(a): Mércia Virginia Ferreira dos Santos.  
Coorientador(a): José Carlos Batista Dubeux Jr., Mário de Lira  
Andrade.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife,  
BR-PE, 2019.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Cacto 2. Plantas 3. Plantas forrageiras 4. Morfofisiologia  
5. Regiões áridas I. Santos, Mércia Virgínia Ferreira dos, orient.  
II. Dubeux Jr., José Carlos Batista, coorient. III. Andrade, Mário de  
Lira, coorient. III. Título

CDD 636

**DESCRITORES MORFOLÓGICOS E INDICADOR DE  
METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO EM CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA**

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 25 de fevereiro de 2019.

Presidente \_\_\_\_\_

Prof<sup>a</sup>. Mércia Virginia Ferreira dos Santos  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Zootecnia

Comissão Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Albericio Pereira de Andrade  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Unidade Acadêmica de Garanhuns - UAG

\_\_\_\_\_  
Prof. Divan Soares da Silva  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB  
Departamento de Zootecnia – Campus II

\_\_\_\_\_  
Prof. Mario de Andrade Lira Junior  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Agronomia

\_\_\_\_\_  
Prof. Toni Carvalho de Souza  
Instituto Federal Baiano

**RECIFE- PE  
FEVEREIRO-2019**

*A Deus, minha força, fortaleza e eterno guia;*

*Ao meu esposo, amigo e companheiro Amaro Epifânio Pereira Silva, meu porto seguro, por seu indescritível e imensurável amor, cuidado e confiança doados a mim em todos os momentos desta incrível jornada e de toda vida.*

## **OFEREÇO**

*Ao meu amado esposo Amaro Epifânio;*

*Aos meus queridos pais Eliude & Enésio, e inigualáveis irmãos Enésio Filho e Rayssa Mirella;*

*A minha amada avó Iraci Lopes (in memorian);*

*Com todo meu amor...*

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Para mim, este trabalho, hoje, representa muito mais que uma tese. É o fechar de um ciclo de total superação, luta, dedicação, persistência, vitórias e aprendizados. Sei que outros ciclos serão iniciados em breve e quero ter toda esta garra novamente. Perdi as contas das vezes que, durante esses anos de doutoramento pensei em desistir e achei que eu não seria capaz de conseguir chegar até aqui, mas cheguei. Deus foi minha maior força, e depois Dele, sei que sozinha eu não teria conseguido, por isso, quero externar a todos meus agradecimentos.

Primeiramente, sou eternamente grata a Deus por tudo que Ele fez na minha vida, por sempre me sustentar, por sempre me conceder tantas bênçãos e me ajudar a concluir esta jornada. Sem a permissão do meu Deus, nada disto seria possível. “Portanto, Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele seja dada toda a Glória, para sempre!” (Romanos 11:36).

Ao meu esposo Amaro Epifânio, com quem pude aprender o que é o verdadeiro amor, aquele de total entrega e compreensão, de doar-se sem esperar nada em troca. Sem seu apoio meu amor, nada disto teria sido possível. Obrigada por fazer dos meus sonhos, os nossos sonhos e lutar para que tudo fosse possível. Sabíamos que esta jornada não seria fácil, mas lutamos, superamos tudo, inclusive a distância entre países para que eu pudesse viver um sonho. Tu fostes e és meu complemento, o amor da minha vida. Este trabalho é nosso! Nossas conquistas, aprendizados, dores e vitórias! Minha eterna gratidão pela pessoa que você me ajuda a ser, por sua dedicação a mim, a nós e a nossa família. Obrigada por sempre segurar minha mão e nunca me deixar desistir. Love you muchly!

Aos meus pais Eliude e Enésio, e aos meus irmãos Enésio Filho e Rayssa Mirella, sei que por vezes sei que fui muito ausente em momentos importantes, mas sempre soube que podia contar com a compreensão, amor e apoio de vocês. Obrigada minha mãe por tudo que a senhora teve que abrir mão por mim. Obrigada meu pai(drasto) Enésio por cuidar de mim como seu próprio sangue. E aos meus irmãos, Enésio Filho e Rayssa Mirella, obrigada por um dia me dizerem que era em mim que vocês se espelhavam, vocês não têm ideia do incentivo que me deram. Tenho muito orgulho de chamá-los de meus!

Aos meus Tios Marise e Antônio, e meus primos Guto e Duda, por desde sempre estar ao meu lado, desde o meu nascer. Obrigada por acompanhar por toda essa jornada tão de perto, desde o resultado de vestibular e por torcerem por mim incansavelmente.

Vocês são mais que tios e primos, são outros pais e irmãos que a vida me permitiu ter. Em momentos de dores e glórias, sempre e para sempre juntos!

A minha sogra, Maria José (D. Zita), por me acolher como filha em sua família, por cuidar tanto de nós e fazer o (im)possível por nossa família! Minha (nossa) gratidão por seu amor, cuidado e apoio sempre.

A todos meus familiares, meu muito obrigada por tudo!

Com muita saudade, agradeço a alguém que tanto me amou e cuidou de mim, aquela que faz tanta falta na minha vida e que eu gostaria de tê-la aqui no findar de mais esta conquista, para comemorarmos juntas. Minha vó Iraci, minha Corre Campo. Obrigada por tudo que a senhora fez por mim, por seu amor incondicional e por cuidar de mim aqui e aí onde a senhora se encontra hoje! Lhe amo para além desta vida!

Não poderia jamais deixar de mencionar e ser imensamente grata a “Minha mãe dos outros” Fatinha, ou para os demais, Prof<sup>a</sup> Fatima Barros. Minha primeira mãe científica e que a vida permitiu passar para além da academia. Por sua atenção, dedicação, amizade, carinho e ensinamentos, minha eterna gratidão.

Aos meus amigos, minha gratidão por sempre entender meus tantos “Não”, minha ausência e por me apoiarem sempre. Nathalia e Diego Bezerra, Leonam e Leidijane Soares, Marcelo e Karol Silva, Lílian Palhares, Elienai Nascimento, Newton Isllan, Vívian Oliveira. Aos Amigos que a Estação de cana-de-açúcar de Carpina (EECAC) me proporcionou, Dr<sup>o</sup> Djalma Eusébio e sua esposa Fatima, Suzana, Badé, Walber e Joana, Célia, Celina, Andréa, Ismael, Armando, Diogo, Gilberto e Emmanuele, Elifas, Williams e Juliana. A todos, nossa amizade (real e sincera) jamais será esquecida.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE por me acolher desde o dia 15/01/2008. Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em especial a pessoa do Coordenador e Prof. Francisco (Chiquinho), pela oportunidade de realizar meu Doutorado e por todo apoio ao longo desta caminhada durante esses 4 anos. Agradeço aos colegas da Pós-graduação pelo apoio e incentivo. Agradeço em especial aos amigos que aqui pude fazer: Jasiel Moraes, Jeska Fernandes, Rayanne Souza, Fernanda Dantas, Williane Diniz, Natalia Lima, Amanda Gallindo, Renann Afonso, Tomás Guilherme, Géssica Solana, Chrislanne Carvalho, José Diógenes, Toni Carvalho, Osniel Farias, Lenildo Teixeira, André Ferraz (principalmente por sua parceira no PDSE), Dona Lica, Seu Pedro, Cristina e Cynthia.

Agradeço de maneira especial a alguns professores que foram fundamentais para a minha formação como Doutora:

A minha Orientadora Prof<sup>a</sup> Mércia Virginia, como a disse antes, a senhora é como uma mãe para mim. Não há palavras que descrevam minha admiração pela senhora. A senhora é uma verdadeira incentivadora. Obrigada por todo ensinamento, compreensão, paciência, por não desistir de mim e por toda sua disponibilidade. Obrigada por confiar em mim para realizar este trabalho e representar nosso grupo em outra Universidade, a senhora me ajudou a realizar um grande sonho meu, e por isso e tanto mais, minha gratidão. Ao meu coorientador and my advisor Prof. Dubeux Jr., como já dito em tantos outros momentos, o admiro e respeito imensamente. Obrigada de coração por me ajudar e apoiar de todas as formas (im)possíveis! Sou e serei eternamente grata ao senhor por tudo! Ao meu eterno coorientador, e como ele uma vez disse, ao meu amigo Prof. Mário Lira pai (*in memorian*)! As marcas deixadas por este grande homem jamais esquecerei. Toda sua filosofia, ciência e história de vida que tanto inspiram, sua sabedoria e dedicação ao saber, o tempo jamais apagará. Obrigada por todo seu ensinamento, por sua incansável ajuda e pelo carinho. Ao Prof. Márcio Vieira por sempre me atender com tanta boa vontade e compreensão. Por sua ajuda constante e ensinamentos, sou grata. Ao Prof. Alexandre Mello por seus ensinamento e conselhos desde a qualificação e em todo momento. Ao Prof. Mário Jr por todo ensinamento ao longo de toda minha jornada acadêmica e por ser um exemplo, meu muito obrigado. Ao Prof. Marcelo Ferreira e a Prof<sup>a</sup> Sherlânea Vêras, pelo ensinamento repassado e amizade. A todos os membros da banca examinadora, minha gratidão pelos conselhos e disposição em ajudar a melhorar nosso trabalho.

Ao Instituto Agronômico de Pesquisa – IPA, principalmente a pessoa de Djalma Santos, pelo apoio constante e incansável, permitindo e viabilizando este estudo, e se hoje sou uma profissional melhor no campo, tenha certeza que foram seus ensinamentos. A Dr<sup>a</sup> e Amiga Conceição, pelo companheirismo e ensinamento ao longo desta jornada, meu muito obrigada, seu apoio foi e é fundamental sempre. A Dr<sup>a</sup> Vanda por todas conversas e ajudas que me foram dadas. Nogan e Arnóbio, por deixarem seu conforto e enfrentarem a madrugada no palmal comigo, bem como o sol do meio dia neste nosso Agreste tão lindo, sem vocês, de fato, eu não teria conseguido. A Flávio e Maciano, muito obrigada pela amizade e ajuda de sempre.

E finalmente, um agradecimento tão especial quanto os demais, porém, saudoso e distante. Agradeço de alma e coração a Universidade da Flórida pelo acolhimento, por me aceitar e me fazer parte desta família que amo. Go Gators! Durante minha vida sempre sonhei em ser parte da UF e Deus me permitiu realizar este sonho. Hoje, posso dizer que

tenho uma família Norte Americana, a família NFREC-UF-Marianna. Vicky Morris, minha tão distante e doce amiga. Tina Gwin e Gina Arnett minhas eternas mães. Prof Dubeux como um pai, Martin como Captain, o Forage team como irmãos e aos tantos amigos que pude fazer, Luara Canal, Little Ray, Calvin Allen, Tessa Schulmeister, Heidi e Elijah Conrad, e em especial Caroline Monteiro e Jaime Garzon. A saudade de vocês chega a doer e a gratidão não cabe em mim. Grata por poder ser aluna do tão ilustre Prof. Sollemberger, conviver com Prof. Nicolas Dilorenzo, conhecer o Prof João Vendramini e Marcelo Wallau. Sou grata ao carinho (e amor) de todos por mim.

Enfim, como não ser grata a tudo isso? Deus em sua infinita bondade me permitiu viver esta jornada tão linda, enriquecedora e importante na minha vida, e eu jamais esquecerei. Meu obrigado a todos que viveram comigo todo este sonho e todas as lutas.

**Obrigada de coração!**

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	xiii
Capítulo II.....	xiii
Capítulo III .....	xiii
LISTA DE FIGURAS .....	xv
Capítulo II.....	xv
Capítulo III .....	xv
RESUMO GERAL .....	1
ABSTRACT .....	3
CAPÍTULO I.....	7
1. REFERENCIAL TEÓRICO .....	8
1.1. Histórico da Palma forrageira.....	8
1.2. Importância da Palma forrageira .....	8
1.3. Características da Palma forrageira .....	10
1.3.1. Fisiologia.....	10
1.3.2 Morfologia e produtividade.....	11
1.3.3 Composição química .....	15
1.3.4 Composição isotópica.....	17
1.4. Programa de melhoramento da Palma forrageira .....	18
2. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	21
CAPÍTULO II.....	27
RESUMO .....	28
ABSTRACT .....	29
1. INTRODUÇÃO .....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	31
1. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
2. CONCLUSÕES.....	42

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
CAPÍTULO III .....	46
Caracterização de genótipos de palma forrageira sob condições controladas de solo e umidade .....	46
RESUMO .....	47
ABSTRACT .....	48
1. INTRODUÇÃO.....	49
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
4. CONCLUSÕES.....	64
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68

## **LISTA DE TABELAS**

### **Capítulo II**

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo utilizado, Arcoverde-PE.....	32
Tabela 2. Progênes de Palma forrageira avaliadas, Arcoverde-PE .....	32
Tabela 3. Teor relativo de água (%) nos genótipos de Palma forrageira, conforme a avaliação e horário de coleta na época seca, Arcoverde-PE.....	35
Tabela 4. Teor relativo de água (%) nos genótipos de Palma forrageira durante época chuvosa, Arcoverde-PE .....	36
Tabela 5. pH dos genótipos de Palma forrageira, conforme horário e avaliação na época seca, Arcoverde-PE .....	37
Tabela 6. pH dos genótipos de Palma forrageira, conforme horário e avaliação na época chuvosa, Arcoverde-PE .....	38
Tabela 7. Análise descritiva dos descritores morfológicos analisados em clones de palma forrageira, Arcoverde - PE.....	39
Tabela 8. Componentes principais, destacando a % acumulada da variação total dos dados morfológicos analisados em clones de palma forrageira, Arcoverde - PE.....	39
Tabela 9. Contribuição relativa de cada variável morfológica para a variação dos genótipos de Palma forrageira, Arcoverde - PE .....	40
Tabela 10. Agrupamento de Tocher formado de acordo com as características e escores de cada genótipo de palma forrageira e valores de média, intervalo de confiança (IC) e coeficiente de variação (CV) dos descritores morfológicos avaliados, Arcoverde - PE	41

### **Capítulo III**

Tabela 1. Genótipos de Palma forrageira avaliados no experimento .....	51
Tabela 2. Características físicas e químicas do solo utilizado, Arcoverde-PE.....	51
Tabela 3. Características avaliadas nos genótipos da palma forrageira do experimento e respectivas escalas de notas utilizadas.....	53
Tabela 4. Médias gerais de ataques (ATCC e ATCE) e danos de cochonilha do carmim e escama (DCC e DCE) em genótipos de palma forrageira .....	54
Tabela 5. Ataque da cochonilha de escama (ATCE) em genótipos de Palma forrageira, conforme o tipo de solo .....	55
Tabela 6. Características radiculares de genótipos de palma forrageira.....	58

Tabela 7. Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), Matéria mineral (MM), Proteína bruta (PB), Fibra em detergente neutro (FDN), Fibra em detergente Ácido (FDA) e Digestibilidade de clones de palma forrageira.....	59
Tabela 8. Teor de nitrogênio e carbono, composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em genótipos de palma forrageira .....	60

## **LISTA DE FIGURAS**

### **Capítulo II**

Figura 1. Precipitação mensal durante o período experimental, 2013- 2018, Arcoverde-PE .....	32
--	----

### **Capítulo III**

Figura 1. Número de brotação de plantas em genótipos de palma forrageira .....	57
Figura 2. Número de brotações de genótipos de palma forrageira de acordo com os níveis de umidade na capacidade de pote .....	57
Figura 3. Teor de nitrogênio (a); carbono (b), composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ (c) e Composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ (d) em clones de palma forrageira submetidos a diferentes condições edáficas .....	61

## DESCRITORES MORFOLÓGICOS E INDICADOR DE METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO EM CLONES DE PALMA FORRAGEIRA

### RESUMO GERAL

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é o principal recurso forrageiro para os animais durante os períodos de escassez de forragem em regiões semiáridas do Nordeste do Brasil. A cochonilha do carmim é uma praga que resulta em grandes perdas da cultura e a utilização de genótipos resistentes é uma importante estratégia para sustentabilidade dos sistemas de produção animal. Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro experimento conduzido em condições de campo no IPA-Arcoverde-PE, com objetivo de caracterizar genótipos, utilizando-se descritores morfológicos e técnica de componentes principais e agrupamento. O delineamento utilizado foi blocos completos ao acaso, com três repetições, no qual foram avaliados seis genótipos de palma, sendo três do gênero *Opuntia* (F8, OEM e IPA-20) e três do gênero *Nopalea* (Miúda, IPA Sertânia e F21). Cada parcela continha 10 linhas, com espaçamento de 1,5 m entre linhas e 0,4 m entre plantas. As avaliações foram realizadas nos anos de 2016 e 2018, ao final de cada época seca e chuvosa do ano. Foram avaliadas teor relativo de água e acidez do cladódio através do pH em coletas realizadas às 0, 6, 12, e 18 h. Também se avaliou os descritores morfológicos da planta em cada época do ano, sendo realizada a análise de componentes principais e agrupamento pelo método de Toucher. Os teores de água e o pH acidez nos genótipos variaram com a época de avaliação, de forma que quando a umidade aumenta, o pH diminui. Os valores de pH variaram na época seca de 4,07 a 4,78 no ano 1, enquanto para o ano 2 foi de 4,13 a 5,01. Na época de chuva, os valores variaram entre 4,25 a 5,24 no primeiro ano e entre 4,34 a 5,33 no segundo. Para os valores teor relativo de água, observou-se variação entre 25,70 a 63,93 durante o primeiro ano e 32,25 a 64,42 no segundo ano, ambos na estação seca, e para a estação chuvosa variou entre 59,16 a 73,58. Os descritores morfológicos avaliados permitiram classificar os genótipos em três grupos distintos, sendo o primeiro representado pelo F8, Miúda e OEM, o segundo por F21 e Sertânia e o terceiro por IPA-20. Os descritores morfológicos com maior contribuição na diferenciação entre os genótipos avaliados foram relacionados às características dos cladódios. O segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação com objetivo de avaliar a resistência à cochonilha do carmim e de escama, características do sistema radicular, valor nutritivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio de genótipos de palma forrageira sob distintas condições edáficas. O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso com arranjo fatorial 6 (genótipos) x 2 (solos) x 4 (umidade), com quatro repetições. Os fatores estudados foram seis genótipos de palma forrageira, sendo três do gênero *Opuntia* (F8, Orelha de Elefante Mexicana [OEM] e IPA-20) e três do gênero *Nopalea* (Miúda, IPA Sertânia e F21). Estes genótipos foram provenientes do Instituto de Pesquisa Agrônomo – IPA oriundos do Programa de Melhoramento Genético Vegetal (IPA/UFRPE). Os níveis de umidade utilizados foram 25, 50, 75 e 100% da capacidade de pote. Para plantio das plantas utilizou-se baldes com capacidade de 10 kg, sendo a água repostada semanalmente para atingir o nível de umidade utilizado. Aos 180 dias de experimento foram atribuídas notas de ocorrência e danos de pragas, brotação, emissão de raízes e sobrevivência, sendo as plantas colhidas em seguida. Também foram determinados os teores de C, N,  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  dos genótipos submetidos a diferentes condições. Os tipos de solos e níveis de umidade do solo não afetaram a resistência/susceptibilidade a pragas e composição química dos genótipos de palma forrageira. Os genótipos F8, IPA-20 e Sertânia se apresentaram susceptíveis a pelo menos

uma das cochonilhas. Os genótipos OEM e Miúda se comportaram imunes a cochonilha do carmim, enquanto que pela baixa incidência, os genótipos OEM e F21 se apresentaram tolerantes. Os clones apresentaram maior incidência das raízes médias, seguidas pelas finas e grossas. O genótipo F21 se destacou em brotação aos seis meses de idade, comparado aos genótipos OEM e Miúda. Os clones estudados apresentaram perfil similar de nitrogênio. O genótipo Miúda apresentou maiores teores de carbono (34,05%) e isótopos de carbono (-18,75‰). O genótipo OEM possui valores mais enriquecidos de  $\delta^{15}\text{N}$  (13,60‰), seguidos pelo genótipo F21. Os clones OEM, F21 e Miúda apresentam metabolismo MAC facultativo de acordo com os valores de isótopos de carbonos encontrados.

**Palavras-chave:** agrupamento, cactáceas, isótopos, morfofisiologia, semiárido.

## MORPHOLOGICAL DESCRIPTORS AND INDICATOR OF PHOTOSYNTHETIC METABOLISM IN FORAGE PALM CLONES

### ABSTRACT

The forage cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) is the main feed resource for livestock during the stages of forage scarcity in arid and semi-arid regions. Carmine cochineal is a pest that results in severe crop losses and the use of resistant genotypes is a new strategy for the sustainability of animal production systems. Two experiments were carried out to evaluate forage cactus genotypes submitted to different edaphic conditions. The first one was conducted under field conditions at IPA-Arcoverde-PE, with the objective of characterizing genotypes using morphological descriptors and techniques of main components and clusters. A randomized complete block design with three replicates was used, in which six genotypes of cactus were evaluated, three of the genus *Opuntia* (“F8”, “Orelha de elefante mexicana” (“IPA-20”) and three of the genus *Nopalea* (“Miúda”, “IPA Sertânia” and “F21”). Each plot contained 10 lines, spacing 1.5 m between rows and 0.4 m between plants. The evaluations were carried out in the years 2016 and 2018, at the end of each dry and rainy season of the year. Response variables included water content and acidity of cladodium by pH at equidistant times at dawn, with collections at 0, 6, 12, and 18 h. Plant's Morphological descriptors were also evaluated at each time of the year, and the principal components analysis and clustering were performed by the Touche method. Water content and acidity of pH in the genotypes vary with the evaluation period, so that when the humidity increases, the pH decreases. The pH values varied in the dry season from 4.07 to 4.78 in year 1, while for year two it was from 4.13 to 5.01. In the rainy season, the values varied between 4.25 to 5.24 in the first year and between 4.34 to 5.33 in the second. For the values of relative water content, it was observed a variation between 25.70 and 63.93 during the first year and 32.25 to 64.42 in the second year, both in the dry season, and for the rainy season varying between 59.16 at 73.58. The morphological descriptors evaluated allowed us to classify the genotypes into three distinct groups, the first F8, Miúda and OEM, the second by F21 and Sertânia and the third by IPA-20. In the cladodes are the characteristics of the morphological descriptors that have greater contribution in the differentiation between the evaluated genotypes. The second experiment was conducted in a greenhouse with the objective of evaluating the resistance to carmine and scale cochineal, characteristics of the root system, nutritive value and isotopic composition of carbon and nitrogen in forage cactus genotypes under different edaphic conditions. The experimental design was a randomized complete block with factorial arrangement 6 (genotypes) x 2 (soils) x 4 (humidity), with four replications. The factors studied were six genotypes of forage cactus, three of the genus *Opuntia* (“F8”, “Orelha de elefante mexicana” and “IPA-20”) and three of the genus *Nopalea* (“Miúda”, “IPA Sertânia” and “F21”). These genotypes came from the Institute of Agronomic Research - IPA from the Plant Breeding Program (IPA / UFRPE). The moisture levels used were 25, 50, 75 and 100% of the pot capacity. For the planting of the plants, buckets with a capacity of 10 kg m<sup>3</sup> were used, the water was replenished weekly to reach the humidity level used. At 180 days of the experiment, the occurrence, pest damage, sprouting, root emission and survival notes were given, after which the plants were harvested. The levels of C, N,  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of the genotypes submitted to different conditions were also determined. Soil types and soil moisture do not affect the

resistance/susceptibility to pests and chemical composition of forage palm genotypes. Genotypes F8, IPA-20 and Sertania are susceptible to at least one of the cochineal. Genotypes OEM and Miúda behave as immune to carmine cochineal, while low incidence genotypes, OEM and F21, are tolerant to low levels of infestation. The clones presented higher incidence of the medium roots, followed by the thin and thick roots for the three clones studied. The F21 genotype was highlighted in budding at six months of age compared to OEM and Miúda genotypes. The clones studied showed a similar profile to nitrogen. For the carbon profile, genotype “Miúda” showed greater values of carbon (34.05%) and carbon isotopes (-18.75‰). The “orelha de elefante mexicana” genotype has a more enriched nitrogen isotopic composition (13.60‰) followed by the “F21” genotype. The “Orelha de elefante mexicana” genotypes, “F21” and “Miúda”, presented facultative CAM metabolism according to the carbon isotope values found.

**Key words:** cacti, clustering, isotopes, morphology, semiarid.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As regiões áridas e semiáridas são conhecidas por sua irregular distribuição de chuvas, acarretando longos períodos de estiagem e escassez de alimentos para alimentação animal, e apesar deste cenário, a agropecuária é uma das principais atividades destas regiões.

A palma forrageira possui variedades adaptadas a diferentes condições de solo e clima, sendo as dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* as mais utilizadas pelos produtores.

Essa cactácea tem elevado teor de água, minerais, fibras, carboidratos e energia para os animais, tornando-a uma alternativa viável para fornecimento de forragem, principalmente nos períodos de estiagem.

O mecanismo fotossintético da palma forrageira é o Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), que permite fechamento dos estômatos durante o dia e abertura a noite. Este mecanismo permite que a planta reduza a perda de água para o ambiente durante a fase clara da fotossíntese, tornando-a mais eficiente no uso da água, principalmente quando comparadas às plantas com metabolismo fotossintético C3 e C4, comuns a leguminosas e gramíneas tropicais, respectivamente.

Existem variedades de palma forrageira que são resistentes ao ataque de cochonilhas do carmim e de escama, principais pragas desta cultura, sendo essas importantes alternativas para o produtor rural. Apesar da sua tolerância a seca, quando cultivada em condições edáficas mais favoráveis, como tipo de solo e livre demanda hídrica, a palma forrageira pode aumentar ainda mais o seu desempenho e atingir seu potencial máximo produtivo.

A morfologia destas plantas e resistência ao ataque de pragas apresenta relação com a produção de biomassa, bem como também podem ser afetadas pelas condições de cultivo sob stress ou maior demanda hídrica. As variações nas condições hídricas podem fazer com que a palma forrageira tenha seu metabolismo modificado e passe a ter comportamento MAC facultativo, apresentando o metabolismo fotossintético C3 e consequentemente, diferente teor de nitrogênio e carbono, assim como também sua composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ .

As condições de cultivo ainda podem alterar características importantes na caracterização de variedades e grupos. O uso de componentes principais possibilita caracterização de grupos de plantas, sendo importante em trabalhos de avaliação e seleção de genótipos

Objetivou-se estudar seis genótipos de palma forrageira submetidos a distintas condições edáficas, avaliando resistência a ataques de cochonilhas, valor nutricional, composição isotópica e descritores morfológicos. Deste modo, a presente tese está dividida da seguinte forma: Capítulo 1 – Referencial teórico; Capítulo 2 - Variabilidade morfofisiológica em genótipos de palma forrageira e Capítulo 3 - Caracterização de genótipos de palma forrageira sob condições controladas de solo e umidade.

**CAPÍTULO I**  
**Referencial teórico**

---

## **1. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1. Histórico da Palma forrageira**

No Brasil a introdução desta cultura se deu por volta da década de 70 do século XIX com intuito de ser hospedeira do inseto conhecido como cochonilha-do-carmim (*Dactylopius coccus* [Cockerell]) que é capaz de produzir corante de cor marcante, sendo na época de alto valor e apreciado pelos nobres. De acordo com Rocha (2012), logo em seguida a palma passou a ser usada como planta ornamental.

As pessoas envolvidas com o cultivo da palma perceberam que era resistente à seca e apreciada pelo gado quando. Frota et al. (2015) relatam que essa nova finalidade teve início em meados de 1932 por ação governamental que autorizou a implantação de 200 campos de palma no Nordeste do Brasil para diminuir o impacto provocado pela seca que assolava a região.

Domingues (1963) relata que a disseminação da palma forrageira no estado de Pernambuco se deu por meio de um Decreto do Interventor, que oferecia prêmios aos produtores que seguissem as recomendações exigidas para a produção da cultura, como: espaçamento, alinhamento, ausência de falhas, bom desenvolvimento e bom trato cultural. Suassuna (2013) comenta que esses campos se localizavam próximo às regiões onde já se cultivava a planta e se estabeleceram no entorno da antiga cidade de Pedra em Alagoas, de Paulista em Pernambuco, e de Rio Tinto na Paraíba, motivo pelo qual esses são os três estados de maior tradição no cultivo e produção de palma no Brasil.

A partir disto, a palma forrageira ganhou espaço na agricultura sendo cultivada em larga escala, em diversos estados nordestinos (MOURA et al., 2011). Leite et al. (2014) afirmam que a palma forrageira tem sido largamente cultivada no Nordeste do Brasil. Considerando seu uso principalmente durante a acentuada redução de massa de forragem que ocorre durante o período seco do ano, o qual tem duração de oito meses (LIRA et al., 2017), esta forrageira é o alicerce da alimentação de ruminantes nesta região.

### **1.2. Importância da Palma forrageira**

Na região semiárida, particularmente durante a época seca (SIQUEIRA et al., 2017), a redução da produtividade e do valor nutritivo dos pastos faz com que os produtores busquem por alternativas alimentares que minimizem os custos de produção e o uso de concentrados, sem afetar a produtividade do rebanho.

Uma estratégia de adaptação às mudanças ambientais consiste em conhecer os fatores que influenciam a produtividade agrícola, como por exemplo as necessidades

hídrica e nutricional das culturas (KHANAL et al., 2018). Desta forma, algumas plantas com Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), devido a sua alta eficiência no uso da água, são ótimas opções de aumento do rendimento agrícola nessas regiões (SILVA et al., 2015).

As cactáceas, como a palma forrageira, além de possuir metabolismo MAC, apresenta modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais, possuindo grande relevância agropecuária em várias regiões do planeta com condições adversas (TAIZ e ZEIGER, 2013). Apresenta características agrônômicas adaptativas, como tolerante ao estresse hídrico, sendo adequada como forragem em dietas de animais ruminantes (SIQUEIRA et al., 2017), sendo o principal recurso forrageiro na região semiárida.

Dentre as características que fazem a palma forrageira ser um dos principais alimentos para o animal nas regiões semiáridas está a riqueza em água e mucilagem devido ao seu eficiente uso da água, possui elevado coeficiente de digestibilidade da MS e alta palatabilidade, produtividade e produção de biomassa, bem como tolerância à grandes estiagens (SANTOS et al., 2005). Também possui alto teor de carboidratos não fibrosos e, conseqüentemente, conteúdo energético significativamente alto em comparação com outras plantas forrageiras (SIQUEIRA et al., 2017).

Apesar da América do Sul dispor de aproximadamente 4,5 milhões de km<sup>2</sup> de regiões áridas e semiáridas, apenas uma pequena proporção dessa área é cultivada com cactáceas, onde estima-se que existam 675.000 ha de *Opuntia* e *Nopalea* cultivados na América do Sul, sendo 600.000 ha no Brasil, com ênfase em Pernambuco e Alagoas. Nestes estados, a palma é cultivada nas principais bacias leiteiras, constituindo-se uma das principais forrageiras para o gado leiteiro na época seca (DUBEUX et al., 2013).

Além das suas marcantes características adaptativas à região semiárida, Siqueira et al. (2017) ressaltam que atualmente a palma forrageira tem o custo de US\$ 0,13 kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) para o produtor, menor, quando comparado a outras forrageiras como silagem de milho e feno de Tifton, que custa US\$ 0,27 kg<sup>-1</sup> MS.

A palma possui alta eficiência do uso da chuva, 50:1, ou seja, 50 kg de água para cada 1 kg de matéria seca formada, enquanto as plantas C3 e C4 apresentam eficiências de 1000:1 e 500:1, respectivamente (PEREIRA et al., 2012). No entanto, para que ocorra o uso eficiente da água pela palma, algumas características meteorológicas são essenciais, como a umidade relativa do ar que precisa estar acima de 40% e temperatura diurno-noturna de 25 a 15°C. Em algumas regiões do semiárido, a alta temperatura noturna é o principal fator de redução da produtividade e até a morte da planta (SANTOS et al., 2006).

Dietas contendo palma forrageira propiciam redução na ingestão de água pelos animais (ALMEIDA et al., 2013), em virtude do seu alto teor de umidade (FERREIRA et al., 2012). Cordova-Torres et al. (2017) observaram que a restrição de água e a interação com os níveis de palma não teve influência no desempenho dos animais, sendo observados ganhos diários de 174 e 155 g, com 30 e 50% de inclusão de palma, respectivamente, comparado com ganho diário médio de 90 g da dieta controle.

As várias características importantes de adaptação que palma forrageira possui permitem elevar a eficiência do uso da terra, uma característica relevante dos sistemas produtivos. De acordo com Santos et al. (2016), o uso da palma diminui a área necessária para manter uma unidade animal na Caatinga. Este aspecto é de grande importância para o produtor do semiárido, visto que as propriedades rurais nestas regiões são menores, além de também ajudar na preservação da caatinga e suas plantas nativas.

### **1.3. Características da Palma forrageira**

#### **1.3.1. Fisiologia**

O metabolismo MAC é decorrente, principalmente, de seu comportamento estomático, os quais se abrem durante a noite e fecham-se durante o período quente e seco do dia. Este mecanismo permite a aquisição noturna de água do fluxo de transpiração e do orvalho, além do armazenamento temporário de água nos vacúolos. Este traço fisiológico das plantas MAC, confere a capacidade de lidar com o estresse do suprimento limitado de água (LÜTTGE, 2011), permitindo uma melhor eficiência no uso da mesma em comparação com as plantas de fotossíntese C3 e C4.

Quando cultivada com grande disponibilidade de água, a palma forrageira pode passar a ter comportamento fisiológico semelhante às plantas C3, onde a enzima PEP-carboxilase torna-se inativa durante o dia, não havendo vantagem na abertura dos estômatos durante a noite (SAMPAIO, 2011).

Em estudo desenvolvido no município de Curaçá-BA, em condições de campo e com irrigação, Rocha et al. (2017) avaliaram genótipos de palma forrageira e relataram valores altos para a eficiência no uso da água para as cultivares Miúda ( $62 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), Orelha de elefante mexicana ( $124 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) e genótipo IPA 20 ( $72 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) aos 16 meses após o corte.

Ferraz (2018), avaliando a eficiência do uso da água pelos genótipos de palma forrageira Orelha de elefante mexicana, Miúda, IPA-20, Sertânia, F21 e F8 em dois municípios, São Bento do Una e Sertânia, ambos em Pernambuco, observou que as

plantas cultivadas em São Bento do Una apresentaram no total a maior eficiência do uso da água (26 kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

Plantas conduzidas com disponibilidade hídrica normalmente apresentam menor resistência a situações de déficit hídrico no solo; já em plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, apresentam maior adaptação das plantas. A tolerância da planta ao déficit hídrico é um importante mecanismo de resistência, para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

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.

Ao estudar a dinâmica de crescimento de cladódios em *Opuntia ficus-indica* sob seca, Scalisi et al. (2016) observaram que esta espécie mantém o crescimento e condutância estomática com água relativa ao conteúdo de 45% dos cladódios, que é extremamente baixo, quando comparado com outras espécies. Além disso, os cladódios da palma forrageira têm alta capacidade de reidratação após longos períodos de seca.

Segundo Inglese et al. (2017), a eficiência do metabolismo ácido das crassuláceas mantém a palma num equilíbrio de energia positivo, permitindo a persistência por períodos prolongados e desfavoráveis, devido a sua eficiência do uso da água, o que a faz adaptada a regiões com déficits hídricos ou irregularidades pluviais. Quanto a esta eficiência entre os gêneros de palma, Primo et al. (2015) observaram que plantas do gênero *Opuntia* são menos eficientes na extração de água do meio em que está, quando comparadas as do gênero *Nopalea* sp.

### **1.3.2 Morfologia e produtividade**

A palma forrageira é uma planta suculenta de crescimento arbustivo, possui pequenas folhas que são perdidas na fase de crescimento e os cladódios, também conhecidos como raquete, os quais são responsáveis pela fotossíntese, que nas plantas comuns acontece nas folhas. As características morfológicas da palma forrageira variam entre as cultivares, mas de forma geral os cladódios por serem clorofilados apresentam coloração em tons de verde, com forma variando entre redondos e ovalados, com presença

ou não de espinhos e/ou gloquídeos. Suas flores apresentam coloração entre amarelo e vermelho, bem como seus frutos.

Os botões meristemáticos (aréolas), de onde emergem estruturas como espinhos, flores, novos brotos e gloquídeos (pelos espinhosos), são piriformes e estão presentes em ambos os lados dos cladódios (FARIAS, 2013). Os espinhos, que atualmente devido aos processos de melhoramento genético são quase ausentes, quando presentes, medem até 1 cm de comprimento. Já os gloquídeos são curtos, esclerificados e numerosos quando comparados com os espinhos.

O sistema radicular, em geral, atinge profundidade de até 30 cm em diferentes tipos de solo, com predominância de raízes superficiais, distribuídas na horizontal, conferindo maior sobrevivência a grandes períodos de seca, sobretudo por apresentarem características xeromórficas (MARQUES et al., 2017).

As características e/ou descritores morfológicos da planta como altura e largura da planta, índice de área do cladódio, comprimento do cladódio, rendimento de biomassa da planta, e as relações entre si, representam um dado de grande importância para a compreensão da resposta da palma forrageira às condições do ambiente de cultivo. De acordo com Costa et al. (2012), essa informação permite o acompanhamento do acúmulo de forragem e uma estimativa de sua qualidade, por meio de características morfológicas e produtivas os quais podem ser melhorados com a adequação de práticas de manejo ao longo do ciclo da cultura.

A palma forrageira exibe muita plasticidade fenotípica em macromorfologia (MAJURE e ERVIN, 2007), não só em relação frutas, mas também cladódios, que são órgãos determinados que atingem sua fase de maturidade e adquirem características morfológicas específicas durante uma temporada.

A palma forrageira pode, ao longo do seu ciclo produtivo, sofrer modificações no crescimento e no desenvolvimento, em resposta às alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente (DUBEUX et al., 2006).

O genótipo Orelha de Elefante Mexicana apresenta maior quantidade de espinhos, o que pode comprometer a palatabilidade e dificultar seu manejo como planta forrageira (MARQUES et al., 2017). Neste contexto, o genótipo IPA Sertânia (nomenclatura usual Pernambuco) ou Baiana (nomenclatura usual na Bahia) apresenta crescimento vertical, boa produtividade, é palatável aos animais, rica em carboidratos, pouca resistência à seca quando comparada à palma gigante e resistente à cochonilha do carmim (SILVA, 2017).

A palma Miúda, por sua vez, tem como descritor marcante porte pequeno e caule ramificado, além de ser resistente à cochonilha do carmim (NEVES et al., 2010).

As características morfológicas e as estruturais da planta podem afetar a resposta produtiva da cultura (ROCHA et al., 2017). Em áreas de cultivo submetidas a diferentes manejos, Dubeux et al. (2006) observaram variação do rendimento do genótipo IPA 20 de palma forrageira, em razão do índice de área do cladódio. Silva et al. (2010) também constataram a influência de características morfológicas na produtividade de genótipos de palma forrageira. Já Neder et al. (2013) relataram que a produção de matéria verde, o número e a espessura dos cladódios podem ser utilizados na seleção de acessos da espécie *Opuntia ficus-indica*.

Pinheiro et al. (2014) verificaram que o índice de área de cladódio da palma forrageira possui correlação com as características estruturais como a altura e a largura da planta e, que, por sua vez, pode afetar a produtividade. Portanto, o conhecimento dos efeitos dos intervalos de corte sobre a produção e as características estruturais da palma forrageira pode ser decisivo para o aumento da eficiência produtiva e de uso desta cultura.

As características morfométricas da palma forrageira podem ser influenciadas de forma satisfatória pelo uso de adubação orgânica, que tem sido utilizada como opção por produtores de palma forrageira no nordeste brasileiro (DUBEUX et al., 2013).

Silva et al. (2010) observaram que há poucos relatos dos efeitos diretos e indiretos das características morfológicas da palma forrageira sobre a produção e demais características desta cultura, assim, é necessário conhecer tais efeitos e as correlações entre os mais diversos caracteres e traços morfológicos, para identificação de características que influenciam a produção.

Vários são os fatores que podem influenciar na produtividade da palma forrageira, tais como fertilidade do solo, pluviosidade, densidade de plantio, vigor das mudas, ataque de pragas e doenças, dentre outros (SILVA et al., 2014).

Santos et al. (2013) relatam que o desempenho produtivo da palma forrageira tem se mostrado melhor em áreas onde a temperatura noturna varia de 15 a 20°C. Quando esse limite superior é ultrapassado em associação a baixa umidade relativa do ar, fica comprometida tanto a produtividade como a longevidade do palmal, a exemplo de algumas áreas do Rio Grande do Norte e do Ceará.

De acordo com Silva et al. (2015) a palma forrageira quando cultivada em condições de sequeiro pode sofrer modificações no seu crescimento e desenvolvimento

ao longo do seu ciclo em resposta às alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente.

Em sistemas de cultivo com aproximadamente 40.000 plantas por hectare, comum nas regiões do semiárido nordestino, os produtores geralmente aplicam esterco e controlam as ervas daninhas e normalmente não há irrigação. Nestes palmais, quando bem manejados, a produtividade da MS da palma forrageira pode variar de 10 a 25 Mg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, embora em locais de pesquisa tenham sido registradas produtividades de até 30 Mg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (DUBEUX et al., 2013).

A produção de matéria da palma forrageira seca apresenta variação entre os genótipos. Santos et al. (2013) encontraram produção de matéria seca em toneladas/ha para o genótipo Orelha de elefante mexicana de 15,09, o genótipo F21 apresentou maior produção de matéria seca com 18,40, seguido pela Miúda com 18,08 e a F8 com 17,18. O genótipo Sertânia apresentou menor produção de matéria seca comparado aos demais acima, com valor de 12,06.

Dubeux et al. (2013) relatam que a adubação orgânica é uma opção para potencializar o sistema de produção, uma vez que a extração de nutrientes do solo pela cultura é alta proporcionando redução dos níveis de fertilidade do solo e assim diminuindo a produção da palma forrageira.

O aumento da produtividade pode melhorar a sustentabilidade sistemas agrícolas em terras semiáridas. Essa melhoria pode ocorrer não só através da manutenção do gado, mas também da redução do desmatamento e da utilização de pastagens nativas (DUBEUX et al., 2015).

Deve-se considerar melhores práticas de manejo desta cultura a fim de ter maior produtividade de maneira sustentável e de menor impacto ao meio ambiente, como uso de adubação orgânica, densidade de plantio, competição entre os genótipos, tipos de solo e disponibilidade hídrica.

Neste contexto, Dubeux et al. (2013) realizaram um estudo no município de Caruaru-PE, em condições de campo, para avaliar o efeito da adubação orgânica e a população de plantas na produção de biomassa e raízes da palma forrageira *Opuntia ficus-indica* Mill, cultivar IPA-20. Estes autores concluíram que nas regiões mais propensas à seca não devem ter populações densas de palma forrageira, para que seja possível maximizar o desenvolvimento da raiz por planta e aumentar a persistência e resiliência das plantas em condições severas, uma vez que o incremento populacional provocou redução de massa produzida do cladódio mãe.

Dubeux et al. (2010), em pesquisa realizada em condições de casa de vegetação, avaliaram o efeito da adubação mineral no crescimento e teor de matéria seca do genótipo IPA-20 com idade de 180 dias. Foi observado que o crescimento vegetal destas plantas não apresentou efeito significativo dos tratamentos, entretanto, o teor de matéria verde e seca foram influenciados apenas pela adubação potássica.

Ao se tratar do manejo condicionando densidade de plantio, Silva et al. (2014) avaliaram a produtividade de forragens de genótipos de palma forrageira cultivadas em diferentes densidades de plantio em Sergipe. A palma forrageira respondeu de forma positiva ao cultivo adensado com até 80.000 plantas por hectare. Dentre os genótipos estudados, a palma forrageira Miúda destacou-se das palmas Gigante e Redonda por seu elevado potencial produtivo, quando cultivado em plantio adensado, respondendo positivamente na produção de massa verde e seca por área.

Outro aspecto considerado é a competição entre genótipos visando obter o máximo de informação sobre a qualidade dos genótipos estudados. Assim, Silva et al. (2015) compararam a produtividade dos cultivares de palma forrageira IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, resistentes a cochonilha do carmim, e observaram que a cultivar Orelha de Elefante Mexicana se destacou como o genótipo mais produtivo em massa fresca no semiárido, quando comparado aos genótipos do gênero *Nopalea* (IPA Sertânia e Miúda).

Freire et al (2018) em estudo realizado em condições de casa de vegetação, avaliaram a palma forrageira Miúda cultivada em dois tipos de solo e quatro frequências de irrigação. Foi observada maior produção deste genótipo em solo franco-arenoso, estar relacionada e com maior frequência de irrigação, com produção de matéria seca de 62,1 g/planta.

### **1.3.3 Composição química**

A palma forrageira é caracterizada por apresentar alta digestibilidade e teor de carboidratos solúveis, todavia apresenta baixo teor de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) e teores de matéria seca (MS). As plantas de palma forrageira são fontes de energia, proteína, vitaminas, minerais, folato e compostos bioativos (SILVA et al., 2015).

É importante salientar que a composição química da palma varia conforme a época do ano, idade da planta, ordem do artículo, cultivar, manejo de adubação, espaçamento de plantio, entre outros fatores (SANTOS et al., 2005; DUBEUX et al., 2010).

Silva et al. (2015) avaliaram a composição química e bromatológica de *Opuntia ficus-indica* e quantificaram a seguinte composição: umidade de 91%, matéria seca de 9%, matéria mineral de 1,19%, cálcio de 6,2%, fósforo de 0,13%, proteína total de 0,86%, fibra bruta de 1,65%, açúcares redutores totais de 1,69% e lipídios totais de 0,40%. Para a espécie *Nopalea cochenillifera*, os valores foram: umidade de 89,67%, matéria seca de 10,33%, matéria mineral de 1,17%, cálcio de 7,20%, fósforo de 0,10%, proteína total de 0,86%, fibra bruta de 1,37%, açúcares redutores totais de 1,95% e lipídios totais de 0,27%.

De maneira geral, a elevada aceitabilidade da palma forrageira permite que grandes quantidades desta planta sejam consumidas pelos animais, todavia, os baixos teores de MS ( $116,9 \pm 25,6$  g/kg), proteína bruta (PB;  $48,1 \pm 11,6$  g/kg MS) e FDN ( $267,9 \pm 5,07$  g/kg MS) (FERREIRA et al., 2012) são insuficientes para o adequado desempenho animal, o que sugere sua associação com compostos nitrogenados não proteicos e uma fonte mínima de fibra fisicamente efetiva.

Deve-se salientar que os genótipos de palma apresentam variação na composição química. Neste contexto, Silva (2016) avaliou as características nutricionais de variedades de palma forrageira coletadas em São Bento do Una – PE, e verificou que a IPA-Sertânia apresentou, em g/kg de MS, 70,1 de MS, 55,8 de PB, 167,3 de MM, 166,4 de FDN e 140,1 de FDA. Já Cunha (2017), avaliando progênies do genótipo de palma forrageira Orelha de Elefante Africana em Arcoverde – PE obteve valores médios, em g/kg, 107,5 de MS, 51,3 de PB, 244,3 de FDN e 202,5 de FDA.

A palma miúda ou doce apresenta um valor nutritivo melhor, quando comparada com outras cultivares como a Redonda e Gigante, apresentando elevados teores de matéria seca e carboidratos (LOPES et al., 2009).

Monteiro et al (2018), trabalhando em São Bento do Una – PE em condições de campo, verificaram que composição química da Miúda foi, em g/kg de MS, 150 de MS, 35 de PB, 257 de FDN e 132 de FDA, enquanto que para o genótipo da Orelha de elefante mexicana, a composição química encontrada foi, em g/kg de MS, 123 de MS, 55 de PB, 259 de FDN e 89 de FDA .

Características edafoclimáticas podem influenciar na composição química dos genótipos. Silva (2017) em Arcoverde – PE, encontrou composição química do genótipo Miúda em g/kg de MS, 196 de MS, 33,8 de PB, 246 de FDN e 133,4 de FDA, enquanto que para o genótipo da Orelha de elefante mexicana, a composição química encontrada foi, em g/kg de MS, 218 de MS, 60 de PB, 262 de FDN e 118,3 de FDA .

Alves et al. (2017) caracterizaram a composição química de genótipos de palma forrageira cultivadas em Arcoverde-PE, sob condições de campo e encontraram para o genótipo IPA-20 valores em % de MS, 93,51 de MS e 7,03 de PB. O genótipo F8 apresentou valores em % de MS, 93,80 de MS e 7,13 de PB, enquanto que o F21 apresentou valores em % de MS, 93,07 de MS e 6,81 de PB.

#### 1.3.4 Composição isotópica

Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico que apresentam mesmo número de prótons, entretanto com diferente número de nêutrons, o que os faz ter diferentes massa molecular. Os isótopos estáveis não emitem radiação.

A composição isotópica é normalmente expressa por uma razão isotópica ( $R = {}^{13}\text{C} / {}^{12}\text{C}$ ) da amostra vegetal (*Rsample*) e do padrão (*Rstandard*), em que os padrões utilizados nas análises são internacionais, como a rocha PDB (Pee Dee Belemnite), usando a relação:

$$\delta^{13}\text{C} = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000\text{‰}.$$

Os isótopos estáveis do carbono ( ${}^{12}\text{C}$  e  ${}^{13}\text{C}$ ) tornaram-se uma ferramenta muito útil na pesquisa sobre aspectos relacionados à fisiologia de plantas, uma vez que as razões entre esses dois elementos podem auxiliar diretamente no estudo da fotossíntese, na determinação dos ciclos fotossintéticos, na translocação e na alocação de carbono e estresse hídrico (SILVA et al., 2010).

Plantas com metabolismo CAM possuem a rota C4 durante a noite (ausência de luz) e ciclo C3 durante o dia. Conforme o metabolismo fotossintético, as plantas apresentam valores específicos de  $\delta^{13}\text{C}$ . Plantas C3 apresentam valores  $\delta^{13}\text{C}$  entre -22 a -30‰, plantas C4 entre -10 e -14‰ e plantas CAM -10 a -35‰, (COPLIN et al., 2006).

Menor (2018) relata que as plantas CAM obrigatórias fixam CO<sub>2</sub> a noite enquanto as plantas CAM facultativas podem fixar durante o dia como as plantas C3, sob condições favoráveis ou stress hídrico do ambiente, entretanto, algumas plantas apresentam os dois mecanismos C3 e CAM.

Em meados da década de 70, começou a se tornar evidente a possibilidade de induzir plantas com metabolismo fotossintético CAM a terem comportamento similar às plantas com metabolismo C3. Isso foi possível, de acordo com Black & Osmond (2003), quando os mesmos, nos anos de 1972-1973, encontraram variações inesperadas no

metabolismo das plantas CAM quando estavam em meio à aplicação de nova bioquímica 4-carbono e outros novos resultados para CAM.

Os estudos de discriminação de isótopos de carbono foram mostrando que plantas C3 discriminavam  $^{13}\text{C}$  no Rubisco e que plantas C4 com PEPCase (que fixa  $\text{HCO}_3^-$ ) não discriminou fortemente contra  $^{13}\text{C}$ . Nestes casos os valores isotópicos das plantas CAM obrigatórias são comparáveis as plantas C4, em média  $-13\%$ , enquanto as CAM facultativas variam de  $-10\%$  a  $-28\%$ , dependendo das variações ambientais (CRAYN et al., 2004).

Em estudo sobre a composição isotópica de genótipos de palma forrageira, Menor (2018) realizou dois estudos para avaliar a palma forrageira quando cultivada no Agreste Pernambucano. No primeiro estudo, o autor avaliou 20 clones de palma forrageiras em condições de campo e encontrou de maneira geral valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-14,43$  e  $-13,22\%$ , que foram considerados valores típicos da fixação via PEP-carboxilase. O segundo estudo avaliou Miúda cultivada em campo, submetida a níveis de matéria orgânica residual, níveis de adubação nitrogenada e frequência de colheita. Foi observado que a composição isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  do genótipo de palma forrageira Miúda não foi influenciada por nenhum dos fatores testados, tendo encontrado valor de  $-13,45 \delta^{13}\text{C}$ .

Entretanto, há a possibilidade de disponibilidade hídrica no cultivo de palma forrageira tornar o metabolismo fotossintético destas plantas facultativos, deixando de ser CAM obrigatória.

#### **1.4. Programa de melhoramento da Palma forrageira**

O centro de origem da palma forrageira é o México, onde se estima mais de 70 mil hectares destinados à produção de frutos, principalmente nas regiões de Zacatecas, Saltillo e Durango, e mais de um milhão de hectares destinados à produção de forragem (PADRÓN PEREIRA, 2012; KIESLING, 2013), também cultivada em países mediterrâneos, África Central e do Sul, América do Sul, Norte e Central, Oriente Médio, Austrália e Índia (SANTIAGO et al., 2018).

Os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* reúnem as espécies de palma mais utilizadas como forrageiras, e entre as espécies mais difundidas no Nordeste brasileiro, citam-se a *Opuntia ficus-indica* Mill, com as cultivares Gigante e Redonda, e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, cuja cultivar é a palma Miúda (SILVA et al., 2015)

A palma forrageira apresenta uma elevada capacidade de se propagar vegetativamente e de acordo com Berger et al. (2013), as áreas cultivadas com a palma

forrageira são obtidas principalmente por esta via, através da apomixia, em que uma nova planta é produzida a partir do enraizamento de partes ou cladódios inteiros separados de uma planta-mãe; isto pode ajudar o trabalho do melhorista, uma vez que identificado um tipo superior de planta, a mesma pode ser propagada mantendo-se sua identidade genética.

Gois et al. (2013) descrevem a *Opuntia ficus-indica* Mill. como uma espécie autógama com flores hermafroditas, o que possibilita a hibridação artificial. Esta espécie apresenta cleistogamia, que segundo Santos et al. (2010), pode ser uma explicação da sua autogamia. Todavia, as espécies do gênero *Nopalea* são alógamas e polinizadas principalmente por pássaros (SCHEINVAR, 2001). Nas espécies desse gênero o aborto é comum devido à estrutura da flor (SANTOS et al., 2010).

Alguns estudos observaram grande variabilidade na palma forrageira em diversos aspectos como a produtividade das plantas (SILVA et al., 2017), morfologia (PAIXÃO et al., 2011), características químicas (ALVES et al., 2016) e quanto à resistência à cochonilha do carmim (VASCONCELOS et al., 2009; BORGES et al., 2013). Devido a grande ocorrência da praga, este último aspecto se tornou um dos principais objetivos do programa de melhoramento genético.

Os estudos de melhoramento genético da palma forrageira foram mais acelerados após ataque do *Dactylopius Opuntiae* (Cockerell) (Hemíptera: Dactylopiidae)/cochonilha do carmim à inúmeros palmais ocupados basicamente pela *Opuntia ficus-indica* Mill e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, provocando a extinção dos palmais compostos pela *Opuntia ficus-indica* Mill uma vez que esta espécie é susceptível a esta praga.

A partir disto, de acordo com Santos et al. (2013), estudos foram realizados pelo IPA e pela UFRPE visando identificar genótipos resistentes a referida praga. Estes autores mencionam que a primeira avaliação foi realizada na Estação do IPA em Sertânia-PE, local de grande infestação da cochonilha no ano de 2004. Ao final da avaliação em campo e laboratório foram identificados os genótipos IPA-200013/F13, IPA-200015/F15, IPA-200016/Orelha de elefante Mexicana, IPA-200174/ Orelha de elefante Africana, IPA-200206/Orelha de Onça, IPA-200205/IPA-Sertânia e IPA-10004/Miúda como resistentes e o IPA-200008/F8, IPA-200021/ F21, IPA-200024/F24, IPA-200207/Algerian como semi-resistentes.

As pesquisas realizadas pelo IPA e pela UFRPE nas últimas décadas, de acordo com Silva et al. (2017), tem o intuito de gerar conhecimentos que favoreçam o adequado manejo e a expressão de todo o potencial produtivo dessa cultura nas condições do

Semiárido. Estes estudos também demonstram que a utilização de genótipos imunes é a melhor forma de se conviver com a *D. Opuntiae*. Salientam ainda que além da imunidade a este inseto, resistência a outras pragas e doenças, desempenho agrônomico e sobrevivência são características consideradas no processo de melhoramento dessa forrageira.

O grande aporte de banco de germoplasma do IPA inclui genótipos obtidos de Chapingo, México, e outros genótipos provenientes da Embrapa Semiárido e do Rio Grande do Norte, a partir da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), totalizando mais de 1400 acessos (MONDRAGÓN JACOBO & CHESSA, 2017). A Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA) também tem contribuído com a formação de bancos de germoplasma da palma forrageira em suas unidades experimentais (SANTOS et al., 2010).

De acordo com Santos et al. (2005), o programa de melhoramento consta as seguintes etapas: formação da população inicial, através da introdução de genótipos, cruzamento por polinização livre e cruzamentos controlados; formação da coleção para seleção inicial; testes preliminares dos genótipos; competição de genótipos; multiplicação; ensaios agrônomicos e zootécnicos; e liberação de um novo cultivar. O tempo da realização de todas estas etapas pode durar aproximadamente uma década, até que todo programa seja concluído e uma nova variedade seja lançada.

Desta forma, dada a importância da palma forrageira principalmente na produção animal em regiões semiáridas, justifica-se a busca por fontes de variabilidade genética, com vistas ao aumento do potencial produtivo da cultura. É válido destacar que sua mais importante característica é ser adaptada ao clima do semiárido, dispondo de características que permitem suportar as adversidades edafoclimáticas, sendo menos exigentes a insumos agrícolas e proporcionam boa produtividade ao longo ano.

Por se adequar as condições do Semiárido, a palma forrageira apresenta grande potencial socioeconômico. Tamanho mérito corrobora a necessidade de ampliar os estudos referentes ao melhoramento genético desta cultura, visando encontrar o ideotipo mais adequado a cada condição edafoclimática.

## 2. BIBLIOGRAFIA CITADA

ALMEIDA, G. L.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S. B.; PEREIRA, D. F.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n. 8, p.892-899, 2013.

ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. S. Chemical and Nutritional Variability of Cactus Pear Cladodes, Genera *Opuntia* and *Nopalea*. *American Journal of Food Technology*, v. 12, p. 25-34, 2017.

BERGER, H.; RODRÍGUEZ-FÉLIX, A.; GALLETI, L. Field operations and utilization of cactus cladodes. In: *Agro-industrial utilization of cactus pear*. FAO, Rural Infrastructure and Agro-Industries Division, International Technical Cooperation Network on Cactus (FAO–CACTUSNET), Rome. p.21-29, 2013

BLACK, C.C. & OSMOND, C.B. Crassulacean acid metabolism photosynthesis: 'working the night shift'. *Photosynthesis Research*. v. 76, p. 329-341, 2003.

BORGES, L. R.; SANTOS, D. C.; FALCÃO, H. M.; SILVA, D. M. P.; CAVALCANTI, V. A. L. B.; GOMES, E. W. F. Selection of cactus pear genotypes regarding resistance to carmine cochineal *Dactylopius Opuntiae* (Dactylopiidae). *Acta Horticulturae*, v.995, p.359-366, 2013.

COPLEN, T.B., W.A.; BRAND, M.; GEHRE, M.; GRÖNING, H.J.; MEIJER, B.; TOMAN R.M. New guidelines for  $\delta$  13C measurements. *Analises Chemical*. v.4, p. 128-143, 2006.

COSTA, N.; L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A. Produtividade de forragem e morfogênese de *Trachypogon vestitus*, durante o período seco, em área de cerrado, Roraima. *Revista Trópica –Ciências Agrárias e Biológicas*, v.6, p.93-103, 2012.

CORDOVA-TORRES, A. V.; COSTA, R. G.; MEDEIROS, A. N.; ARAÚJO FILHO, J. T.; RAMOS, A. O.; ALVES, N. L. Performance of sheep feed forage cactus with total water restriction. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*., v. 18, n. 2, p. 369-377, 2017.

CUNHA, J. T.S. F. Avaliação de progênies do genótipo de palma Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffithis). 2017. 69 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2017.

CRAYN, D.M.; WINTER, K.; SMITH, A. C. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit In: the Neotropical family Bromeliaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. v. 101, p. 3703 – 3708, 2004.

DOMINGUES, O. Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste. Recife: Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais. 1963

DUBEUX, J.C.B.; SANTOS M.V.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIMA, L.E.; FERREIRA, R.L.C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brazil. *Journal of Arid Enviroments*. v. 67, p. 357-372, 2006.

DUBEUX JR. J. C. B.; ARAUJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – genótipo IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

DUBEUX, J.C.B.; SILVA, N.G.M.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V.; SANTOS, D.C.; LIRA, M.A.; MELLO, A.C.L.; PINTO, M.S.C. Organic fertilization and plant population affect shoot and root biomass of forage cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Acta Horticulturae*. V. 995, p.221-224, 2013.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Potential of cactus pear in South America. *Cactusnet Newsletter*, v. 13, edição especial, p. 29-40, 2013

DUBEUX, J.C.B., SANTOS, M.V.F.; MELLO, A.C.L.; CUNHA, M.V.C.; FERREIRA, M.D.A.; SANTOS, D.C.; LIRA, M.A.; SILVA, M.D.C. Forage potential of cacti on drylands. *Acta Horticulturae*. v.1067, p.181–186, 2015.

FARIAS, V. F. S. Avaliação do desenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma (*Opuntia* sp.) para o consumo humano. 74 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas). 2013.

FERRAZ, A. F. F. Avaliação de clones de palma forrageira no Agreste e Sertão de Pernambuco. 148 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

FERREIRA, M.A.; BISPO, S.V.; ROCHA FILHO, R.R.; URBANO, S.A.; COSTA, C.T.F. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In: Petr Konvalina. (Org.), *Organic Farming and Food Production*. InTech, South Bohemia, p. 1-22, 2012.

FREIRE, J. L.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; BEZERRA NETO, E.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V.; SANTOS, D. C.; AMORIM, S. O.; MELLO, A. C. L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequency. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v.90, n.4, p.3893-3900, 2018.

FROTA, M. N. L.; CARNEIRO, M. S. S.; CARVALHO, G. M. C.; NETO, R. B. A. Palma Forrageira na Alimentação Animal. In *Documentos* 23, p. 1–48, EMBRAPA. 2015.

GOIS, G.C.; SILVA, F.C.S.; RIBIRO, W.S. CAPÍTULO I Descrição morfológica, origem, Domesticação, Dispersão Da palma forrageira e sua introdução no Brasil. p. 9-20, 2013.

INGLESE, P.; LIGUORI, G.; BARRERA, E. Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti. In: *Food and agriculture organization of the United Nations* 2017.

Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas Rome, p. 29-39, 2017.

KHANAL, U. et al. Farmers' adaptation to climate change, its determinants and impacts on rice yield in Nepal. *Ecological Economics*, v. 144, n. 1, p. 139-147, 2018.

KIESLING, R. Historia e prehistoria de la tuna o cactus, *Opuntia* fícus-indica: presente y futuro. *Cactus Newsletter*, Tunis, n. 13, p. 13-18, Jan. 2013. Edición de las Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y Otras Cactáceas y I Reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA, Santiago Del Estero, Sep. 2012.

LEITE, M. L. M. V.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 2, p.192-200, 2014.

LIRA, M. A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.; LIRA JUNIOR, M. A.; APOLINÁRIO, V.X.O. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. v. 25, p. 1-23, 2017.

LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. L. Efeito de formas de plantio na produção de cladódios em palma doce. *Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 303-308, 2009.

LÜTTGE, U. 'Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments.' *Aobplants*, v. 2010, p. 1-15, 2011

MAJURE, L.C., ERVIN, G.N. Microstructural Morphology of *Opuntia* Species (Cactaceae) based on Scanning Electron Microscopy. USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, International Cactoblastis cactorum Conference, Phoenix, AZ. 2007.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S.P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. de S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MENOR, T. R. F. L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio em palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). 2018. 166 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

MONDRAGÓN JACOBO, C.; CHESSA, I. Nopal (*Opuntia* spp.) genetic resources. In: INGLESE, P.; MONDRAGON, C.; NEFZAOU, A.; SAENZ, C. (Eds.). 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.43-49, 2017.

MONTEIRO, C. C. F.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C.; GUIDO, S. I.; ALMEIDA, M. P.; SILVA, R. C.; INÁCIO, J. G. A new cactus variety for dairy cows in areas infested with *Dactylopius Opuntiae*. *Animal Production Science. Journal compilation CSIRO*. 2018.

MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Aptidão do Nordeste brasileiro ao cultivo da palma forrageira sob cenários de mudanças climáticas. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).

NEDER, D.G.; COSTA, F.R.; EDVAN, R.L.; SOUTO FILHO, L.T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.13, p.203-207, 2013.

NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; SANTOS, R. D. dos; VOLTOLINI, T. V.; ARAÚJO, G. G. L. de; MORAES, S. A. de; ARAGÃO, A. S. L. de; COSTA, C. T. F. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p.7, 2010.

PADRÓN PEREIRA, C.A. Innovaciones en el agrodesarrollo de las cactáceas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, v. 3, n. 1, p. 38-79, 2012.

PAIXÃO, S. L.; LIRA, M. A.; MELO, A. C. L.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, I.; CAVALCANTE, M. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de palma forrageira no município de São Bento do Una. *Revista Científica de Produção Animal*, v.13, n.1, p.28-32, 2011.

PEREIRA, L.S.; CORDERY, I.; IACOVOS, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, v.108, p.39-51. 2012.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; SOUSA CARVALHO, H.F.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, p. 939-947. 2014.

PRIMO, JTA; SILVA, TGF; SILVA, SMS; MOURA, MSB; SOUZA, LSB. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, v. 62, n.1, p. 20-29, 2015.

ROCHA, J.E.S. *Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da arte*. Sobral: Embrapa, 40 p. 2012.

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.

SANTOS, D. C.; LIRA, M. A.; DIAS, F. M. Melhoramento genético da Palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Ed. Universitária: UFPE. p. 27-42, 2005

SAMPAIO, E. V. S. B. Fisiologia da palma forrageira In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALMA E OUTRAS CACTACEAS, 2, GARANHUNS, 2011. Anais... Garanhuns,

2011.

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, v. 240, p. 1055-1062, 2018.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira em Pernambuco. Recife: IPA, 48p, 2006.

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; BUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. 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.

SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M.V.; LIRA, M. A.; DUBEUX, J. C. B.; MELLO, A. C. L. ; TEIXEIRA, V. I.; SOUZA, T.C. . Manejo de pastagens no Semiárido-Perspectivas futuras.. In: VIII Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem, 2016, Viçosa. Anais do VIII Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem. Viçosa: UFV, 2016. v. único. p. 1-36, 2016

SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; DUBEUX JÚNIOR; FERREIRA, M. A.; CUNHA, M. V. Palma Forrageira, In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. Plantas Forrageiras, Viçosa, MG: Ed. UFV, p. 459-492, 2010.

SCALASI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; LO BIANCO, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, v. 122, n. 1, p. 158-167, 2016.

SCHEINVAR, I. Taxonomia das *Opuntia* utilizadas. BARBE-RA, G.; INGLESE, P. (Eds). *Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira*. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p. 20-27.

SILVA, L.M.; FAGUNDES, J.L.; VIEGAS, P.A.A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J.H.A.; MOREIRA, A.L.; BACKES, A.A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014.

SILVA, M.C.; SANTOS, D. C. ; LIRA, M. A. ; Freitas, E. V. ; SILVA, V. M. . Stand inicial e final após dois ciclos produtivos de clones de palma forrageira em áreas do Agreste e Sertão pernambucano. In: V Congresso de palma e outras cactáceas, 2017, Parnamirim-RN. Anais do V Congresso de palma e outras cactáceas. Natal: Editora da FAERN/SENAR, 2017.

SILVA, M. L. R. B.; FIGUEIRÔA, C. S.; MERGULHÃO, A. C. E. S.; LYRA, M. C. C. P. Identificação de bactérias diazotróficas isoladas em cultivares de palma (*Opuntia* e *Nopalea*) usando o gene recA. *Bioscience Journal*, v. 31, n. 2, p. 577-583, 2015.

SILVA, N.G.M.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JR., J.C.B.; MELLO, A.C.L.; SILVA, M.C. Relação entre características morfológicas e produtivas de genótipos de palma-forrageira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, P. F. Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. 2017. 79 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SILVA, R. C. Substituição de palma Miúda por palma Orelha de Elefante Mexicana para vacas mestiças em lactação. 2017. 58 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J.E.F.; DINIZ, W.J.S.; SOUZA, C.A.A.; SILVA, M.C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015.

SILVA, W. A. Atributos químico-bromatológicos, cinética de degradação e produção de gás de variedades de palma forrageira. 2016. 70 p. Dissertação (Ciência Animal e Pastagens) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, Garanhuns-PE, 2016.

SIQUEIRA, M.C.B., FERREIRA, M.A., MONNERAT, J. P.I. DOS S., SILVA, J. DE L., COSTA, C.T.F., CONCEIÇÃO, M.G. DA., DE ANDRADE, R. DE P.X., BARROS, L.J.A. & MELO, T.T.B. 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.

SUASSUNA, P. Tecnologia do cultivo intensivo da Palma - TCIP. *Cactusnet Newsletter*, n. 13, p. 51-63, jan. 2013. Edição das Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y Otras Cactáceas y I Reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA, Santiago del Estero, Sep. 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 1-672, 2013

VASCONCELOS, A. G. V.; LIRA, M. A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F.; WILLADINO, L. Seleção de genótipos de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 5, p. 827-831, 2009.

## **CAPÍTULO II**

### **VARIABILIDADE MORFOFISIOLÓGICA EM GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA**

---

## VARIABILIDADE MORFOFISIOLÓGICA EM GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA

### RESUMO

Descritores morfofisiológicos da planta são importantes indicadores de agrupamento entre espécies e genótipos. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos e relações entre descritores morfofisiológicos de genótipos de palma forrageira e quais caracteres da planta são mais importantes como indicadores de agrupamento de genótipos. O estudo foi conduzido na Estação Experimental do IPA localizado em Arcoverde-PE. O delineamento utilizado foi blocos completos ao acaso, com três repetições. Foram avaliados seis genótipos de palma, três do gênero *Opuntia* (F8, Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e IPA-20) e três do gênero *Nopalea* (Miúda, IPA Sertânia e F21). Cada parcela continha 10 linhas, com espaçamento de 1,5 m entre linhas e 0,4 m entre plantas. As avaliações foram realizadas nos anos de 2016 e 2018, ao final de cada época seca e chuvosa do ano. Foram avaliadas as seguintes variáveis: teor relativo de água e acidez do cladódio através do pH com coletas realizadas às 0, 6, 12 e 18 h. Também foram avaliados descritores morfológicos da planta em cada época do ano e ao final da análise, obteve-se a média dos valores, sendo realizada a análise de componentes principais e agrupamento pelo método de Toucher. Os valores de teor relativo de água e pH foram maiores na época chuvosa dos dois anos de estudo, com destaque para o segundo ano. Os valores de pH variaram na época seca de 4,07 a 4,78 no ano 1, enquanto para o ano 2 foi de 4,13 a 5,01. Na época chuvosa os valores variaram entre 4,25 a 5,24 no primeiro ano e entre 4,34 a 5,33 no segundo. O teor relativo de água variou entre 25,70 a 63,93 durante o primeiro ano e 32,25 a 64,42 no segundo ano, ambos na estação seca, e para a estação chuvosa variou entre 59,16 a 73,58. Os genótipos IPA-20 e Sertânia tiveram maior capacidade armazenar água. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana apresentou menor teor relativo de água. As características, cor de gloquídeos, cor de cladódio, hábito de crescimento e forma do cladódio apresentam os maiores valores de contribuição relativa. Os componentes principais 1, 2 e 3 representam 97,16% da variação acumulada entre os genótipos. Os descritores morfológicos avaliados permitiram classificar os genótipos em três grupos distintos, sendo o primeiro representado pelo F8, Miúda e OEM, o segundo por F21 e Sertânia e o terceiro por IPA-20.

**Palavras-chave:** agrupamento; clones, morfologia; semiárido

## MORPHOPHYSIOLOGICAL VARIABILITY IN FORAGE PALM GENOTYPES

### ABSTRACT

Morphological descriptors of the plant are important indicators of grouping between species and genotypes. Thus, the objective was to evaluate the effects and relationships between morphological descriptors of forage cactus genotypes and which plant characters are more important as indicators of genotype grouping. The study was conducted at the IPA Experimental Station located in Arcoverde-PE. The design was a complete randomized block with three replicates. Six genotypes of cactus, three of the genus *Opuntia* ("F8", "Orelha de elefante mexicana", IPA-20") and three of the genus *Nopalea* ("Miúda", "IPA Sertânia" and "F21") were evaluated. Each plot contained 10 lines, spacing 1.5 m between rows and 0.4 m between plants. The evaluations were carried out in the years 2016 and 2018, at the end of each dry and rainy season of the year. The following variables were evaluated: relative water content and acidity of the cladodium through the pH at equidistant times of the day, with samples collected at 0, 6, 12 and 18 h. Plant's Morphological descriptors were also evaluated at each time of the year, and the principal components analysis and clustering were performed by the Touche method. Water content and acidity of pH in the genotypes vary with the evaluation period, so that when the humidity increases, the pH decreases. The pH values varied in the dry season from 4.07 to 4.78 in year 1, while for year two it was from 4.13 to 5.01. In the rainy season, the values varied between 4.25 to 5.24 in the first year and between 4.34 to 5.33 in the second. For the values of relative water content, it was observed a variation between 25.70 and 63.93 during the first year and 32.25 to 64.42 in the second year, both in the dry season, and for the rainy season varying between 59.16 at 73.58. The genotypes IPA-20 and Sertânia had greater capacity to store water. The OEM genotype presented lower relative water content. The characteristics, gloquid color, cladode color, growth habit and cladode form present the highest values of relative contribution. Principal components 1, 2 and 3 represent 97.16% of the accumulated variation among the genotypes. The morphological descriptors evaluated allowed us to classify the genotypes into three distinct groups, the first being F8, Small and OEM, the second by F21 and Sertânia and the third by IPA-20.

**Key words:** clusters; genotypes, morphology; semiarid

## 1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por alta variabilidade espaço-temporal pluviométrica e alta evaporação atmosférica, segundo Moura et al. (2007), isso resulta em um déficit severo de água no solo ao longo de vários períodos do ano, ocasionando déficit na produção de plantas forrageiras, por este motivo as atividades agrícolas devem ser manejadas de maneira que o sistema de produção seja o mais sustentável possível. Para tal, é essencial o uso de espécies adaptadas às condições climáticas reinantes com destaque para altas temperaturas e déficit hídrico (PINHEIRO et al., 2014)

A palma forrageira cultivada no Brasil é uma planta de origem mexicana; entretanto encontra-se dispersa em todos os continentes, exceto nas regiões polares (MARQUES et al., 2017). É uma planta xerófila, adaptada às condições de semiárido brasileiro, onde os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, estão presentes na maioria dos cultivos.

Na palma forrageira a caracterização morfofisiológica é amplamente utilizada para avaliar a diversidade genética (NEFZAOUÍ et al., 2017). As características morfofisiológicas da planta representam um dado de grande importância para a compreensão da resposta da palma forrageira às condições do ambiente de cultivo. Estas características, de acordo com Costa et al. (2012), podem ser alteradas com a adequação de práticas de manejo ao longo do ciclo da cultura.

Vale ressaltar que o sucesso de um programa de melhoramento depende da variabilidade, diversidade e do processo de seleção que se exerce sobre a espécie. Para que seja utilizada, a diversidade genética de cada espécie precisa ser conhecida, caracterizada e documentada quanto aos caracteres morfofisiológicos, para que se possa identificar potenciais úteis (BORÉM & MIRANDA, 2005).

A palma forrageira exibe alto grau de plasticidade fenotípica em macromorfologia (MAJEURE e ERVIN, 2007), não só em relação às frutas, mas também cladódios, que são órgãos determinados que atingem sua fase de maturidade e adquirem características morfológicas específicas durante uma temporada (NORTH et al., 1995). A palma, 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 (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006), sendo necessário estudos que contemplem esta relação.

Segundo Cruz et al. (2014), a utilização de técnicas multivariadas permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, de modo que poderá identificar combinações híbridas de maior efeito heterótico, aumentando a possibilidade de obter genótipos superiores nas gerações segregantes.

De acordo com Dias et al. (1997), há várias técnicas estatísticas multivariadas que podem ser utilizadas em estudos de divergência genética, tais como análises de agrupamento, de componentes principais e discriminante, pois proporcionam enriquecimento das informações extraídas dos dados experimentais. Segundo Ferreira et al. (2003), a seleção da análise mais adequada é função da precisão desejada, da facilidade da análise e da maneira como os dados foram obtidos.

A aplicação dos descritores morfológicos, geralmente, caracteriza novos genótipos para registro e de acordo com Cavalli (2003), usualmente descritores morfológicos são influenciados pela ação do ambiente e por fatores genéticos, o que pode limitar seu uso na diferenciação de genótipos.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi investigar os efeitos e relações entre características morfofisiológicas da palma forrageira, bem como avaliar quais características são mais importantes como indicadores de agrupamento entre genótipos de palma forrageira cultivados no semiárido pernambucano.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido na Estação Experimental do IPA localizado em Arcoverde-PE. O município está situado na zona de transição entre Agreste e o Sertão pernambucano, na altitude de 664 m, latitude 8°26'60" Sul, longitude 37°03'15" Oeste, precipitação média de 680 mm e temperatura média anual de 23,7°C, variando de 13°C a 35°C nos meses de junho a dezembro, respectivamente. Na Figura 1 é apresentada a precipitação mensal durante o período experimental.

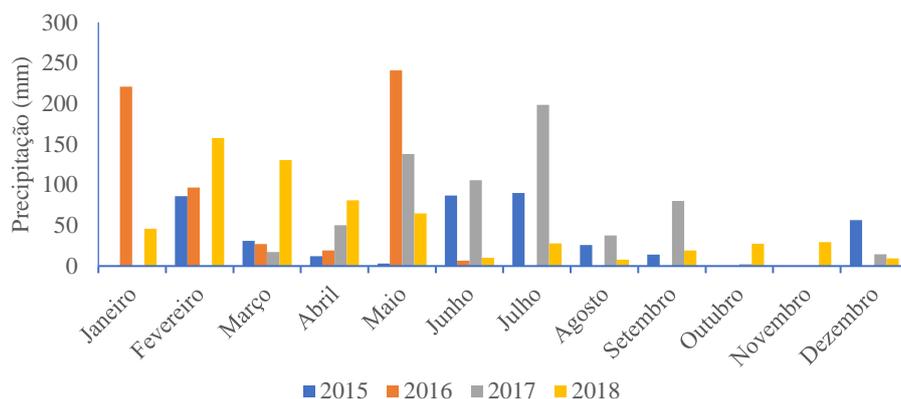


Figura 1. Precipitação mensal durante o período experimental, 2013- 2018, Arcoverde-PE

O solo do local experimental é classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO EUTRÓFICO, com base nos critérios da Embrapa (2013). Para a caracterização química, amostras de solos foram coletadas da camada de 0 – 20 cm (Tabela 1), profundidade efetiva alcançada pelo sistema radicular da palma.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo utilizado, Arcoverde-PE.

Características Físicas do solo							
Ds	Dp	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Grau de Floculação	Classe textural
g cm <sup>-3</sup>		-----%					-
1,44	2,59	36	34	20	10	80	Franco-arenosa
Características Químicas do solo							
pH	Ca	Mg	Na	K	H	CTC	V
-	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----						%
5,2	2,85	1,3	0,21	0,15	3,34	8,6	53

Ds: Densidade do solo. Dp: Densidade de partícula; CTC: capacidade de troca de cátions potencial; V: saturação por bases;

Foram avaliados seis genótipos de palma, três do gênero *Opuntia* (F8, Orelha de elefante mexicana (OEM) e IPA-20) e três do gênero *Nopalea* (Miúda, IPA Sertânia e F21). Os genótipos foram provenientes do Programa de Melhoramento de palma forrageira do IPA/UFRPE (Tabela 2).

Tabela 2. Progênies de Palma forrageira avaliadas, Arcoverde-PE

Genótipo	Nome científico*	Origem/ Procedência
IPA-20	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	IPA/UFRPE
F8	<i>Opuntia atropes</i> Rose	IPA
F21	<i>Nopalea</i> sp.	IPA
Miúda	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm-Dyck	IPA/UFRPE
IPA – Sertânia	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm-Dyck	IPA
Orelha de elefante mexicana	<i>Opuntia</i> sp.	IPA/UFRPE

\*Conforme Santos et al. (2013).

O estabelecimento dos genótipos foi realizado em julho de 2013, sendo a primeira colheita realizada em agosto de 2015, seguida pelas coletas experimentais iniciadas em junho de 2016, com finalização do experimento em dezembro de 2018. Para o plantio, utilizou-se um cladódio por cova na posição vertical. O delineamento utilizado foi blocos completos ao acaso, com três repetições.

Cada bloco continha 10 linhas, com espaçamento de 1,5 m entre linhas e 0,4 m entre plantas. A parcela total foi composta por 10 plantas e foram avaliadas as plantas centrais, utilizando uma planta completa por análise. Foi utilizada bordadura externa, circundando a competição dos genótipos de palma. A bordadura foi constituída por plantas do Genótipo IPA 20, por este ser susceptível à cochonilha do carmim e de escama. Esse procedimento foi adotado visando facilitar a atração dos insetos.

O solo foi preparado através de uma gradagem simples e foi realizada uma adubação após cada colheita, com 20 t de matéria orgânica/ha de esterco bovino.

Em dezembro de 2016, junho de 2017, julho e dezembro de 2018 foram realizadas as coletas referentes aos períodos seco e chuvoso. Foi realizada a determinação do teor relativo de água (TRAC) e acidez nos cladódios, nos horários de 0, 6, 12 e 18 h.

Para a análise de TRAC foram retirados discos de cada ordem de cladódio e depois foi feita a média dos valores para chegar ao teor relativo de água da planta. Cada disco continha diâmetro de 14,9 mm, conforme metodologia descrita por Barrs & Weatherley (1962), que consiste na pesagem dos discos em balança analítica para obtenção do peso da matéria fresca (PMF). Em seguida, os discos foram acondicionados em placas de Petri com papel filtro embebido por 10 ml de água deionizada e colocados sob refrigeração a 20°C por 24h. Decorrido este tempo, os discos foram retirados e pesados novamente para obtenção do peso da massa túrgida (PMT). Por fim, os discos foram levados à estufa de ventilação forçada a 55°C durante 24h em saco de papel, em seguida foi obtido o peso de massa seca.

Para calcular o teor relativo de água nos cladódios, foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{TRA (\%)} = (\text{PMF-PMS})/(\text{PMT-PMS}) * 100$$

Para medição da acidez no cladódio, foram utilizados os mesmos cladódios já usados para obtenção dos discos avaliativos do teor relativo de. A metodologia utilizada foi a descrita por Queiroz et al. (2013), que consistiu em triturar cubos de palma

forrageira, acondicionar o material em potes devidamente lavados com água deionizada. O pH foi lido com usando de pHmetro digital portátil.

Os descritores morfológicos avaliados foram conforme Gallegos et al. (2005). Foram avaliados os seguintes descritores: hábito de crescimento, altura da planta, largura da planta, forma do cladódio, espessura do cladódio, cor do cladódio, cerosidade, pubescência, ondulação na borda do cladódio, número de aréolas, cor de aréolas, número de espinhos, altura de espinho, cor do espinho, número de cor de espinho, superfície do espinho, porte do espinho, flexibilidade do espinho, curvatura do espinho, torsão do espinho, vista dorsal do espinho, sessão transversal do espinho, número de gloquídeos, cor de gloquídeos e número de flores.

Os dados de teor relativo de água nas plantas e de acidez foram submetidos a análise de variância. Quando o efeito de genótipos foi significativo, foi realizado teste de comparação de médias de Tukey. Quando o efeito do horário de avaliação foi significativo, foi realizado análise de regressão, considerando os efeitos linear e quadrático. O modelo utilizado foi  $Y_i = \alpha + \beta X_i + \beta X_i^2 + \epsilon_i$  onde  $Y_i$  é a variável dependente,  $\alpha$  é o intercepto populacional,  $\beta$  é a inclinação populacional,  $X_i$  é a variável independente e  $\epsilon_i$  é o erro aleatório.

O efeito de ano (avaliações) foi considerado como medidas repetidas no tempo. O bloco foi considerado como efeito aleatório. As análises foram realizadas no programa SAS University, pelo procedimento PROC MIXED. O nível de significância considerado foi  $\alpha = 0,05$ . Para análise de agrupamento e de componentes principais apenas o hábito de crescimento, forma do cladódio, cerosidade, cor do cladódio, número de aréolas, cor de gloquídeos, altura e cor de espinho foram considerados, pois foram os descritores que apresentaram variação entre os genótipos. A análise de agrupamento foi aplicada utilizando-se como medida de dissimilaridade a distância Euclidiana média, com base nos dados padronizados remanescente ao descarte de caracteres, por intermédio da técnica de componentes principais. Para delimitação dos grupos, foi utilizado o método de otimização de Tocher. Estas análises foram realizadas no software Genes.

## **1. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação tripla entre os anos de avaliação, o horário de coleta e genótipos para o teor relativo de água (Tabela 3).

Maiores valores de teor relativo de água foram encontrados nas avaliações das 12h e 18h, enquanto os menores valores foram encontrados na avaliação das 00h e 06h, observando-se comportamento quadrático nesta variável para quatro genótipos, ocorrendo variação deste teor ao longo do dia conforme genótipo considerado, com tendência de estabilização a partir de 12h. Tal comportamento, provavelmente, é devido ao metabolismo fotossintético da palma forrageira, que tem como estratégia o fechamento dos estômatos durante a dia (fase clara da fotossíntese) e abertura dos mesmos a noite para evitar a perda de água para o meio durante o período mais quente do dia. De acordo com Lüttge (2011), é devido a este traço fisiológico das plantas MAC, que é conferido à palma forrageira a capacidade de lidar com o estresse do suprimento limitado de água.

O genótipo Orelha de elefante mexicana (OEM) apresentou maior estabilidade nos valores de teor relativo de água ao longo do dia, demonstrando boa capacidade em manter o status hídrico constante na planta.

Por definição, teor relativo de água é a capacidade da planta em armazenar um percentual de água referente a sua capacidade total. Desta maneira, evidenciou-se que os genótipos IPA-20 e Sertânia apresentaram maior capacidade armazenar água, quando comparados aos demais genótipos estudados. Enquanto o genótipo OEM apresentou menor teor relativo de água em todos os horários.

Tabela 3. Teor relativo de água (%) nos genótipos de Palma forrageira, conforme a avaliação e horário de coleta na época seca, Arcoverde-PE

TRA	Avaliação 1						
	Genótipos	00h	06h	12h	18h	EPM	L
IPA-20 <sup>(1)</sup>	48,57 Bb	52,97 Ab	56,56 Bb	56,25 Ab	0,97	*	*
F8 <sup>(2)</sup>	63,93 Ab	46,80 Ba	49,66 Ca	49,42 Ba	2,03	*	*
OEM <sup>(3)</sup>	31,27 Da	28,78 Db	30,08 Eb	30,39 Da	0,28	*	*
F21 <sup>(4)</sup>	31,23 Da	25,70 Db	36,94 Db	37,08 Cb	2,21	ns	ns
Miúda <sup>(5)</sup>	35,83 Ca	35,46 Cb	37,19 Db	37,28 Cb	0,25	ns	ns
Sertânia <sup>(6)</sup>	50,12 Ba	56,03 Aa	60,87 Aa	60,03 Aa	1,29	*	*
Avaliação 2							
IPA-20 <sup>(7)</sup>	54,05 Aa	58,15 Aa	60,7 Aa	60,5 Aa	0,82	*	*
F8 <sup>(8)</sup>	53,52 Aa	48,65 Ba	49,68 Ba	49,63 Ba	0,57	*	*
OEM <sup>(9)</sup>	32,81 Da	33,44 Da	33,81 Da	33,96 Da	0,17	ns	ns
F21 <sup>(10)</sup>	32,25 Da	34,04 Da	64,42 Da	64,19 Aa	4,72	ns	ns
Miúda <sup>(11)</sup>	35,38 Ca	41,44 Ca	42,32 Ca	42,36 Ca	0,88	*	*
Sertânia <sup>(12)</sup>	42,67 Bb	45,84 Bb	48,43 Bb	48,25 Bb	1,15	ns	ns

OEM = Orelha de elefante mexicana. TRA = Teor relativo de água; L = efeito linear; Q = efeito quadrático. EPM = Erro padrão da média. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de letra maiúscula comparam os genótipos dentro de cada horário em cada avaliação; médias seguidas de letra minúscula comparam a avaliação dentro de cada genótipo em cada horário. \*: significativa ( $p < 0,05$ ), ns: não significativa; Equações de regressão: <sup>(1)</sup> $Y=41,04+8,54X-1,17X^2$ ,  $R^2=0,98$ ; <sup>(2)</sup> $Y=83,72-25,18X+4,22X^2$ ,  $R^2=0,85$ ; <sup>(3)</sup> $Y=33,96-3,63X+0,70X^2$ ,  $R^2=0,59$ ; <sup>(4)</sup> $Y=32,74$ ; <sup>(5)</sup> $Y=36,44$ ; <sup>(6)</sup> $Y=39,69+11,88X-1,68X^2$ ,  $R^2=0,97$ ; <sup>(7)</sup> $Y=47,50+7,56X-1,07X^2$ ,  $R^2=0,95$ ; <sup>(8)</sup> $Y=59,05-7,08X+1,20X^2$ ,  $R^2=0,81$ ; <sup>(9)</sup> $Y=33,51$ ; <sup>(10)</sup> $Y=48,73$ ; <sup>(11)</sup> $Y=27,38+9,71X-1,50X^2$ ,  $R^2=0,97$ ; <sup>(12)</sup> $Y=46,30$ .

Na segunda avaliação, os genótipos de palma forrageira apresentaram maior teor relativo de água em todos os horários ( $p < 0,05$ ), quando comparados com o primeiro ano. Este resultado pode estar diretamente ligado a precipitação anual, onde foi observada maior quantidade de chuva (mm) no segundo ano (Figura 1). Com maior disponibilidade hídrica no campo, as plantas tiveram condições de manter maior teor relativo de água. Também se observou comportamento quadrático para três genótipos, ocorrendo variação do teor ao longo do dia, conforme genótipo considerado, com tendência de estabilização a partir de 12h.

O conteúdo de água é responsável pela turgidez dos tecidos, conferindo-lhes uma boa aparência (CHITARRA & CHITARRA, 2005). Os teores de umidade podem variar em função da espécie, das condições de armazenamento, da época do ano e da idade da planta. Além disso, vale ressaltar que a elevada umidade observada na palma forrageira (FERREIRA et al., 2012), independente da espécie, é uma característica importante para a região semiárida, no atendimento de grande parte das necessidades de água dos animais (ALMEIDA et al., 2013), principalmente no período seco do ano, uma vez que a mesma já é utilizada para a diminuição de ingestão de água dos animais que a consome.

Para o teor relativo de água na época chuvosa, foi observada interação ( $p < 0,05$ ) entre os genótipos e o horário de avaliação (Tabela 4). Foi observado maior teor relativo de água nas plantas às 12h e diminuição às 18h, período em que os estômatos começam a abrir e ocorre trocas gasosas e perda de água pela planta, bem como de menor temperatura ambiente. Observa-se que houve efeito quadrático para teor relativo de águas apenas para os genótipos OEM e F21, com comportamentos similares quanto a variação em relação ao momento de avaliação.

Taiz & Zeiger (2013) relatam o comportamento estomático das plantas com metabolismo MAC, os quais se abrem durante a noite e fecham-se durante o período quente e seco do dia. Esse efeito osmótico permite também, a aquisição noturna de água do fluxo de transpiração e do orvalho, além do armazenamento temporário de água nos vacúolos.

Tabela 4. Teor relativo de água (%) nos genótipos de Palma forrageira durante época chuvosa, Arcoverde-PE

Genótipos	Época CHUVOSA				EPM	L	Q
	00h	06h	12h	18h			
IPA-20 <sup>(1)</sup>	66,54 B	66,15 B	71,57 AB	70,71 AB	0,83	ns	ns
F8 <sup>(2)</sup>	64,78 B	65,66 B	66,82 CD	67,92 CD	0,63	ns	ns
OEM <sup>(3)</sup>	59,16 C	62,73 C	69,76 B	67,08 B	1,30	*	*

F21 <sup>(4)</sup>	64,10 B	67,13 B	69,36 BC	68,38 BC	0,69	*	*
Miúda <sup>(5)</sup>	60,80 C	62,37 C	65,55 D	65,36 D	0,81	ns	ns
Sertânia <sup>(6)</sup>	71,62 A	72,26 A	72,89 A	73,58 A	0,83	ns	ns

OEM = Orelha de elefante mexicana. TRA = Teor relativo de água; L = efeito linear; Q = efeito quadrático. EPM = Erro padrão da média. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de letra maiúscula comparam os genótipos dentro de cada horário em cada avaliação; \*:significativa ( $p < 0,05$ ), ns:não significativa; Equações de regressão: <sup>(1)</sup> $Y = 68,74$ ; <sup>(2)</sup> $Y = 71,92$ ; <sup>(3)</sup> $Y = 49,16 + 10,89X - 1,56X^2$ ,  $R^2 = 0,78$ ; <sup>(4)</sup> $Y = 58,45 + 6,51X + 1,00X^2$ ,  $R^2 = 0,70$ ; <sup>(5)</sup> $Y = 63,52$ ; <sup>(6)</sup> $Y = 72,59$ .

O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, confere a planta uma dinâmica de armazenamento de água que se altera ao longo do dia, resultando em horários de maior e/ou menor teor relativo de água (%) na planta.

Houve efeito significativo da avaliação ( $p < 0,05$ ) sobre o teor relativo de água na planta na época chuvosa, com maior valor observado para a segunda avaliação, podendo este dado ser consequência da maior pluviosidade (mm) ocorrida neste ano na região (Figura 1).

Para os valores de pH da planta foi observada interação significativa entre os três fatores avaliados ( $p < 0,05$ ). Assim como o teor relativo de água na planta, para a acidez da planta foi possível constatar que maiores valores foram observados na avaliação da época de chuvas, tendo assim plantas menos ácidas na chuva, quando comparada com épocas secas (Tabelas 5 e 6).

A menor acidez das plantas, provavelmente a torna mais atrativa para os animais, aumentando assim a aceitabilidade pelos animais. O genótipo Miúda foi destaque para a menor acidez da planta, a qual é conhecida como palma doce. Valores mais altos pH, refletindo menor acidez da planta, podem estar associados a altos teores de água na planta, pois maior percentual de água na planta pode ocasionar menor concentração de hidrogênio na mesma, diminuindo assim o pH.

Tabela 5. pH dos genótipos de Palma forrageira, conforme horário e avaliação na época seca, Arcoverde-PE

pH	Avaliação 1							
	Genótipos	00h	06h	12h	18h	EPM	L	Q
	IPA-20 <sup>(1)</sup>	4,17 Fb	4,07 Eb	4,15 Eb	4,31 Fb	0,03	*	*
	F8 <sup>(2)</sup>	4,63 Cb	4,39 Bb	4,57 Bb	4,73 Cb	0,04	*	*
	OEM <sup>(3)</sup>	4,43 Eb	4,20 Da	4,31 Db	4,59 Eb	0,04	*	*
	F21 <sup>(4)</sup>	4,67 Bb	4,53 Ab	4,68 Ab	4,76 Bb	0,03	*	*
	Miúda <sup>(5)</sup>	4,78 Ab	4,52 Ab	4,69 Ab	4,93 Ab	0,04	*	*
	Sertânia <sup>(6)</sup>	4,57 Db	4,35 Ca	4,49 Cb	4,67 Db	0,04	*	*
		Avaliação 2						
	Ipa-20 <sup>(7)</sup>	4,28 Ea	4,13 Ca	4,24 Ea	4,40 Ea	0,03	*	*
	F8 <sup>(8)</sup>	4,73 Ba	4,5 Ea	4,67 Ca	4,86 Ca	0,04	*	*
	OEM <sup>(9)</sup>	4,52 Da	4,21 Da	4,57 Da	4,91 Ba	0,07	*	*
	F21 <sup>(10)</sup>	4,70 Ca	4,59 Ba	4,74 Ba	4,83 Da	0,03	*	*

Miúda <sup>(11)</sup>	4,82 Aa	4,67 Aa	4,80 Aa	5,01 Aa	0,04	*	*
Sertânia <sup>(12)</sup>	4,80 Aa	4,56 Ba	4,75 Ba	4,93 Ba	0,04	*	*

OEM = Orelha de elefante mexicana. L = efeito linear; Q = efeito quadrático. EPM = Erro padrão da média. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de letra maiúscula comparam os genótipos dentro de cada horário em cada avaliação; médias seguidas de letra minúscula comparam a avaliação dentro de cada genótipo em cada horário. \*: significativa ( $p < 0,05$ ), ns: não significativa; Equações de regressão: <sup>(1)</sup> $Y = 4,37 - 0,27X + 0,06X^2$ ,  $R^2 = 0,96$ ; <sup>(2)</sup> $Y = 4,96 - 0,45X + 0,10X^2$ ,  $R^2 = 0,82$ ; <sup>(3)</sup> $Y = 4,86 - 0,57X + 0,12X^2$ ,  $R^2 = 0,96$ ; <sup>(4)</sup> $Y = 4,82 - 0,23X + 0,05X^2$ ,  $R^2 = 0,71$ ; <sup>(5)</sup> $Y = 5,18 - 0,55X + 0,12X^2$ ,  $R^2 = 0,91$ ; <sup>(6)</sup> $Y = 4,91 - 0,46X + 0,10X^2$ ,  $R^2 = 0,90$ ; <sup>(7)</sup> $Y = 4,53 - 0,34X + 0,07X^2$ ,  $R^2 = 0,92$ ; <sup>(8)</sup> $Y = 5,07 - 0,47X + 0,10X^2$ ,  $R^2 = 0,86$ ; <sup>(9)</sup> $Y = 4,97 - 0,65X + 0,16X^2$ ,  $R^2 = 0,89$ ; <sup>(10)</sup> $Y = 4,82 - 0,19X + 0,04X^2$ ,  $R^2 = 0,78$ ; <sup>(11)</sup> $Y = 5,18 - 0,55X + 0,12X^2$ ,  $R^2 = 0,95$ ; <sup>(12)</sup> $Y = 4,91 - 0,46X + 0,10X^2$ ,  $R^2 = 0,85$ .

O genótipo OEM é um dos genótipos com menor valor de pH, e conseqüentemente maior acidez, o que poderia afetar a aceitabilidade do animal por este genótipo. Entretanto, Silva et al. (2017) avaliaram a aceitabilidade por novilhas Girolando do genótipo Orelha de elefante mexicana armazenada por diferentes períodos, encontraram valor de pH 4,59 semelhante aos encontrado no presente trabalho, e estes autores observaram que este valor de pH não interferiu na aceitabilidade deste genótipo pelo animal, quando o mesmo participa de até 50% da dieta do animal.

Cantwell et al. (1992) constataram que o teor de acidez na palma (*Opuntia ficus-indica*) *in natura* varia de acordo com o tamanho dos cladódios, condições de manejo, estágio de desenvolvimento e condições de armazenamento. Entretanto, a diferença encontrada nos horários de avaliação se deve principalmente ao metabolismo da palma, independente do genótipo, em que tem-se o fechamento de estômatos a noite e abertura dos mesmo durante o dia, assim, a captação de CO<sub>2</sub> e perdas de água ocorrem apenas durante a parte mais fria do ciclo de 24 horas. Neste processo, há maior produção e acúmulo de ácidos durante a noite, o que explica a maior acidez no horário das 06h, uma vez a planta passou desde as 18h a produzir e acumular ácidos para serem usados durante o dia.

Vale ressaltar que para os valores de pH para todos os genótipos foi observado efeito quadrático na época seca, independentemente da avaliação (Tabela 5). Já na época chuvosa, o comportamento foi um pouco diferente, observando-se efeito não significativo em F8 nas duas avaliações e para Miúda apenas na primeira avaliação (Tabela 6).

Tabela 6. pH dos genótipos de Palma forrageira, conforme horário e avaliação na época chuvosa, Arcoverde-PE

Genótipos	pH				EPM	L	Q
	00h	06h	12h	18h			
IPA-20 <sup>(1)</sup>	4,56 Da	4,52 Ca	4,41 Cb	4,88 Bb	0,05	*	*
F8 <sup>(2)</sup>	4,81 Ba	4,87 Aa	4,79 Aa	5,06 Ba	0,03	ns	ns
OEM <sup>(3)</sup>	4,92 Aa	4,87 Ab	4,8 Ab	5,24 Aa	0,05	*	*
F21 <sup>(4)</sup>	4,71 Cb	4,68 Bb	4,59 Bb	4,97 Bb	0,04	*	*
Miúda <sup>(5)</sup>	4,30 Eb	4,38 Db	4,25 Da	4,59 Ca	0,04	ns	ns

Sertânia <sup>(6)</sup>	4,77 Cb	4,72 Bb	4,68 Bb	5,03 Bb	0,04	*	*
Avaliação 2							
Ipa-20 <sup>(7)</sup>	4,65 Ba	4,53 Ba	4,68 Ba	5,28 Aa	0,08	*	*
F8 <sup>(8)</sup>	4,84 Aa	4,94 Aa	4,85 Aa	5,13 Ba	0,03	ns	ns
OEM <sup>(9)</sup>	4,97 Aa	5,03 Aa	4,92 Aa	5,33 Aa	0,05	ns	*
F21 <sup>(10)</sup>	4,94 Aa	4,91 Aa	4,86 Aa	5,24 Aa	0,04	*	*
Miúda <sup>(11)</sup>	4,41 Ca	4,45 Ca	4,34 Ca	4,68 Ca	0,04	ns	*
Sertânia <sup>(12)</sup>	4,88 Aa	4,84 Aa	4,78 Ba	5,16 Ba	0,04	*	*

OEM = Orelha de elefante mexicana. L = efeito linear; Q = efeito quadrático. EPM = Erro padrão da média. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas de letra maiúscula comparam os genótipos dentro de cada horário em cada avaliação; médias seguidas de letra minúscula comparam a avaliação dentro de cada genótipo em cada horário. \*: significativa ( $p < 0,05$ ), ns: não significativa; Equações de regressão: <sup>(1)</sup> $Y=5,13-0,46X+0,10X^2$ ,  $R^2=0,85$ ; <sup>(2)</sup> $Y= 4,88$ ; <sup>(3)</sup> $Y=5,34-0,52X+0,12X^2$ ,  $R^2=0,80$ ; <sup>(4)</sup> $Y=5,06-0,43X+0,10X^2$ ,  $R^2=0,74$ ; <sup>(5)</sup> $Y= 4,38$ ; <sup>(6)</sup> $Y=5,11-0,42X+0,09X^2$ ,  $R^2=0,79$ ; <sup>(7)</sup> $Y=5,18-0,70X+0,18X^2$ ,  $R^2=0,97$ ; <sup>(8)</sup> $Y= 4,94$ ; <sup>(9)</sup> $Y=5,26-0,34X+0,08X^2$ ,  $R^2=0,69$ ; <sup>(10)</sup> $Y=5,29-0,43X+0,43X^2$ ,  $R^2=0,79$ ; <sup>(11)</sup> $Y=4,67-0,30X+0,07X^2$ ,  $R^2=0,59$ ; <sup>(12)</sup> $Y=5,23-0,43X+0,10X^2$ ,  $R^2=0,75$ .

Observou-se que nos horários os quais foram obtidos os maiores valores de pH na planta, são compatíveis com o momento em que a planta usava a estratégia de fechamento dos estômatos, horário em que a planta estava com sua atividade metabólica mais lenta, para evitar maiores perdas devido as condições ambientais limitantes da região.

Os descritores morfológicos analisados apresentaram em geral altos valores de coeficiente de variação, indicando que estas características são fundamentais para conhecer as diferenças morfológicas entre os genótipos avaliados (Tabela 7). O coeficiente de variação oscilou de 20,8 a 68,3. Estas diferenças também podem ser observadas nos valores de mínimo e máximo, que chegaram a oscilar entre si nas notas de 1 a 7.

Tabela 7. Análise descritiva dos descritores morfológicos analisados em clones de palma forrageira, Arcoverde - PE

Variável	Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Variância	DP	IC (95%)	CV
Hábito de Crescimento	2,33	2	2	2	3	0,24	0,5	2,07	20,8
Forma do Cladódio	4	4	6	2	6	3,18	1,8	3,05	44,6
Cor de Cladódio	1,67	1	1	1	3	0,94	1	1,15	58,2
Cerosidade	4	4	7	1	7	6,71	2,6	2,61	64,7
Número de aréolas	2,17	2	2	1	5	1,91	1,4	1,43	63,8
Altura de espinho	1,67	1	1	1	4	1,29	1,1	1,06	68,3
Cor espinho	2,5	2,5	4	1	4	1,68	1,3	1,81	51,8
Cor de gloquídeos	1,5	1,5	2	1	2	0,26	0,5	1,23	34,3

Dp = Desvio Padrão; IC = Intervalo de confiança; CV = Coeficiente de variação.

Os componentes principais analisados nos descritores morfológicos mostram que os dois primeiros componentes representam 80% da variação observada entre os genótipos (Tabela 8). Os componentes 6, 7 e 8 não apresentam percentual na variação encontrada.

Tabela 8. Componentes principais, destacando a % acumulada da variação total dos dados morfológicos analisados em clones de palma forrageira, Arcoverde - PE

Variáveis	Autovalores	Autovalores (%)	% Acumulada
Componente principal 1	3,82	47,79	47,79
Componente principal 2	2,56	32,01	79,80
Componente principal 3	1,03	12,86	92,66
Componente principal 4	0,36	4,50	97,16
Componente principal 5	0,23	2,84	100,00
Componente principal 6	0,00	0,00	100,00
Componente principal 7	0,00	0,00	100,00
Componente principal 8	0,00	0,00	100,00

Alguns descritores morfológicos, como os apresentados neste estudo são responsáveis por uma alta porcentagem de variação acumulada e são importantes para a compreensão da resposta da planta quando submetida a diferentes condições ambientais, bem como os demais descritores morfológicos, conforme a necessidade estudada.

Alguns estudos verificaram a importância dos descritores morfológicos, como Dubeux et al. (2006) que observaram variação do rendimento do clone IPA 20 de acordo com o índice de área do cladódio. Souza et al. (2017) verificaram que o aumento da densidade de plantio da palma Miúda incrementou o rendimento da cultura. Inicialmente, esta resposta esteve associada ao ambiente de cultivo, entretanto, estudos futuros, como este, podem mostrar que o hábito de crescimento pode ter influência no rendimento da cultura, de acordo com disposição das plantas em campo.

Dentre os descritores morfológicos estudados, o hábito de crescimento, cor do cladódio e do gloquídeos apresentaram a maior contribuição relativa para a variação entre os genótipos analisados, com valores entre 14,99 e 16,86. Altura de espinho e o número de aréolas no cladódio apresentaram contribuição média na diversidade com valores de 9,16 e 7,61, respectivamente. Os demais descritores morfológicos que apresentaram diferenças entre si foram avaliados com contribuição menor com valor entre 7,61 e 11,86 (Tabela 9).

Os dados de descritores morfológicos observados mostram a importância dos mesmos para caracterização dos genótipos, apresentando valores consideráveis de contribuição para a diversidade existente entre os genótipos estudados. As características referentes a espinhos na palma forrageira neste estudo mostraram que a presença ou não destes faz parte de um grupo de características que ajuda na seleção de genótipos e caracterização do mesmo.

Tabela 9. Contribuição relativa de cada variável morfológica para a variação dos genótipos de Palma forrageira, Arcoverde - PE

Variável	Distância Euclidiana Média	Contribuição relativa dos caracteres para a diversidade (%)
----------	----------------------------	---

Hábito de Crescimento	8	14,99
Forma do Cladódio	6,75	12,64
Cor de Cladódio	8	14,99
Cerosidade	6,33	11,86
Número de aréolas	4,06	7,61
Altura de espinho	4,88	9,16
Cor espinho	6,33	11,86
Cor de gloquídeos	9	16,86

Estudos corroboram a importância de avaliar a presença ou não dos espinhos, uma vez que essa característica pode influenciar o manuseio da palma forrageira, bem como o consumo da planta pelos animais. Além disto, há indícios que a espécie *Nopalea cochenillifera* apresenta como vantagem sob as demais plantas a ausência de espinhos, ao contrário de indivíduos do gênero *Opuntia*, o que facilita a colheita e manuseio dos cladódios (NOBEL & ZUTTA, 2008).

A ausência de espinho é uma característica importante do ponto de vista do melhoramento genético da cultura, também por facilitar o consumo da forragem pelos animais, sendo verificada a redução do consumo de matéria seca por caprinos e ovinos quando a dieta contém a palma Orelha de elefante africana (*Opuntia*) (CAVALCANTI et al., 2008). A grande quantidade de espinhos nessa variedade, aproximadamente 24 por cladódio no estudo citado, pode ter causado a redução do consumo. Dessa forma, é importante a diversificação da base genética da palma forrageira, tendo em vista a geração de clones com caracteres de interesse zootécnico.

A partir dos dados de componentes principais, foram formados três grupos distintos com base nos descritores avaliados. O primeiro grupo com os genótipos F8, Miúda e OEM, o segundo grupo com IPA-Sertânia e F21, e o terceiro grupo com o genótipo IPA-20 (Tabela 10). O agrupamento formando três grupos mostra, através de seus componentes e caracteres, a similaridade entre os genótipos componente de cada grupo.

Tabela 10. Agrupamento de Tocher formado de acordo com as características e escores de cada genótipo de palma forrageira e valores de média, intervalo de confiança (IC) e coeficiente de variação (CV) dos descritores morfológicos avaliados, Arcoverde - PE

Variável	Grupo								
	1 (F8, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana)			2 (Sertânia e F21)			3 (IPA-20)		
	Média	IC (95%)	CV	Média	IC (95%)	CV	Média	IC (95%)	CV
Hábito de Crescimento	2,33	1,91	21,43	2,00	2,00	-	3,00	3,00	-
Forma do Cladódio	5,67	5,25	8,82	2,50	1,85	21,90	2,00	2,00	-
Cor de Cladódio	1,67	0,83	60,00	2,00	0,71	54,77	1,00	100	-
Cerosidade	5,67	3,99	35,29	1,00	1,00	-	5,00	5,00	-
Número de aréolas	2,00	2,00	-	3,00	0,43	73,02	1,00	1,00	-

Altura de espinho	1,00	1,00	-	1,50	0,85	36,51	4,00	4,00	-
Cor espinho	3,67	3,25	13,64	1,50	0,85	36,51	1,00	1,00	-
Cor de gloquídeos	2,00	2,00	-	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-

IC = Intervalo de confiança; CV = Coeficiente de Variação;

Santos et al. (2015) relatam que os métodos de agrupamento se baseiam principalmente em métodos hierárquicos e de otimização. Onde, nos de otimização, destaca-se o algoritmo de Tocher, que constitui em um método de agrupamento simultâneo, o qual se realiza a separação dos indivíduos de uma só vez. Esse método apresenta a característica de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos.

Neste sentido, Pinheiro et al. (2014), avaliando outras características de descritores morfológicos, constataram que a variabilidade do rendimento da cultura foi mais influenciada pelo número total de cladódios, independentemente do clone (IPA Sertânia ou Orelha de elefante mexicana).

Desta maneira, a análise de agrupamentos dividiu os elementos da amostra (população) em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo foram similares entre si, em relação às características avaliadas. Importante salientar que se deve considerar os elementos de grupos diferentes, sendo heterogêneos em relação a estas mesmas características (MINGOTI, 2007).

Caracterizar variedades de palma forrageira de acordo com seus descritores morfológicos auxilia na melhor escolha de qual clone o produtor poderá utilizar em sua região, bem como, através de um estudo de agrupamento, pode-se ter mais alternativas para cada situação, uma vez que cada grupo é composto por plantas similares entre si.

## **2. CONCLUSÕES**

Os teores de água e o pH acidez nos cladódios variam com a época de avaliação, genótipo de palma e horário do dia.

Os descritores morfológicos apresentam, em geral, altos valores de coeficiente de variação, indicando que estas características são fundamentais para avaliar genótipos de palma forrageira.

Os descritores morfológicos permitem classificar os genótipos em três grupos distintos, sendo o primeiro representado pelo F8, Miúda e OEM, o segundo por F21 e Sertânia e o terceiro por IPA-20.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. L.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S. B.; PEREIRA, D. F.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n. 8, p.892-899, 2013.

BORÉM, A; MIRANDA, G.V. *Melhoramento de plantas*. 4. ed. Viçosa. Editora UFV. 525 p. 2005.

CANTWELL, M. Aspectos de calidad y manejo postcosecha de nopalitos. In: S. Salazar e D. López (eds) *Conocimiento y aprovechamiento del nopal*. 5º Congreso Nacional y 3º Internacional. Memoria de Resúmenes UACH. Chapingo, México. 110 p, 1992.

CAVALCANTI, M. C. A.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A.; LIRA, M. A.; RIBEIRO, V. L.; RIBEIRO NETO, A. C. 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.

CAVALLI, S.S. Polimorfismos moleculares. In: FREITAS, L.B.; BERED, F. (Eds.). *Genética & evolução vegetal*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. p.311-332.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 783p., 2005.

COSTA, N.; L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A. Produtividade de forragem e morfogênese de *Trachypogon vestitus*, durante o período seco, em área de cerrado, Roraima. *Revista Trópica –Ciências Agrárias e Biológicas*, v.6, p.93 103, 2012.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO P. C. S.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*, v.2. 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 668p.

DIAS, L.A.S.; KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, G.C.T. et al. Divergência fenética multivariada na preservação de germoplasma de cacau (*Theobroma cacao* L.). *Revista Agrotrópica*, v.9, n.1, p.29-40, 1997.

DUBEUX, J.C.B.; SANTOS M.V.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIMA, L.E.; FERREIRA, R.L.C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.67, p.357-372. 2006

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa. 353p. 2013

FERREIRA, C.A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, D. C.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, J. A. A.; LIRA, M. A.; MOLICA, S. G. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre genótipos de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.6S, p.1560-1568, 2003.

FERREIRA, M.A.; BISPO, S.V.; ROCHA FILHO, R.R.; URBANO, S.A.; COSTA, C.T.F. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In: Petr Konvalina. (Org.), *Organic Farming and Food Production*. InTech, South Bohemia, p. 1-22, 2012.

GALLEGOS V. C., J. CERVANTES H., A. F. BARRIENTOS P. Manual gráfico para la descripción varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.). SAGARPA-SNICS. 116 p. 2005.

LÜTTGE, U. 'Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments'. *Aobplants*, v. 2010, p. 1-15, 2011.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S.P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. de S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MAJURE, L.C., ERVIN, G.N. Microstructural Morphology of *Opuntia* Species (Cactaceae) based on Scanning Electron Microscopy. USDA, Animal and Plant Health Inspection Service, International Cactoblastis cactorum Conference, Phoenix, AZ. P. 7-10, 2007.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG. p.295, 2007

MOURA, M.S.B.; GALVÍNCIO, J.D.; BRITO, L.T.L.; SOUZA, L.S.B.; SÁ, I.I.S.; SILVA, T.G.F. Clima e água de chuva no SemiÁrido. In: BRITO, L.T. de L.; MOURA, M.S.B. de; GAMA, G.F.B. (Ed.). *Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa SemiÁrido. p.37-59, 2007

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. IX INTERNATIONAL CONGRESS ON CACTUS PEAR AND COCHINEAL "CAM crops for a hotter and drier world" and the General Meeting of the FAO-ICARDA International Cooperation Network on Cactus Pear and cochineal (CACTUSNET), in Coquimbo, Chile, Edition Book of Abstract p. 29, 2017.

NOBEL, P. S.; ZUTTA, B. R. Temperature tolerances for stems and roots of two cultivated cacti, *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia robusta*: acclimation, light, and drought. *Journal of Arid Environments*, v.72, n.5, p.633-642, 2008.

NORTH, B.G.; MOORE, T.L.; NOBEL, P.S. Cladode development for *Opuntia ficus indica* (Cactaceae) under current and doubled CO<sub>2</sub> concentrations. *American Journal of Botany*. v.82, N.2, p.159–166. 1995.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J. E.O.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.49, n.12, p.939-947, 2014.

QUEIROZ, O. C. M.; ARRIOLA, K. G.; DANIEL, J. L. P.; ADESOGAN, A. T. Effects of 8 chemical and bacterial additives on the quality of corn silage. *Journal of Dairy Science*. v. 96, n. 9, p. 5836-5843, 2013.

ROBINSON, M. Scanning electron microscope studies of the spines and glochides of the *Opuntioideae* (cactaceae). *American Journal of Botany*. v.61, n.3, p.278-283,1974.

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.

SOUZA, T. C.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; CUNHA, M. V.; LIMA, L. E.; SILVA, R. R. 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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 1-672, 2013.

### **CAPÍTULO III**

#### **Caracterização de genótipos de palma forrageira sob condições controladas de solo e umidade**

---

## CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS DE SOLO E UMIDADE

### RESUMO

A palma forrageira possui elevada capacidade de produzir em condições semiáridas, o que a torna uma das plantas forrageiras mais importantes para o nordeste brasileiro, sendo seu desempenho variável conforme as condições de umidade e edáficas. Objetivou-se avaliar a resistência à cochonilha do carmim e de escama, sistema radicular, valor nutritivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio de genótipos de palma forrageira sob distintas condições edáficas. O experimento foi conduzido em telado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, no período de abril a outubro de 2016. O delineamento utilizado foi blocos completos ao acaso, com três repetições. Foram avaliados seis genótipos de palma forrageira (F8, Orelha de Elefante Mexicana, IPA-20, F21, Miúda e Ipa Sertânia), dois tipos de solos (arenoso e argiloso) e quatro níveis de umidade do solo na capacidade de pote (25, 50, 75 e 100%). Utilizou-se baldes com capacidade de 10 kg/m<sup>3</sup>, sendo a água repostada semanalmente para manter o nível de umidade pré-estabelecido. Aos 180 dias de experimento foram atribuídas notas de ocorrência e danos de pragas, brotação, emissão de raízes e sobrevivência, sendo realizada em seguida a colheita das plantas. Os tipos de solos e níveis de umidade do solo não afetam a resistência/susceptibilidade a pragas e composição química dos genótipos de palma forrageira. Os genótipos F8, IPA-20 e Sertânia se apresentaram susceptíveis a pelo menos uma das cochonilhas. Os genótipos OEM e Miúda se comportaram imunes a cochonilha do carmim, enquanto que pela baixa incidência, os genótipos OEM e F21 se apresentaram tolerantes. Os clones apresentaram maior incidência das raízes médias, seguidas pelas finas e grossas. O genótipo F21 se destacou em brotação aos seis meses de idade comparado aos genótipos OEM e Miúda. Os clones estudados apresentaram perfil similar de nitrogênio. O genótipo Miúda apresentou maiores teores de carbono (34,05%) e isótopos de carbono (-18,75‰). O genótipo OEM possui valores mais enriquecidos de  $\delta^{15}\text{N}$  (13,60‰), seguidos pelo genótipo F21. Os clones OEM, F21 e Miúda apresentam metabolismo MAC facultativo de acordo com os valores de isótopos de carbonos encontrados.

**Palavras-chave:** cochonilha do carmim, cochonilha de escama, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

## CHARACTERIZATION OF FORAGE CACTUS GENOTYPES UNDER CONTROLLED SOIL AND MOISTURE CONDITIONS

### ABSTRACT

The forage cactus has a high capacity to produce in semi-arid conditions, which makes it one of the most important forage plants for the Brazilian northeast, and its performance varies according to the humidity and edaphic conditions. The objective of this study was to evaluate the resistance to carmine and scale cochineal, root system characteristics, nutritive value and isotopic composition of carbon and nitrogen of forage cactus genotypes under different edaphic conditions. The experiment was conducted at the Department of Animal Science of the Federal Rural University of Pernambuco - UFRPE, from April to October 2016. The design was a complete randomized block with three replicates. Six genotypes of forage cactus ("F8", "Orelha de elefante mexicana", "IPA-20", "F21", "Miúda" and "IPA Sertânia") were evaluated, two soil types (sandy and clayey) and four soil moisture levels in pot capacity (25, 50, 75 and 100%). Buckets with a capacity of 10 kg were used, the water being replenished weekly to maintain the pre-set humidity level. At 180 days of the experiment, notes were assigned for occurrence and damage of pests, sprouting, root emission and survival, and then the plants were harvested. Soil types and soil moisture do not affect the resistance/susceptibility to pests and chemical composition of forage palm genotypes. Genotypes F8, IPA-20 and Sertania are susceptible to at least one of the cochineal. Genotypes OEM and Miúda behave as immune to carmine cochineal, while low incidence genotypes, OEM and F21, are tolerant to low levels of infestation. The clones presented higher incidence of the medium roots, followed by the thin and thick roots for the three clones studied. The F21 genotype was highlighted in budding at six months of age compared to OEM and Miúda genotypes. The chemical-bromatological results did not allow to indicate a superior genotype among the evaluated genotypes. The clones studied showed a similar nitrogen profile. For the carbon profile, genotype "Miúda" showed greater values of carbon (34.05%) and carbon isotopes (-18.75‰). The "orelha de elefante mexicana" genotype has a more enriched nitrogen isotopic composition (13.60‰) followed by the "F21" genotype. The "Orelha de elefante mexicana" genotypes, "F21" and "Miúda", presented facultative CAM metabolism according to the carbon isotope values found.

**Key words:** carmine cochineal, scale cochineal, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp.

## 1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira, devido ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (metabolismo CAM) que evidencia a eficiência do uso da água, é um importante recurso forrageiro para as regiões de clima semiárido. No Brasil, estima-se que há cerca de 600.000 ha cultivados com palma forrageira (DUBEUX et al., 2013). Em geral, as cactáceas apresentam conteúdo hídrico de 90 a 95% e baixa razão entre superfície e volume dos cladódios, o que propicia volume máximo para armazenamento de água e área superficial mínima para perda de água por transpiração (GRIFFITHS & MALES, 2017).

A baixa exigência hídrica da palma (SILVA et al., 2014) está associada ao metabolismo fotossintético predominante na espécie que é o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), tornando-a mais eficiente quanto ao uso da água, quando comparada a demais culturas, superando em até 11 vezes ao observado nas plantas de mecanismo C3. A fisiologia CAM permite maior adaptação da palma ao semiárido, de maneira inigualável a qualquer outra forrageira (FERREIRA et al., 2008).

As mudanças climáticas poderão tornar mais escassos os recursos hídricos e aumentar a irregularidade pluviométrica principalmente em regiões semiáridas (UGA et al., 2015). Tal fato pode afetar ainda mais a produção forrageira nestes ambientes, fazendo necessário maior busca por recursos vegetais adaptados às diferentes condições de solo e umidade, para que se garanta a produção de forragem.

Além disso, nos últimos anos foi observada redução na produção da cultura causada pelo ataque de pragas e patógenos. Duas espécies de cochonilhas são os principais problemas quando tratamos de pragas na palma, a cochonilha de escamas (*Diaspis echinocacti* Bouché), um inseto da ordem Hemiptera e família Diaspididae, e a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), pertencente à ordem Hemiptera, família Dactylopiidae (SANTOS et al., 2011). Uma das linhas de melhoramento da palma forrageira visa resistência a pragas e doenças e qualidade similar as atualmente cultivadas (LIRA et al., 2006).

O uso de variedades resistentes aos insetos deve ser priorizado, pelo fato de não representar custos adicionais ao produtor (SANTOS et al., 2010) e/ou possibilidade de

danos ambientais e à saúde do aplicador pelo uso de pesticidas. Fontes de resistência à cochonilha do carmim já foram encontradas (SANTOS et al., 2013), no entanto, é preciso aumentar não somente a disponibilidade, mas também a variabilidade de materiais, tendo em vista que a resistência à insetos praga pode ser superada com o tempo.

Os genótipos de palma forrageira existentes apresentam distintas capacidades de adaptação às condições locais, influenciando a taxa de sobrevivência e a suscetibilidade às pragas e doenças, mas ainda necessitam de estudos quanto às condições e ao tipo de solo e água disponível para a planta, ou seja, diversas condições edáficas. Segundo Sales et al. (2009), é necessária a realização de testes de novos genótipos com o objetivo de identificar genótipos que possam promover o incremento de áreas exploradas com a cultura na região semiárida.

Entender a fisiologia dos genótipos de palma forrageira quando submetidos a diversas condições edáficas é de fundamental importância para entendimento do comportamento da planta em diversas situações. A aplicação isotópica é destaque dentre as metodologias empregadas na caracterização fotossintética de uma espécie em razão da grande confiabilidade nos resultados encontrados (WONG & ABRAMS, 2003).

Os isótopos estáveis do carbono ( $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ ) tornaram-se uma ferramenta muito útil na pesquisa sobre aspectos relacionados à fisiologia de plantas, uma vez que as razões entre esses dois elementos podem auxiliar diretamente no estudo da fotossíntese, na determinação dos ciclos fotossintéticos, na translocação e na alocação de carbono e estresse hídrico (SILVA et al., 2010).

A palma forrageira é uma cultura de crescimento lento e ações que avaliem genótipos de palma em menor intervalo de tempo são essenciais nos avanços de utilização da cultura. Com isso, objetivou-se avaliar a resistência à cochonilha do carmim e de escama, características do sistema radicular, valor nutritivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio de genótipos de palma forrageira sob distintas condições edáficas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Foram estudados seis genótipos de palma forrageira, sendo três do gênero *Opuntia* (F8, Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e IPA-20) e três do gênero *Nopalea* (Miúda, IPA Sertânia e F21), provenientes do Programa de Melhoramento de palma forrageira do IPA/UFRPE (Tabela 1).

Os genótipos de palma forrageira foram testados em dois substratos, sendo o primeiro o solo originalmente proveniente de Arcoverde, classificado como um Neossolo regolítico segundo normas da Embrapa (2013) de classe textural Franco-arenoso. O segundo foi um substrato argiloso obtido a partir da adição de argila no solo um objetivando obter uma mistura com textura argilo-arenosa.

Tabela 1. Genótipos de Palma forrageira avaliados no experimento

Genótipo	Nome científico*	Origem/ Procedência
Genótipo IPA-20	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	IPA/UFRPE
F8	<i>Opuntia atropes</i> Rose	IPA
F21	<i>Nopalea</i> sp.	IPA
Miúda	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm-Dyck	IPA/UFRPE
IPA – Sertânia	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm-Dyck	IPA
Orelha de elefante mexicana	<i>Opuntia</i> spp.,	IPA/UFRPE

\*Conforme Santos et al. (2013).

O solo foi coletado na camada de 0 – 20 cm de profundidade, onde se encontra o sistema radicular efetivo da planta. Foi realizada análise física e química no Laboratório de análise do solo da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (Tabela 2).

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo utilizado, Arcoverde-PE

Características Físicas							
Ds	Dp	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Grau de Flocculação	Classe textural
g cm <sup>-3</sup>		-----%					-
1,68	2,63	47	29	12	12	83	Franco-arenoso
Características Químicas							
pH	Ca	Mg	Na	K	H	CTC	V
-		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----					%
6,2	2,65	0,90	0,06	0,28	1,73	5,60	69

Ds: Densidade do solo. Dp: Densidade de partícula; CTC: capacidade de troca de cátions potencial; V: saturação por bases;

Foram também testados quatro diferentes níveis de umidade do solo baseados na capacidade de pote de cada solo utilizado, sendo os níveis utilizados de 25, 50, 75 e 100% da capacidade de pote.

A medição da capacidade de pote foi realizada de acordo com Casaroli e Lier (2008) para cada substrato, em que os vasos com os solos estudados foram colocados para saturar em uma caixa-d'água com volume de água equivalente a 2/3 da altura dos vasos. Dessa forma, os vasos foram mantidos por um período de 24 h, para que ocorresse a saturação completa. Logo após, foram colocados para drenar livremente até cessar e desta forma foi obtida a capacidade de pote de cada solo, considerando sua capacidade máxima de reter água. A partir de pesagem constante também foi obtido o ponto de murcha

permanente, quando o solo não perde mais água para o meio apesar de ainda conter umidade, além de não perder água para o meio, estando também indisponível para a vegetação, assim a planta começa a perder água para o sistema.

A manutenção da umidade dos solos foi realizada semanalmente com auxílio do aparelho HydroSense II (fab. Campbell Scientific) e quando necessário houve reposição de água para atingir o nível de umidade do tratamento. O uso deste aparelho foi previamente validado durante a obtenção da capacidade de pote e ponto de murcha permanente, enquanto a perda de água era medida por gravimetria para a obtenção destes pontos, foram obtidas leituras dos mesmos pontos com o aparelho HydroSense II.

Ao final das leituras, foi realizada uma análise de regressão com os dados de gravimetria e leitura do sensor HydroSense II afim de atestar ou não o uso do aparelho. O resultado obtido foi de  $R^2 = 0.9486$  para o solo franco-arenoso e  $R^2 = 0.9703$  para o solo construído. A quantidade de água utilizada para manter os níveis de umidade da capacidade de pote de cada tratamento foi contabilizada e somada afim de saber a quantidade total de água aplicada em cada unidade experimental durante todo o período experimental.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados com arranjo fatorial 6 (genótipos de palma forrageira) x 2 (substratos) x 4 (níveis de umidade na capacidade de pote), com quatro repetições.

O experimento foi estabelecido em março de 2016. Para o plantio utilizou-se um cladódio por vaso de polietileno com capacidade de 10 litros, sendo colocado no fundo do balde uma camada de brita para evitar perda de solo pelo canal de dreno e adicionados 10 kg de solo. Durante o período de estabelecimento inicial, foram realizadas regas regulares para manter a umidade no sistema.

Aos 180 dias de experimento foram realizadas as análises vegetais em cada unidade experimental, de modo a atribuir nota, conforme avaliação visual de cada variável avaliada (Tabela 3).

Dentre estas variáveis, foi avaliado incidência de ataque e dano de cochonilhas, número de brotações e características radiculares, mas só foram consideradas para análises estatísticas aquelas variáveis atenderam as premissas estatísticas.

A colheita das plantas que resistiram ao ataque das cochonilhas foi realizada aos 180 dias, com coleta de material para posterior análise qualitativa. Todas as análises foram realizadas no laboratório de Forragem do Institute of Food and Agriculture Sciences – University of Florida, situado em Marianna-FL-USA.

Após a colheita, as amostras frescas dos genótipos sobreviventes foram pesadas, pré-secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C e processadas em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm.

Tabela 3. Características avaliadas nos genótipos da palma forrageira do experimento e respectivas escalas de notas utilizadas

Ataque e danos de cochonilhas de escama	Notas
0%	1
1 a 25%	2
26 a 50%	3
51 a 75%	4
76 a 100%	5
Raízes finas, médias e grossas	
0%	1
1 a 25%	2
26 a 50%	3
51 a 75%	4
76 a 100%	5
Número de Brotações	
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5

Estas amostras foram utilizadas para análises de matéria seca (MS), a partir da secagem definitiva da amostra, a 105°C por 24 horas; matéria mineral (MM) e matéria orgânica (MO), sequenciais à análise de matéria seca, em que as amostras foram incineradas em mufla a 600°C por seis horas (ANKOM TECHNOLOGY, 2018a); fibra em detergente neutro (FDN) (ANKOM TECHNOLOGY, 2018b) e fibra em detergente ácido (FDA) (ANKOM TECHNOLOGY, 2018c) com o analisador de fibras ANKOM A200, de acordo com o método de Van Soest et al. (1991); e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), conforme Moore & Mott (1974).

Para a análise de composição isotópica as amostras foram moídas novamente, utilizando um moinho de bola MM400 (Retsch, Newton, PA, EUA) a 25 Hz durante 9 minutos para obter o tamanho das partículas abaixo de 100 µm, antes das análises de isótopos estáveis (MICHENER e LAJTHA, 2007). As amostras foram analisadas para C e N totais usando um analisador CHNS através do método de combustão a seco, Dumas (Vario Micro Cube; Elementar, Hanau, Alemanha) acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (IsoPrime 100, IsoPrime, Manchester, UK) para analisar  $\delta^{13}\text{C}$  e

$\delta^{15}\text{N}$ . As razões isotópicas ( $R = {}^{13}\text{C} / {}^{12}\text{C}$ ) da amostra vegetal ( $R_{\text{sample}}$ ) e do padrão ( $R_{\text{standard}}$ ) tiveram os valores de R convertidos para  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) usando a equação:

$$\delta^{13}\text{C} = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000\text{‰}.$$

A análise estatística dos dados foi realizada nos dados para que atenderam as premissas estatísticas. Os dados qualitativos (notas) das características ataque da cochonilha do carmim (ATCE), número de brotações na planta e características radiculares atenderam ao requisito da homogeneidade. Os dados de composição química atenderam as premissas estatísticas. Para estes testes e demais análises estatísticas, foi utilizado o Software SAS University Edition. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo PROC GLM do Software SAS University e quando significativos ao nível 5% de probabilidade, foram submetidos teste de Tukey.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de ataque cochonilha do carmim, danos de cochonilha do carmim e dano da cochonilha de escama não atenderam nenhuma premissa estatística para a ANOVA. No entanto, é válido salientar que os genótipos IPA-20 e F8, ambos do gênero *Opuntia*, tiveram resultado similar em relação às características de susceptibilidade a cochonilha do carmim (Tabela 4), chegando a dano superior a 4, sendo verificada a morte destas plantas.

Os genótipos supracitados não apresentaram nenhum ataque da cochonilha de escama durante o período de avaliação. O clone F8 apresentou menor resistência à cochonilha do carmim, uma vez que a nota observada de ataque neste clone foi menor e ainda assim observou-se perda das plantas.

O genótipo Sertânia apresentou susceptibilidade à cochonilha de escama, sendo possível observar que a nota de ataque e dano foi baixa, indicando que mesmo com baixo ataque desta cochonilha neste clone, pode ocasionar a morte destas plantas.

Dentre os seis genótipos avaliados, o Orelha de elefante mexicana, o F21 e o Miúda sobreviveram durante todo período experimental.

Tabela 4. Médias gerais de ataques (ATCC e ATCE) e danos de cochonilha do carmim e escama (DCC e DCE) em genótipos de palma forrageira

Genótipos	ATCC		ATCE		DCC		DCE	
	Média	(EPM)	Média	(EPM)	Média	(EPM)	Média	(EPM)
IPA-20	3,315	0,11	1,00	0,13	4,88	0,13	1,00	0,13

F8	2,94	0,16	1,00	0,28	4,25	0,28	1,00	0,28
Orelha de elefante mexicana	1,00	0,00	1,94	0,03	1,03	0,03	1,63	0,03
F21	1,31	0,12	1,00	0,13	1,22	0,13	1,00	0,13
Miúda	1,00	0,00	1,13	0,06	1,07	0,06	1,00	0,06
Sertânia	1,00	0,00	2,94	0,00	1,00	0,00	3,35	0,00

ATCC = Ataque da cochonilha do carmim; ATCE = Ataque da cochonilha de escama; DCC = Danos da cochonilha do carmim; DCE = Dano da cochonilha de escama; EPM = Erro padrão da média.

O tempo de avaliação neste estudo, mostra que a cochonilha do carmim e de escama são capazes de infestar uma planta susceptível em pouco tempo em casa de vegetação. Em estudo realizado em Zimbábue por Dongi et al. (2018) foi observado que em campo o tempo de infestação também foi rápido, uma vez que normalmente a colheita é bianual, as plantas estudadas por estes autores tiveram alta infestação aos 270 dias de cultivo.

Fatores como temperatura, umidade e falta de chuva são precursores de maior infestação de cochonilhas em palma forrageira (CRUZ-RODRÍGUEZ et al. 2016). Em casa de vegetação, é possível ocorrer altas temperaturas e maior reposição de água nas plantas. Neste estudo, a infestação de cochonilha foi rápida e alta nos genótipos de palma forrageira avaliados.

Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação entre tipo de solo e os genótipos de palma forrageira para a variável ataque da cochonilha de escama. Não foi observado efeito significativo para o tratamento níveis de umidade.

Tabela 5. Ataque da cochonilha de escama (ATCE) em genótipos de Palma forrageira, conforme o tipo de solo

Genótipos	Solo arenoso		Solo argiloso	
	Média	EPM	Média	EPM
Orelha de elefante mexicana	1,43 Aa	0,25	2,43 Ab	0,37
F21	1,00 Aa	0,00	1,00 Ba	0,00
Miúda	1,00 Aa	0,00	1,25 Ba	0,25

EPM = Erro padrão da média; Médias seguidas com letra diferentes diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Média seguidas de letras maiúsculas comparam genótipos; médias seguidas de letras minúsculas comparam tipos de solo.

Observou-se efeito significativo do solo de cultivo para Orelha de Elefante Mexicana ( $p < 0,05$ ), apresentando maior nível de ataque da cochonilha de escama no solo argiloso, com nota média 2,43, enquanto no solo franco-arenoso observou-se média de 1,43. Embora tenha sido atacada pela cochonilha de escama, as plantas não apresentaram danos oriundos deste ataque.

Desta forma, mesmo quando atacado pela cochonilha de escama, o genótipo Orelha de elefante mexicana apresentou possível resistência. Não foi observado ataque

da cochonilha do carmim a este genótipo, corroborando ao fato do mesmo ser resistente a esta cochonilha.

O genótipo de palma Miúda não foi atacado pela cochonilha do carmim e de escama quando cultivado em solo arenoso, entretanto, quando cultivada no substrato argiloso, este genótipo sofreu leve ataque da cochonilha de escama, mas sem apresentar danos, ocorrendo total sobrevivência das plantas.

No entanto, Ferraz et al. (2017) observaram suscetibilidade dos genótipos Miúda e OEM à cochonilha de escama aos dois anos de cultivo, em condições de campo, contrário aos resultados obtidos neste estudo, em que o genótipo Miúda não foi atacado pela cochonilha de escama e o genótipo Orelha de Elefante mexicana, apesar de leve ataque, não apresentou nenhum dano.

As características que conferem resistência ou susceptibilidade da palma forrageira às cochonilhas ainda não são completamente esclarecidas; neste estudo as condições edáficas testadas não influenciaram na resistência/susceptibilidade à cochonilha do carmim ou escamas durante os 180 dias de cultivo.

Vasconcelos (2011) avaliou os genótipos IPA Sertânia e Orelha de elefante mexicana em cultura *in vitro* e verificou que a resistência à cochonilha do carmim não esteve ligada à espessura da epiderme das plantas. Por outro lado, Falcão et al. (2013) avaliaram três cultivares de palma classificadas como susceptível (Genótipo IPA 20), tolerante (F8) e resistente (OEM) à cochonilha do carmim, e verificaram que as variedades tolerantes e resistentes apresentaram menos cera epicuticular.

Dongi et al (2018) mostraram, em estudo realizado no Zimbabue, que a infestação continuada com cochonilha em cactos, pode fisicamente danificar a planta hospedeira e isso pode sinalizar a extinção do cacto hospedeiro, como ocorrido neste estudo.

Para variável brotações, foi observado efeito significativo ( $p < 0,05$ ) entre os genótipos (Figura 1) e para os níveis de umidade na capacidade de pote testados (Figura 2). O genótipo OEM não apresentou brotação, o que pode ser atribuído ao maior tempo necessário para brotações neste genótipo, considerando o grande tamanho dos cladódios desta espécie.

Os genótipos F21 e Miúda apresentaram maior número de brotações ( $p < 0,05$ ), ambos do gênero *Nopalea*, tendo o genótipo F21 apresentado maior número de brotação, sendo diferente significativamente dos demais genótipos avaliados. Cavalcante et al (2014) também observaram que plantas do gênero *Nopalea* sp. apresentaram maior

quantidade de cladódios e cladódios menores, quando comparadas às do gênero *Opuntia* sp.

O nível de umidade baseado na capacidade de pote de 25% propiciou plantas com menor número de brotação, sendo diferente estatisticamente dos demais. Os três maiores níveis de umidade ocasionaram maior número de brotação.

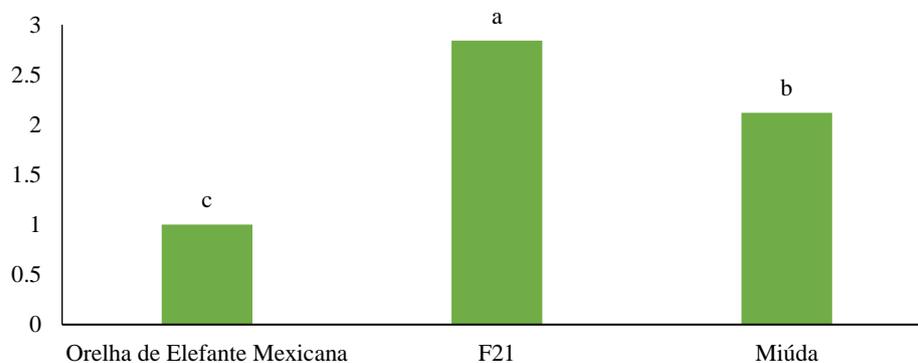


Figura 2. Número de brotação de plantas em genótipos de palma forrageira

Médias seguidas com letra diferentes diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A maior disponibilidade de água proporcionou o melhor desenvolvimento vegetal, uma vez que sem maiores restrições hídricas a planta pode manter suas atividade fotossintéticas e metabólicas ativas. Soni et al. (2015) encontraram número de brotações de cladódios por planta que variaram de 2 a 14,4 após 270 dias de plantio em potes mantidos em casa de vegetação como irrigação constante em cada pote para evitar stress hídrico.

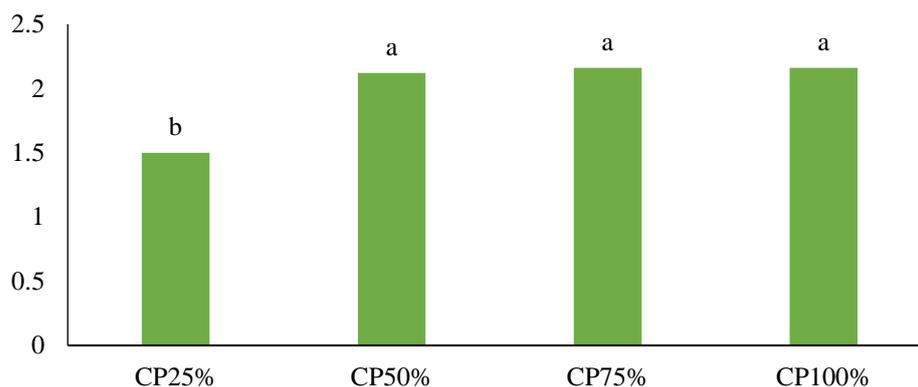


Figura 3. Número de brotações de genótipos de palma forrageira de acordo com os níveis de umidade na capacidade de pote

Médias seguidas com letra diferentes diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Para produção de raízes na palma forrageira (Tabela 6) foi observada variação significativa entre os genótipos estudados. Não foi observado efeito dos tratamentos solo

e níveis de umidade para esta característica. O genótipo OEM, apesar deste ser do gênero *Opuntia*, apresentou comportamento próximo aos genótipos F21 e Miúda do gênero *Nopalea* quanto a ocorrência de raízes grossas. É válido salientar que estes genótipos apresentaram variações de nota 1, o que significa dizer que houve pouca ocorrência de raízes

Tabela 6. Características radiculares de genótipos de palma forrageira

Genótipos	Raízes finas		Raízes médias		Raízes grossas	
	Média	EPM	Média	EPM	Média	EPM
Orelha de elefante mexicana	2,21 a	0,25	3,65 b	0,44	1,53 ab	0,12
F21	2,31 a	0,15	3,87 ab	0,22	1,71 a	0,19
Miúda	2,00 a	0,22	4,40 a	0,23	1,28 b	0,08

EPM = Erro padrão da média; Médias seguidas com letra diferentes diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os genótipos OEM e Miúda apresentaram diferença significativa entre si quanto a ocorrência de raízes médias, sendo semelhantes ao genótipo F21. Os três genótipos não apresentaram diferença estatística significativa quando observada a ocorrência de raízes finas, no entanto, este tipo de raiz apresentou média ocorrência entre os genótipos, sendo as raízes grossas a ter menores valores observados.

O fato desses genótipos possuírem menor ocorrência de raízes grossas pode ser explicado uma vez que estas são mais propícias a aparecer em ambientes mais secos, onde a planta necessita que seu sistema radicular seja mais profundo para buscar água.

Nobel e Zutta (2008), quando avaliaram a resistência à temperatura pelo caule e raízes de duas espécies de cactus, *Nopalea cochenillifera* e *Opuntia robusta* na Califórnia-EUA, em ambiente de casa de vegetação, concluíram que as raízes apresentaram aclimatação para temperaturas extremas, corroborando este estudo, uma vez que a presença de raízes grossas é mais comum em solos secos, como sendo um mecanismo adaptativo da planta, e neste estudo, a palma apresentou características de adaptação a umidade constante.

Para as raízes finas, médias e grossas observou-se que as raízes médias estiveram sempre presentes em maior quantidade nas plantas sobreviventes, podendo isso ser atribuído ao fato de que o experimento em casa de vegetação, com apenas um indivíduo por vaso e com constante umidade não permitiu o crescimento de raízes mais grossas, entendendo que estas são mais atribuídas a locais com maiores adensamento, conforme observado por Santos et al. (2006), que observaram maior desenvolvimento radicular em plantios adensados.

Foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os teores de matéria seca e digestibilidade entre os genótipos avaliados (Tabela 7), não sendo observado efeito dos genótipos para as demais variáveis de composição química. Não foi observado efeito significativo para os tratamentos de tipo de solo e umidade na capacidade de pote nas características de composição química dos genótipos de palma forrageira estudados. Os teores de matéria seca observados podem ser considerados baixos para os cultivares do gênero *Nopalea*, sendo também associado provavelmente às condições de umidade controladas do presente trabalho.

Monteiro et al. (2018) verificaram que a composição química do genótipo Miúda apresentou, em g/kg de MS, 150 de MS, 257 de FDN e 132 de FDA, enquanto que para o genótipo da Orelha de elefante mexicana, a composição química encontrada foi, em g/kg de MS, 123 de MS, 55 de PB, 259 de FDN e 89 de FDA. Tais valores estão abaixo dos obtidos no presente trabalho, o que pode estar associado a diferentes fatores, tais como época do ano, tipo de solo, ordem do cladódio analisado, dentre outros. Vale ressaltar ainda que a idade de colheita foi provavelmente superior a utilizada no presente trabalho.

Silva (2017) encontrou composição química do genótipo Miúda em g/kg de MS, 196 de MS, 33,8 de PB, 246 de FDN e 133,4 de FDA, enquanto que para o genótipo da Orelha de elefante mexicana, a composição química encontrada foi, em g/kg de MS, 218 de MS, 60 de PB, 262 de FDN e 118,3 de FDA .

Tabela 7. Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), Matéria mineral (MM), Proteína bruta (PB), Fibra em detergente neutro (FDN), Fibra em detergente Ácido (FDA) e Digestibilidade de clones de palma forrageira

Parâmetros	Orelha de elefante mexicana	F21	MIUDA	EPM
	g/kg			
MS	118,49	126,16	123,88	0,71
MO	867,9	863,25	857,43	44,49
MM	132,1	136,75	142,57	7,75
PB	8,51	8,69	6,7	0,49
FDN;	334,03	306,47	320,73	17,95
FDA	200,44	193,77	205,3	11,80
DIGESTIBILIDADE	763,81	783,78	756,59	45,65

MS = Matéria seca; MO = Matéria orgânica; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente Ácido; EPM = Erro padrão da média Médias seguidas com letras diferentes diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Média seguidas de letras maiúsculas comparam genótipos.

Alves et al. (2017) ao caracterizarem alguns genótipos de palma em condições de campo, no município de Arcoverde-PE e encontraram para o genótipo Orelha de elefante

mexicana valores em g/kg de MS, 930,2 de MS, genótipo F21 apresentou valores em g/kg de MS, 930,7 de MS, enquanto que o genótipo Miúda apresentou valores em g/kg de MS, 936,7 de MS. Estes dados são inferiores ao encontrados neste estudo. Tal diferença pode estar relacionada a condição de cultivo, idade da planta, época de colheita, entre outros fatores.

A palma forrageira, independente da espécie, apresentou altos níveis de umidade, o que evidencia a importância desta forrageira como fonte de água para os animais.

Os genótipos de palma forrageira apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para teor de carbono, concentração isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) e  $\delta^{13}\text{C}$  (‰), independente das condições edáficas submetidas (Tabela 8). Os fatores tipo de solo e níveis de umidade não apresentaram efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para nenhuma variável resposta avaliada.

Tabela 8. Teor de nitrogênio e carbono, composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) e  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) em genótipos de palma forrageira

Genótipos	N		C		$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Média (%)	EP M	Média (%)	EP M	Média (‰)	EP M	Média (‰)	EP M
Orelha de Elefante Mexicana	1,27 a	0,24	31,78 c	0,08	13,60 a	0,10	-18,03 a	0,36
F21	1,23 a	0,19	33,03 b	0,07	12,55 b	0,16	-18,30 a	0,34
Miúda	1,05 a	0,13	34,50 a	0,02	12,70 ab	0,05	-18,75 b	0,10
P value ( $\alpha=0,05$ )	0,1314		< 0,0001		0,0225		< 0,0001	

EPM = Erro padrão médio; Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o teor de nitrogênio não foi observado efeito significativo entre os tratamentos, entretanto, observou-se que o genótipo Orelha de Elefante Mexicana apresentou os maiores valores comparado aos demais, com uma variação de valores entre os genótipos de 1,05 e 1,27% (Figura 3).

O suprimento e o teor de nitrogênio da planta podem afetar diretamente o teor de carbono e a composição de  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas pelo aumento da taxa fotossintética e indiretamente pelos efeitos na eficiência no uso da água. Além disso, o genótipo também é uma importante fonte de variação destes valores.

De acordo com Menor (2018), valores mais elevados de nitrogênio da palma forrageira estão associados a menor densidade de plantio, devido ao efeito de concentração desse nutriente, uma vez que com o desenvolvimento da planta, ocorrem alterações fisiológicas como redução do conteúdo celular, que possui mais carboidratos estruturais. Os valores de N encontrados neste estudo na palma Miúda (1,05%) foram abaixo dos encontrados por este autor, entretanto, esta diferença pode ser dada pela idade e condições de cultivo das plantas avaliadas.

Além da idade, outro fato a ser observado é a presença ou não de adubação nitrogenada. Souza et al. (2017) observaram aos dois anos de cultivo de genótipos de palma forrageira, em condições de campo, que a concentração de nitrogênio na planta foi afetada pela densidade de plantas, adubação nitrogenada e pelo local. O teor de nitrogênio da palma forrageira no município de Caruaru-PE variou de 0,52 a 0,82% com adubação em quantidades crescentes de N, de 0 a 600 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Na menor densidade de plantas (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>), estes autores observaram que o teor de N foi maior. Estes resultados corroboram o alto valor de nitrogênio dos genótipos deste estudo.

O nitrogênio participa da composição de diversas moléculas orgânicas no interior das plantas e é um dos controladores dos processos fotossintéticos (SILVA et al., 2010). Além disso, o teor de nitrogênio também deve ser avaliado levando em consideração seu efeito na dieta animal, visto que a palma forrageira é um dos principais aportes forrageiros para a região semiárida.

Para o teor de carbono foi observado efeito significativo ( $p < 0,05$ ) do fator genótipos. O genótipo de palma Miúda apresentou o maior teor de carbono e entre genótipos é possível observar variação de teor de carbono entre 34,05% e 31,78%, sendo o menor valor para o genótipo Orelha de elefante mexicana (Figura 1b).

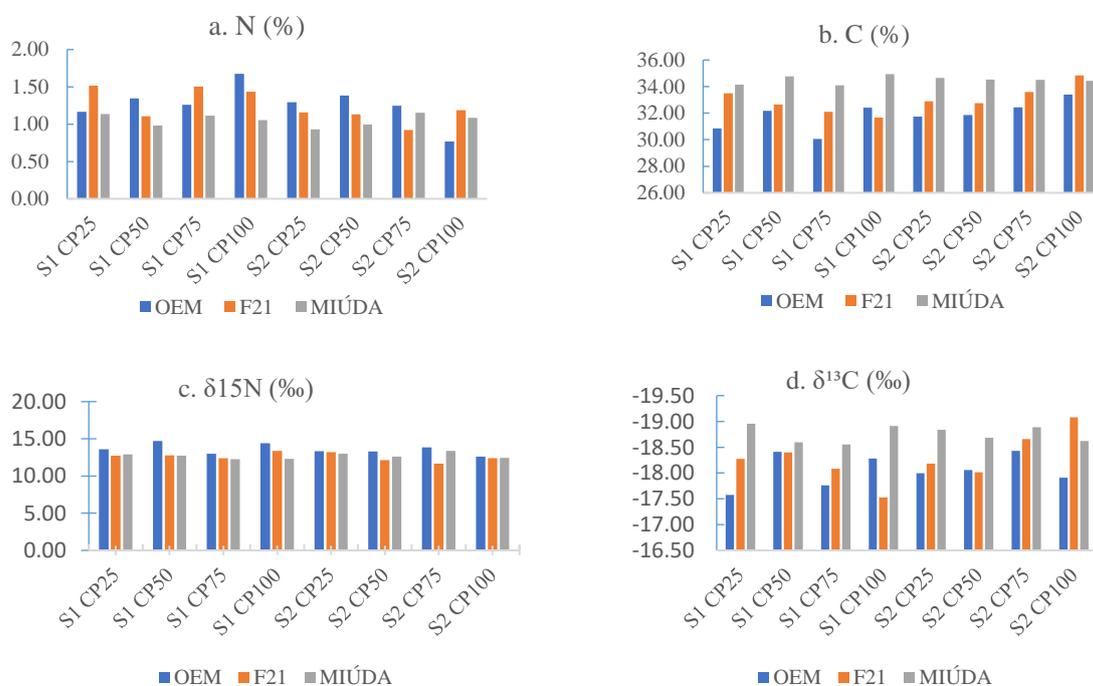


Figura 4. Teor de nitrogênio (a); carbono (b), composição isotópica de  $\delta^{15}N$  (c) e Composição isotópica de  $\delta^{13}C$  (d) em clones de palma forrageira submetidos a diferentes condições edáficas

S1- Solo franco-arenoso; S2 – Solo Argiloso; CP: Nível de umidade na capacidade de pote em %

Os valores encontrados neste estudo (%C) são explicados pela presença de água no sistema, que afeta o mecanismo fotossintético das plantas, neste acaso, aumentando a atividade de fotossíntese, uma vez que com maior teor de água no solo, a planta não precisa diminuir suas atividades metabólicas, mecanismo comum das plantas CAM, adaptadas a regiões com déficits hídricos, aspecto que reduz a produção e sobrevivência de plantas forrageiras nestas regiões.

Para a composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) foi observada diferença significativa entre os genótipos OEM e F21 ( $p < 0,05$ ), tendo ambas apresentado maiores e menores valores de composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) com 13,6‰ e 12,6‰ respectivamente (Figura 1c), enquanto o genótipo Miúda apresentou valor médio de 12,7‰.

Os valores de teor de nitrogênio e de composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) podem ser indicativos se há a fixação biológica de nitrogênio pela planta. Os genótipos de palma forrageira deste estudo, apesar de demonstrar diferença significativa entre si indicam ausência ou níveis extremamente baixos de fixação biológica de nitrogênio nas condições deste experimento. Freitas et al. (2010) abordam que no semiárido brasileiro, as plantas que não se associam com bactérias diazotróficas (não fixadoras) apresentam valores de  $\delta^{15}\text{N}$  altos e poucos variáveis dentro de um mesmo local, tanto espacialmente quanto entre as espécies.

Lyra et al. (2013) realizaram a caracterização molecular de 22 isolados de 7 cultivares de palma forrageira (*Opuntia* spp.), cultivados em diferentes meios semi-sólidos específicos para bactérias diazotróficas. Foi observado que a diversidade encontrada na palma forrageira sobre os endofíticos diazotróficos necessitam de maiores investigações para compreender plenamente a vida de tais microorganismos em *Opuntia* spp.

Menor (2018) ao estudar a composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) em genótipos de palma forrageira com idade de dois anos no Agreste pernambucano, nos anos de 2014 e 2016, encontrou valores de 10,92 a 13,88‰, similares aos observados no presente estudo. Entretanto, o índice de fixação de nitrogênio só foi observado para o cultivar Gigante do estudo em questão, tendo o mesmo apresentado diferença de aproximadamente 3‰ quando comparado com os genótipos, OEM, F21 e Miúda. A diferença de perfil de N nos genótipos pode variar, podendo ser também uma característica de cada variedade, além dos fatores ambientais e edáficos já mencionados ao longo deste estudo.

Para a variável composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ , todos os genótipos apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) com valores entre -18,75 e -18,30‰, valores atípicos da fixação via Pep-carboxilase. Conforme Menor (2018), normalmente esta fixação apresenta valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -14,43 e -13,22‰. Observou-se maior variação de comportamento nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) no genótipo F21 (Figura 1d), em relação aos demais genótipos. Todavia, o genótipo Orelha de elefante mexicana apresentou maiores valores de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  e o genótipo Miúda com os menores valores.

Observou-se que a maior umidade no solo alterou o comportamento fotossintético das plantas, sendo encontrado valores que se aproximam da rota metabólica de plantas C3. A assinatura de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  nas plantas se dá principalmente pela rota fotossintética, podendo ser alteradas por influência hídrica, conforme testada neste estudo. Segundo Hultine et al. (2013), as condições ambientais afetam o balanço de fracionamento entre a condutância estomática e a carboxilação, o que pode ajudar caracterizar a planta através da sua composição isotópica.

O teor de nitrogênio também pode afetar diretamente o  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas proporcionalmente pelo aumento da taxa fotossintética e indiretamente pelos efeitos na eficiência no uso da água. Deve-se considerar, conforme Serret et al. (2008), que o genótipo é também uma importante fonte de variação para os valores  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas e a composição isotópica do  $\text{CO}_2$  atmosférico local tem forte influência nesses valores.

Os valores encontrados de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  nos três genótipos sugerem que quando os mesmos foram submetidos à condições hídricas favoráveis, apresentaram metabolismo fotossintético facultativo, visto que de acordo com Crayn et al. (2004), os valores isotópicos das plantas CAM obrigatórias são comparáveis as plantas C4, -13‰, enquanto as CAM facultativas variam de -10‰ a -28‰, dependendo das variações ambientais.

Estudos pioneiros como o de Black & Osmond (2003) corrobora a facultatividade do metabolismo CAM encontrada neste estudo. Tais autores encontraram variações inesperadas no metabolismo das plantas CAM quando estavam em meio à aplicação de nova bioquímica 4-carbono e outros novos resultados para CAM. Os estudos de discriminação de isótopos de carbono foram mostrando que plantas C3 discriminavam  $^{13}\text{C}$  no Rubisco e que plantas C4 com PEPCase (que fixa  $\text{HCO}_3^-$ ) não discriminou fortemente contra  $^{13}\text{C}$ . Os valores encontrados de  $\delta^{13}\text{C}$  para os três genótipos de palma forrageira avaliados indicam que quando as plantas são submetidas a ausência de restrição hídrica podem apresentar metabolismo fotossintético facultativo.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os tipos de solos e níveis de umidade do solo não afetam a resistência/susceptibilidade a pragas e composição química dos genótipos de palma forrageira.

Os genótipos F8, IPA-20 e Sertânia se apresentaram susceptíveis a pelo menos uma das cochonilhas, ocorrendo em todos alta taxa de mortalidade.

Os genótipos OEM, F21 e Miúda apresentaram variação quanto a incidência das cochonilhas, sendo os genótipos OEM e Miúda imunes a cochonilha do carmim, enquanto que pela baixa incidência, os genótipos OEM e F21 se apresentaram tolerantes a baixo nível de infestação.

O genótipo F21 se destaca em brotação aos seis meses de idade comparado aos genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Miúda.

Existe diferença entre os genótipos de palma quanto a composição química.

O genótipo Miúda apresenta maiores valores de carbono e valores mais negativos de isótopos de carbono na planta, bem como o genótipo Orelha de elefante possui maior composição isotópica de nitrogênio, seguidos pelo genótipo F21, que apresenta valores medianos para todas as variáveis comparados aos clones OEM e Miúda.

Os clones OEM, F21 e Miúda apresentam metabolismo fotossintético CAM Facultativo quando submetidos a condições hídricas favoráveis.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. S. Chemical and Nutritional Variability of Cactus Pear Cladodes, Genera *Opuntia* and *Nopalea*. *American Journal of Food Technology*, v.12, p. 25-34, 2017.

ANKOM TECHNOLOGY. Analytical methods. Service Procedure 034. Disponível em: <https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files>

BLACK, C.C. & OSMOND, C.B. Crassulacean acid metabolism photosynthesis: 'working the night shift'. *Photosynthesis Research*. v.76, p. 329-341, 2003.

CASAROLI, D. & LIER, Q.J.van. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.59-66, 2008.

CAVALCANTE, L. A.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.

CRAYN, D.M.; WINTER, K.; SMITH, A. C. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit In: the Neotropical family Bromeliaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences* v.101, p.3703-3708, 2004.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Potential of cactus pear in South America. *Cactusnet Newsletter*, v. 13, ed. esp., p. 29-40, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa. 353p. 2013

FALCÃO, H. M.; OLIVEIRA, M. T.; MERGULHÃO, A. C.; SILVA, M. V.; SANTOS, M. G. Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. *Scientia Horticulturae*, v.150, p.419-424, 2013.

FERRAZ, A. P. F.; LIRA, M. A.; SILVA, M. C.; CUNHA, M. V.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, P. S. F.; SANTOS, D. C. Incidence of cochineal insects in cactus pear genotypes in the semiarid region of Pernambuco. IX International Congress on Cactus pear and cochineal: CAM crops for a hotter and drier world, *Proceedings. ISHS/FAO-ICARDA*, Chile, p.143, 2017.

FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S., MENEZES, R.S.C., TIESSEN, H. 15N natural abundance of non-fixing woody species in the Brazilian dry forest (Caatinga). *Isotopes in Environmental and Health Studies* 46, p. 210-218. 2010.

GRIFFITHS, H.; MALES, J. Succulent plants. *Current Biology*, v.27, n.17, p.853-909, 2017.

HULTINE, K.R.; BURTCH, K.G.; EHLERING, J.R. Gender specific patterns of carbono uptake and water use in a dominant riparian tree species exposed to a warming climate. *Global Change Biology* v.19, p. 3390-3405. 2013.

LYRA, M. C. C. P. DE; SANTOS, D. C.; MONDRAGON-JACOBO, C.; SILVA, M.L.R.B. DA; MERGULHÃO, A. C. E.S.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Isolation and molecular characterization of endophytic bacteria associated with the culture of forage cactus (*Opuntia* spp.). *Journal of Applied Biology e Biotechnology*, v. 1, p. 011-016. 2013.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; MELLO, A. C. L.; FARIAS, I.; SANTOS, D. C. A palma forrageira na pecuária do semi-árido. In: GOMIDE, C. A. M.; RANGEL, J. H. A.; MUNIZ, E. N.; ALMEIDA, S. A.; SÁ, J. L.; SÁ, C. O. (Eds). *Alternativas alimentares para ruminantes*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.17-33. 206 p. 2006.

MENOR, T. R. F. L. Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio em palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). 2018. 166 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

MICHENER, R. H.; LAJTHA, K. *Stable isotopes in ecology and environmental Science*. Black Scientific Publications, Oxford. 566 p. 2007.

MONTEIRO, C. C. F.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C.; GUIDO, S. I.; ALMEIDA, M. P.; SILVA, R. C.; INÁCIO, J. G. A new cactus variety for dairy cows in areas infested with *Dactylopius Opuntiae*. *Animal Production Science. Journal compilation CSIRO*. v. 59, p. 479-485. 2018.

MOORE, J. E.; MOTT, G. O. Recovery of residual organic matter from in vitro digestion of forages. *Journal of Dairy Science*, v.57, n.10, p.258-1259, 1974.

NOBEL, P. S.; ZUTTA, B. R. Temperature tolerances for stems and roots of two cultivated cacti, *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia robusta*: acclimation, light, and drought. *Journal of Arid Environments*, v.72, n.5, p.633-642, 2008.

SALES, A.T.; ANDRADE, A.P.; SILVA, D.S., LEITE, M. L. M. V.; VIANA, B. L.; LEÓN, M. J.; SOLÍS, A. M. Adaption potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the semi-arid in the Paraíba state, Brazil. *Acta Horticulture*, v.811, p.395-399, 2009.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B; DIAS, F. M.; MELO, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira em Pernambuco. Recife: IPA, 48p. 2006.

SANTOS, D.C.; LIRA, M.A.; SILVA, M.C. BATISTA, A. M. V. Genótipos de palma forrageira para áreas atacadas pela cochonilha do carmim no sertão Pernambucano. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6, Búzios, 2011. Anais... CBMP, Búzios, SBMP, 2011.

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; BUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. 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.

SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; DUBEUX JR., J.C.B. et al. Palma Forrageira, In: FONSECA, D. M. da; MARTUSCELLO, J. A. *Plantas Forrageiras*, Viçosa, MG: Ed. UFV, p. 459-492, 2010.

SILVA, M. L. R. B. ; MERGULHÃO, A. C. E. S.; FIGUEROA, C. S.; CORDEIRO, D. S.; LYRA, M. DO C. C. P. de. Diversidade da microbiota endofítica na cultura da palma (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) no Semiárido de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v. 19, n. 1, p. 3-10. 2014.

SILVA, N.G.M.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JR., J.C.B.; MELLO, A.C.L.; SILVA, M.C. Relação entre características morfológicas e produtivas de genótipos de palma-forrageira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, R. C. Substituição de palma Miúda por palma Orelha de Elefante Mexicana para vacas mestiças em lactação. 2017. 58 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

SONI, M. L.; YADAVA, N. D.; KUMAR, S.; ROY, M. M. Evaluation for growth and yield performance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) accessions in hot arid region of Bikaner, India. *Range Management & Agroforestry*, v. 36, n.1, p. 19-25, 2015.

SOUZA, T. C.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; CUNHA, M. V.; LIMA, L. E.; SILVA, R. R. 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.

UGA, Y.; KITOMI, Y.; ISHIKAWA, S.; YANO, M. Genetic improvement for root growth angle to enhance crop production. *Breeding Science*, v.65, p.111-119, 2015.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VASCONCELOS, A. G. V. Resistência à cochonilha do carmim em genótipos de palma forrageira. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 70p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A variabilidade dos caracteres morfológicos dos genótipos de palma forrageira pode auxiliar na escolha dos melhores genótipos para as mais diversas situações. O teor relativo de água nestas plantas pode indicar qual genótipo consegue armazenar mais água, tendo sido observado em condições de campo que o genótipo Miúda, Sertânia e IPA-20 se destacaram neste aspecto. Estas características e o uso de descritores, permite fazer o agrupamento de genótipos.

As características, cor de gloquídeos, cor de cladódio, hábito de crescimento e forma do cladódio reúnem a maior contribuição relativa de cada variável morfológica para a variação dos genótipos de Palma forrageira. Os dois primeiros componentes principais somam 80% da variação total entre os genótipos estudados.

Os descritores morfológicos avaliados em condições de campo permitiram classificar os genótipos em três grupos distintos, sendo o primeiro representado pelo F8, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, o segundo por F21 e Sertânia e o terceiro por IPA-20.

A resistência de genótipos de palma forrageira à sua principal praga é um fator muito importante no melhoramento destas plantas. Neste âmbito, os genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Miúda foram imunes a cochonilha do carmim, e pela baixa incidência observada, os genótipos OEM e F21 são tolerantes a baixos níveis de infestação.

Os genótipos de palma forrageira IPA-20 e F8, quando avaliados em condições de casa de vegetação, demonstraram susceptibilidade a cochonilha do carmim, enquanto o genótipo Sertânia foi susceptível a cochonilha de escamas. Desta forma, estes genótipos não são indicados para cultivos em áreas onde tenha relatos de incidência das pragas mencionadas.

Os tipos de solos e os níveis de umidade testados não apresentaram efeito significativo sobre a susceptibilidade ou resistência as pragas dos genótipos estudados,

sendo necessário estudar outros fatores, como temperatura e compostos químicos dos genótipos, para maior entendimento do mecanismo de defesa das plantas.

O valor nutritivo dos genótipos também não foi influenciado pelo tipo de solo ou nível de umidade na capacidade de pote testados.

O perfil de nitrogênio e carbono dos genótipos de palma forrageira apresentaram o fator genético como um dos principais motivos para as diferenças encontradas. O genótipo Miúda tem maior teor de carbono e de seu isótopo, enquanto o genótipo Orelha de Elefante apresenta maiores valores de isótopo de carbono. Todavia, o genótipo F8 apresenta valores medianos para estes teores e composições quando comparados com os genótipos citados.

Os genótipos Orelha de Elefante Mexicana, F21 e Miúda apresentaram metabolismo fotossintético CAM facultativo quando cultivadas em casa de vegetação e submetidos a disponibilidade hídrica, tendo seu metabolismo similar ao das plantas C3.

Os genótipos de palma forrageira possuem características peculiares e cada clone deve ser indicado para condição edáfica que garanta maior produtividade e sustentabilidade de produção.